

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

А.И. Иванцов, А.С. Петров, В.Н. Куприянов

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Учебно-методическое пособие

для студентов, обучающихся по направлениям подготовки
07.03.01 «Архитектура» и 08.03.01 «Строительство»,
дисциплинам «Архитектурная физика» и «Физика среды и
ограждающих конструкций», а также по специальности
08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»,
дисциплина «Строительная физика»

Казань
2022

УДК 697.1
ББК 31.38
И23

Иванцов А.И., Петров А.С., Куприянов В.Н.

И23 Проектирование тепловой защиты ограждающих конструкций: Учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 07.03.01 «Архитектура» и 08.03.01 «Строительство», дисциплинам «Архитектурная физика» и «Физика среды и ограждающих конструкций», а также по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», дисциплина «Строительная физика» /А.И. Иванцов, А.С. Петров, В.Н. Куприянов. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2022. – 91 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В пособии рассмотрены основы проектирования ограждающих конструкций зданий с точки зрения обеспечения требований теплозащиты. Разобраны конструктивные решения различных типов наружных стен. Описаны основные виды материалов, применяемых при проектировании современных ограждающих конструкций. Подробно разобрана методика проектирования наружных стен с определением основных параметров тепловой защиты.

Учебно-методическое пособие предназначено для использования в учебном процессе при изучении курсов «Архитектурная физика», «Строительная физика», «Физика среды и ограждающих конструкций» студентами очного и заочного обучения направлений подготовки 07.03.01 «Архитектура» и 08.03.01 «Строительство», а также по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений». Может быть полезно работникам проектных организаций.

Ил. 43, табл. 19, прилож. 8

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой архитектуры КазГАСУ

А.О. Попов

Кандидат технических наук,
директор ООО «РС-Концепт»

Р.И. Шафигуллин

УДК 697.1
ББК 31.38

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2022

© Иванцов А.И., Петров А.С.,
Куприянов В.Н., 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Ограждающие конструкции зданий. Основные понятия	6
1.1. Функциональные слои многослойных ограждающих конструкций.....	7
1.1.1. Конструкционный слой	8
1.1.2. Теплоизоляционный слой.....	8
1.1.3. Облицовочный слой	8
2. Материалы функциональных слоев	9
2.1. Материалы конструкционных слоев	9
2.1.1. Кирпич	9
2.1.2. Блоки из легкого бетона	13
2.2. Теплоизоляционные материалы	16
2.2.1. Минеральная вата.....	17
2.2.2. Пенопласты	19
2.3. Облицовочные материалы.....	21
2.3.1. Фасадная штукатурка.....	21
2.3.2. Плитный материал	23
2.3.2.1. Керамогранитные плиты	23
2.3.2.2. Фиброцементные плиты	25
2.3.2.3. Композитная панель	25
2.3.2.4. Металлические плиты.....	27
2.3.2.5. HPL-панель	27
2.3.2.6. Клинкерная плитка.....	28
3. Конструктивные решения наружных стен массового применения	30
3.1. Однослойная конструкция наружных стен	31
3.2. Система наружного утепления с тонким штукатурным слоем («мокрый фасад»).....	35
3.3. Слоистая (трехслойная) кладка.....	41
3.4. Навесной фасад.....	46
4. Проектирование тепловой защиты ограждающих конструкций.....	52
4.1. Основные требования к ограждающим конструкциям	52
4.2. Этапы проектирования теплозащиты.....	52
4.2.1. Наружные климатические условия	53
4.2.2. Параметры внутренней среды помещений.....	54
4.2.3. Определение влажностных условий эксплуатации ограждающих конструкций.....	54
4.2.4. Нормируемое (требуемое) сопротивление теплопередаче	55
4.2.5. Конструирование ограждающей конструкции.....	56
4.2.6. Обеспечение необходимого сопротивления теплопередаче по глади наружной стены	57
4.2.7. Защита от переувлажнения ограждающих конструкций	59
4.2.7.1. Определение плоскости максимального увлажнения.....	59
4.2.7.2. Определение дополнительных расчетных данных.....	60

4.2.7.3. Требуемое сопротивление паропроницанию внутренних слоев ..	61
4.2.8. Обеспечение санитарно-гигиенических показателей тепловой защиты.....	61
4.2.8.1. Обеспечение теплового комфорта в помещении.....	62
4.2.8.2. Обеспечение недопустимости выпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных стен.....	63
5. Пример расчета и оформления пояснительной записки	64
5.1. Наружные климатические условия	65
5.2. Параметры внутренней среды помещений.....	66
5.3. Определение влажностных условий эксплуатации ограждающих конструкций	66
5.4. Нормируемое (требуемое) сопротивление теплопередаче	66
5.5. Конструирование ограждающей конструкции.....	67
5.6. Обеспечение необходимого сопротивления теплопередаче по глади наружной стены	68
5.6.1. Уточнение расчетной температуры наружного воздуха.....	68
5.7. Защита от переувлажнения ограждающих конструкций	69
5.7.1. Определение плоскости максимального увлажнения	69
5.7.2. Определение дополнительных расчетных данных	69
5.7.3. Требуемое сопротивление паропроницанию внутренних слоев.....	70
5.8. Обеспечение санитарно-гигиенических показателей тепловой защиты	70
5.8.1. Обеспечение теплового комфорта в помещении	70
5.8.2. Обеспечение недопустимости выпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных стен.....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Варианты заданий.....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче	76
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Климатические параметры холодного периода года	77
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Параметры микроклимата помещений	82
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий	84
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Карта зон влажности.....	87
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Температура точки росы	88
ПРИЛОЖЕНИЕ З. Узлы для детальной проработки.....	89
Литература.....	90

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных функций ограждающих конструкций здания является защита от атмосферного воздействия. В условиях холодного климата главным внешним воздействием являются пониженные температуры. В этой связи при проектировании ограждающих конструкций в нашей стране критерии и требования теплозащиты становятся первостепенными.

Теплозащита зданий является актуальной еще и в связи с развитием современной экономики в русле энергоэффективности, когда становится важным сокращение энергетических затрат в различных сферах производства. Считается, что на отопление зданий расходуется до 40 % всей вырабатываемой в стране энергии, а, следовательно, именно теплозащита зданий является значительным ресурсом в сфере энергосбережения.

Кроме того, теплозащита ограждающих конструкций во многом определяет санитарно-гигиенические условия эксплуатации зданий, а значит и комфорт человека. В этой связи важно при проектировании конструкций учитывать не только экономический эффект от увеличения теплозащиты, но и ее влияние на микроклимат помещений.

1. ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Ограждающие конструкции зданий и сооружений – это такие строительные конструкции, которые ограничивают объем здания от внешней среды. С учетом данного определения к ограждающим конструкциям зданий относят:

- наружные стены и все их элементы (окна, витражи, двери и другие элементы заполнения проемов),
- покрытия,
- перекрытия над холодными подвалами и проездами,
- чердачные перекрытия.

Нередко к ограждающим конструкциям зданий и сооружений относят также строительные конструкции, разделяющие здание на отдельные этажи и помещения. С этой точки зрения к ограждающим можно также отнести следующие конструкции:

- междуэтажные перекрытия,
- перегородки
- межкомнатные двери.

В общем случае ограждающими следует считать такие конструкции, которые разделяют две среды с различными параметрами (температурный режим, влажностный режим, шумовой режим и т.п.)

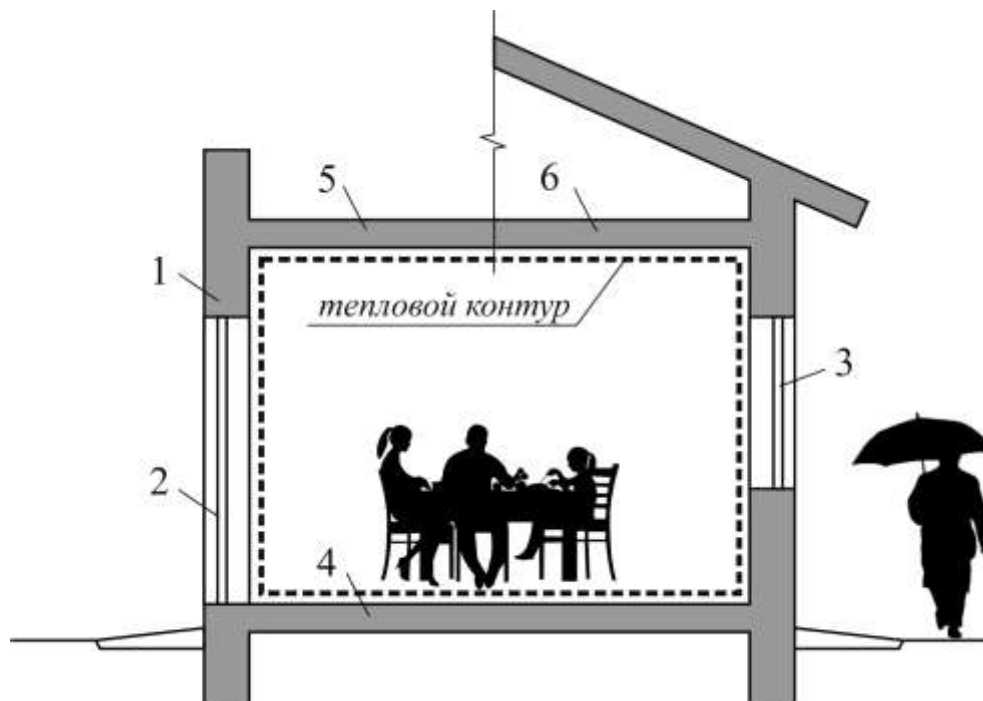


Рис. 1.1. Основные виды ограждающих конструкций здания:
1 – наружная стена, 2 – наружная дверь, 3 – окно, 4 – цокольное перекрытие,
5 – покрытие, 6 – чердачное перекрытие

Основное назначение ограждающих конструкций состоит в защите (ограждении) помещений от внешнего воздействия, в первую очередь, несилового характера:

- температурные воздействия,
- осадки,
- ветер,
- влага,
- шум,
- радиация и т.п.

Данное обстоятельство отличает ограждающие конструкции от несущих, которые воспринимают силовые нагрузки. Однако это отличие условно, т.к. часто ограждающие и несущие функции совмещаются в одной конструкции (стены, плиты перекрытий и покрытий и др.).

Ограждающие конструкции также разделяют на внешние (или наружные) и внутренние. Внешние служат главным образом для защиты от атмосферных воздействий, внутренние – для разделения внутреннего пространства здания и звукоизоляции.

В зависимости от конструктивного решения ограждающие конструкции подразделяют на однослойные и многослойные (слоистые). Простые (однослойные) ограждающие конструкции выполняют из одного материала или из однородных штучных изделий (кирпичные стены, легкобетонные панели, гипсовые перегородки и т.п.). В однослойных конструкциях основной материал выполняет одновременно несколько функций, например, несущая и звукоизоляционная, теплоизоляционная и декоративная и т.п.

Многослойные ограждающие конструкции состоят из нескольких элементов или слоев, каждый из которых выполняет избирательную функцию: несущую, теплоизоляционную, декоративную и т.п.

1.1. Функциональные слои многослойных ограждающих конструкций

Современные ограждающие конструкции состоят, как правило, из трех основных функциональных слоев: конструкционного, теплоизоляционного и облицовочного. В зависимости от используемых материалов, слои могут выполнять и несколько функций одновременно. В некоторых конструктивных решениях используют также специальные ветро-, влаго-, паронепроницаемые слои (пленки или обмазки).

1.1.1. Конструкционный слой

Конструкционные слои выполняются из плотных и прочных материалов, которые, как правило, имеют высокую теплопроводность и низкую паропроницаемость. Это кирпич, камень, бетон различных видов, железобетон и т.п.

Основной функцией конструкционного слоя является обеспечение прочности, жесткости, устойчивости ограждающей конструкции.

Толщина конструкционного слоя определяется расчетом несущей способности конструкции в зависимости от прикладываемых нагрузок и прочностных качеств материала данного слоя.

1.1.2. Теплоизоляционный слой

Теплоизоляционные слои выполняются из материалов, имеющих низкую плотность и прочность, высокую пористость, низкую теплопроводность и высокую паропроницаемость. Это плиты и маты из минеральных волокон, пенопласты, теплоизоляционные бетоны и т.п.

Основная функция теплоизоляционного слоя – обеспечение теплозащиты здания.

Толщина теплоизоляционного слоя назначается в ходе теплотехнического расчета ограждающей конструкции в зависимости от климатических условий местности строительства.

1.1.3. Облицовочный слой

Облицовочные слои выполняются из декоративных материалов и изделий, имеющих различные свойства, основными из которых являются высокая стойкость к атмосферным воздействиям и долговечность. Облицовочные слои выполняются из штукатурки, лицевого кирпича, природного камня, керамических плитных изделий и т.п.

Облицовочный слой выполняет две основные функции ограждающей конструкции:

- обеспечение защиты теплоизоляционного слоя и всей конструкции от атмосферного воздействия (защита от ультрафиолетового и инфракрасного воздействия солнечной радиации, герметичность по отношению к жидким осадкам, стойкость к воздействию ветра и т.п.);

- декоративная функция (для конструкций, к которым предъявляют соответствующие требования: наружные стены, перекрытия над холодными проездами).

Толщина облицовочного слоя назначается конструктивно, в зависимости от вида применяемого материала.

2. МАТЕРИАЛЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ

2.1. Материалы конструктивных слоев

2.1.1. Кирпич

Кирпич является традиционным материалом для возведения наружных стен жилых и общественных зданий. За счет меньшей теплопроводности по отношению к бетону и натуральным камням кирпич можно отнести к конструктивно-теплоизоляционным материалам. До перехода на повышенный уровень теплозащиты наружных стен (конец XX в.) по всей территории России широко применялись однослойные стены, выполненные только из кирпича. В соответствии с действующими нормами тепловой защиты зданий применение таких стен ограничено регионами с достаточно теплым климатом или для зданий временной постройки. В этой связи кирпич рассматривается в структуре многослойной конструкции или как материал для конструктивного слоя, или как отделочный материал, что предопределяет различные свойства данного материала.

Кирпич различают по следующим основным признакам:

- виду исходного сырья;
- назначению;
- структуре;
- размерам;
- прочности;
- морозостойкости.

По виду исходного сырья кирпич разделяют на:

- керамический;
- силикатный;
- клинкерный;
- гиперпрессованный.

Сырьем для изготовления **керамического кирпича** служит глина, именно поэтому в итоге он приобретает естественный красный цвет, а также заданный набор характеристик, соответствующий этому виду изделия, – марку прочности, морозостойкость и проч. Основой производства керамического кирпича является обжиг сформированного изделия при температуре до 1000 °С.

Силикатный кирпич состоит из кварцевого песка, извести и небольшого количества пластификаторов. Около 90 % составляют очищенные мелко- и среднеразмерные фракции кварцевого песка, не более 8 % – извести. Производится путем сдавливания исходной смеси компонентов в форме, а затем, многочасовой доводке в специальной камере при увеличенном давлении (в автоклаве).

Клинкерный кирпич является разновидностью керамического кирпича. Однако, в отличие от стандартного, в его производстве применяется глина повышенной пластичности, эластичности и тугоплавкости. При этом перед началом изготовления сырье тщательно очищается от вредных для формирования основных свойств примесей – мела, щелочи, минералов и т.д.

Изготовление клинкера осуществляется высокотемпературной обработкой формовых заготовок. В результате материал приобретает высокую термо-, влаго- и морозостойкость, а также прочность и повышенную плотность. Готовое изделие характеризуется большим разнообразием цвета и текстуры. Благодаря этому находит широкое применение для облицовки фасада зданий от фундамента до крыш, а также мощения тротуаров, дорожек и садовых площадок.

Гиперпрессованный кирпич изготавливается путем сдавливания исходной смеси компонентов. Однако, в отличие от силикатного кирпича, в состав смеси в качестве связующего вещества входит современный портландцемент. Это существенно упрощает и ускоряет процедуру схватывания, а также делает продукт более устойчивым к воздействию влаги. Дополнительное преимущество изделия – идеальная геометрия формы, а также возможность задания тематической структуры лицевой стороны, например, в форме грубо обработанного камня. Все это позволяет использовать его в качестве отделочного материала для фасада.

В зависимости от планируемой сферы применения кирпичи разделяются на следующие категории по назначению:

- строительные (рядовые);
- облицовочные;
- печные.

Из **строительного кирпича** возводятся несущие стены, колонны и перегородки, которые впоследствии подлежат облицовке, штукатурке, покраске. Основное требование к строительному кирпичу – прочность. Некоторые разновидности имеют углубления или шероховатость с одной стороны. Это предназначено для последующего нанесения штукатурного слоя.

Облицовочный (лицевой, фасадный) **кирпич** предназначен для отделки интерьеров и фасадов. Разновидностями облицовочного являются фактурный и фасонный кирпич. Фактурный обладает неровным рельефом или на боковых гранях имеет правильный геометрический рисунок. Фасонный кирпич бывает различных форм – угловой, скошенный, полукруглый, с выемками и т.д. При помощи этого вида можно оформлять карнизы, окна, выполнять колонны, своды и арки.

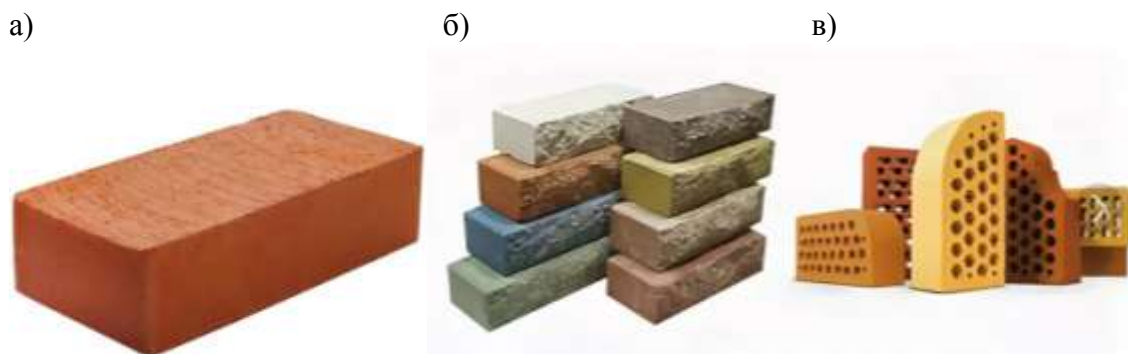


Рис. 2.1. Категории кирпичей:

а – строительный, б – облицовочный, в – облицовочный фасонный

Печной (шамотный) **кирпич** изготавливается из специального вида тугоплавкой глины. Благодаря своим огнеупорным свойствам, высокой прочности и цикличности, оптимально подходит для сооружения каминов, печей и дымоходных каналов к ним. Кроме прямоугольной классической формы, шамот выпускается и в виде клина, что используется для выкладки арок.

По структурным признакам кирпичи могут быть:

- полнотелыми;
- пустотелыми;
- поризованными.

Этим параметром задается сфера их применения и рекомендованный тип объекта для строительства.

Полнотелый кирпич, обладая однородной плотной структурой, характеризуется максимальной прочностью и предназначается для возведения капитальных конструкций. Уровень пористости в керамическом варианте не должен превышать 5 %, в силикатном – 12 %. Однако обратной стороной такого строения является низкая теплоизолирующая способность материала.

Пустотелый кирпич имеет внутренние пустоты различных форм, которые делают его менее прочным, но зато более легким. Стены, возведенные из такого кирпича, обладают лучшей теплоизоляцией по сравнению с полнотелым кирпичом. Но большое значение при этом имеет качество кладки и раствора, потому что в кирпиче есть очень широкие отверстия, которые могут забиваться раствором – тогда эффекта сохранения тепла не будет.

Коэффициент пустотности для кирпичей из силиката составляет 25–30 %, для керамических – до 45 %. Отверстия могут быть разной формы, количества и размеров.

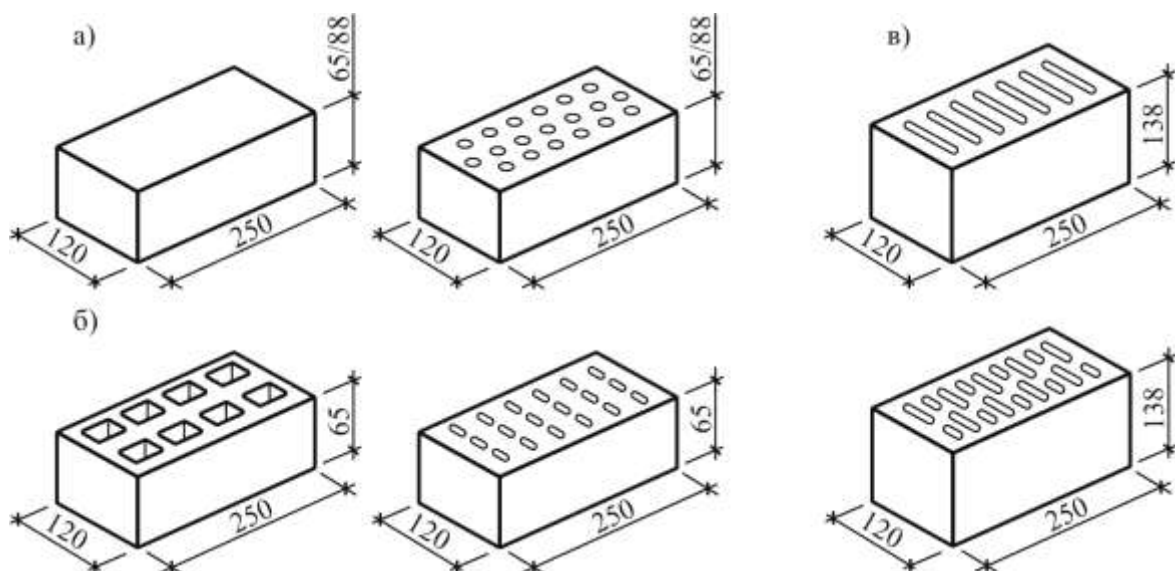


Рис. 2.2. Типы кирпичей:

а – кирпич пластического формования сплошной и дырчатый, б – кирпич полусухого прессования, в – керамические пустотные камни

Поризованный кирпич, в отличие от вышеприведенных вариантов, включает множество мелких пор. Образуются они в ходе производственного цикла, когда предварительно насыщенная специальными компонентами (измельченные древесные опилки, шелуха зерновых, макулатура или полистирол) заготовка прогревается до заданной температуры. При нагреве эти вещества испаряются, оставляя на своем месте пустую микропору. Таким способом материал обретает заданную пористость, а вместе с ней необходимые параметры звуко- и теплоизоляции.

Различают следующие размеры кирпича:

- Одинарный или стандартный. Имеет размер $250 \times 120 \times 65$ мм. Этот размер кирпича считается самым «удобным» и самым ходовым.
- Полуторный. Имеет размер $250 \times 120 \times 88$ мм. С учетом толщины горизонтального растворного шва 12 мм общая высота одного ряда кладки составит 100 мм, что является стандартным модулем в строительстве. В этой связи кирпич такого формата также называют модульным.
- Двойной. Его размер – $250 \times 120 \times 138$ мм.
- Кирпич размера «Евро». Его размер составляет 0,7 от размеров стандартного кирпича – $250 \times 85 \times 65$ мм.
- Неполномерный. Представляет собой части стандартного кирпича – $3/4$, $1/2$ и $1/4$.
- Ручного формования. Размер кирпича не нормируется, может меняться в зависимости от производителя.
- Крупноформатный кирпич (блок или камень).

Таблица 2.1

Размеры и форматы кирпича и керамического камня

Вид изделия	Обозначение вида	Номинальные размеры			Обозначение размера изделия
		Длина	Ширина	Высота	
Кирпич	КР	250	120	65	1 НФ
		250	85	65	0,7 НФ
		250	120	88	1,4 НФ
		250	60	65	0,5 НФ
		288	138	65	1,3 НФ
		288	138	88	1,8 НФ
		250	120	55	0,8 НФ
Камень	КМ	250	120	140	2,1 НФ
		250	250	140	4,5 НФ
		380	250	140	6,8 НФ
		250	250	188	6,0 НФ
		510	120	219	6,9 НФ
		250	250	219	7,0 НФ
		260	250	219	7,3 НФ
		380	250	219	10,7 НФ
		510	250	219	14,3 НФ

2.1.2. Блоки из легкого бетона

Блоки из легкого бетона являются альтернативой традиционному кирпичу при устройстве конструктивных слоев наружных стен. Так же как и кирпич, блоки из легкого бетона, в основном, являются конструктивно-теплоизоляционными материалами, а значит могут применяться в качестве основы однослойных конструкций.

В зависимости от способа получения легкие бетоны подразделяют на три группы:

Ячеистый или поризованный бетон. Получают путем смеси вяжущего, воды, песка (в некоторых марках песка нет) и добавок, образующих пену или способствующих газообразованию. При использовании пены получают пенобетон, при использовании газообразующих добавок – газобетон. Если в газобетоне большая часть вяжущего – известь, получают газосиликат. Основное отличие ячеистых материалов – отсутствие крупного заполнителя.

Обыкновенный легкий бетон. Получают из смеси вяжущего, крупного и мелкого заполнителя, воды. От обычного бетона отличается наличием легкого пористого заполнителя вместо щебня. Практически все пустоты между частицами заполнителя оказываются заполнены, воздушных полостей в таком материале немного – не более 6 %.

Крупнопористые легкие бетоны. Вместо песка и щебня используют крупный пористый заполнитель, который смешан с разведенным водой вяжущим. Песка нет, потому этот материал еще называют беспесчаным бетоном. Фрагменты заполнителя склеиваются между собой только в тех

местах, где соприкасаются, оставляя пустоты незаполненными. Воздушных пустот может быть до 25 %.



Рис. 2.3. Блоки из легкого бетона:

а – ячеистый бетон, б – обыкновенный легкий бетон, в – крупнопористый легкий бетон

Выделяют три технологии изготовления ячеистого бетона.

Естественное твердение. Залитый в формы состав оставляют на определенное время в опалубке. По истечении определенного времени (зависит от состава и вида) опалубку снимают. По этой технологии материал получается самый дешевый, но его характеристики находятся в самой нижней части допустимого диапазона, а иногда и ниже.

Обработка в тепловлажностных камерах при атмосферном давлении. Залитый в формы состав в процессе твердения подвергают тепловой и влажностной обработке. Качественные показатели изделий в данном случае выше, но выше и затраты, и цена.

Автоклавное твердение. Твердение материала происходит в условиях повышенной температуры и давления в автоклаве. Готовое изделие приобретает однородные свойства по всему объему. Стоимость автоклавных изделий – самая высокая из-за дорогостоящего оборудования и расходов на энергоносители (на поддержание температуры и давления в камере).

По происхождению заполнители для легких бетонов можно разделить на две группы: натуральные (природные) и искусственные. Натуральные получают путем измельчения природных пористых материалов: ракушника, пемзы, лавы, туфа, известняка и т.п. Лучшие из них — пемза и вулканический туф. У них структура пор закрытая, что снижает количество впитываемой материалом влаги.



Рис. 2.4. Различные фракции заполнителей легкого бетона

Искусственные заполнители для легкого бетона – это отходы некоторых технологических процессов (шлаки) или специально созданные из природных компонентов материалы (керамзит, вермикулит, перлит и т.д.) а также некоторые химические заполнители (полистирол).

По назначению легкие бетоны делят на следующие группы:

Теплоизоляционные. Имеют теплопроводность не выше $0,25 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, плотность не более 500 кг/м^3 .

Конструктивно-теплоизоляционные. Теплопроводность не выше $0,6 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, плотность $500\text{--}1400 \text{ кг/м}^3$, марка прочности не ниже М35. В малоэтажном частном строительстве используются для строительства несущих стен, в многоэтажном – для ненагруженных стен.

Конструкционные. Плотность от 1500 кг/м^3 и выше, марка прочности не менее М50 и морозостойкость не ниже F15. Используются для возведения несущих стен для построек выше 3 этажей.

Габариты бетонных блоков подбираются для требуемой сферы применения и по этой причине они бывают разными. Размеры распространенных стройматериалов, которые применяют для возведения наружных стен:

длина – $40 \times 60 \times 90\text{--}330 \text{ см}$;

высота – $30 \times 60 \times 80\text{--}390 \text{ см}$;

толщина – $20\text{--}60 \text{ см}$.

Свойства блоков из легких бетонов различаются достаточно сильно в зависимости от вида заполнителя, вяжущего материала, способа твердения. Тем не менее для этой группы материалов можно выделить следующие преимущества:

– Небольшой вес. Объемный вес блоков из легких бетонов может находиться в пределах $300\text{--}1200 \text{ кг/см}^3$. Малая масса конструкционного слоя из легкого бетона позволяет минимизировать нагрузку на фундамент, а значит, и возможность использования более простых конструкций.

– Обрабатываемость. Ячеистые блоки хорошо поддаются любому типу обработки. Но с неавтоклавными нужно быть предельно аккуратными, так как они обладают повышенной чувствительностью к растрескиванию.

– Низкая теплопроводность. Теплопроводность легких бетонов имеет обратную зависимость по отношению к плотности: чем больше воздуха содержит материал, тем меньше тепла он проводит. Этот параметр изменяется в значительных пределах, от $0,07$ до $0,7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

К недостаткам стен из легкобетонных стен можно отнести следующее:

– недостаточная стойкость к трещинообразованию. Неоднородная структура материала приводит к тому, что при наличии неравномерных нагрузок (неравномерные усадки фундамента, например), в блоках появляются трещины.

- Для повышения прочности стен необходимо частое армирование. Это дополнительные затраты на материалы и время на укладку арматуры.
- Высокое влагопоглощение. Теплоизоляционные характеристики влажных материалов снижаются довольно сильно.

2.2. Теплоизоляционные материалы

Теплоизоляционные материалы представляют собой широкую группу материалов с теплопроводностью ниже $0,2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ и плотностью не более 500 кг/м^3 .

Теплоизоляционные материалы принято разделять по виду исходного сырья на органические и неорганические.

К неорганическим относят искусственно созданные волокнистые материалы с теплоизоляционными свойствами, ячеистые бетоны с низкими значениями теплопроводности, пеностекло и т.п.

К органическим теплоизоляционным материалам относят материалы на основе древесины и других природных материалов, а также широкую группу газонаполненных пластмасс.

Если материал изготовлен из смеси органического и неорганического сырья, то его относят к неорганическим, если количество последних в смеси превышает 50 % по массе.

По структуре теплоизоляционные материалы подразделяют на:

- волокнистые материалы – минеральные изделия на основе волокна из стекла, шлака и горных пород;
- ячеистые (пористые) материалы – материалы, имеющие в составе замкнутые ячейки, наполненные воздухом. К ним относятся: пенобетон, пенополистирол, пеностекло и т.д.;
- зернистые (сыпучие) материалы – гранулы различного размера или шарики, которые засыпаются как самостоятельный утеплитель или добавляются в раствор. Например, перлит, пробковый гранулат, вермикулит, керамзит.

По форме и внешнему виду теплоизоляционные материалы подразделяют на:

- штучные – производятся в виде отдельных единиц: кирпич, плиты, блоки, полимерная скорлупа для трубопроводов, сегменты и цилиндры;
- рулонные и шнуровые – полотна различной длины и ширины, а также маты и шнуры из асбеста и минеральной ваты;
- рыхлые и сыпучие – материалы, используемые как засыпка – эковата, перлитовый песок, насыпная каменная вата, керамзит. Органические засыпки (опилки, стружки) склонны к осадке и гниению, поэтому применяются редко.

По горючести материалы и изделия подразделяются на:

- негорюемые;

- трудносгораемые;
- сгораемые.

По средней плотности теплоизоляционные материалы разделяют:

- особо низкая (ОНП) – показатели составляют 15, 25, 35, 50, 75, 100 кг/м³, это материалы, имеющие пористую структуру и незначительный вес (пенопласт, перлит, тонкое стекловолокно);
- низкая (НП) – утеплители 100, 125, 150, 175 кг/м³ (плиты минеральной ваты);
- средняя (СП) – 200, 225, 250, 300, 350 кг/м³ (минеральные плиты на битумной основе, перлитобетонные и соевитовые изделия);
- плотные (ПЛ) – материалы с высокими показателями 400, 450, 500, 600 кг/м³ (ячеистый бетон, диатомитовые и пенодиатомитовые утеплители).

Несмотря на широкую номенклатуру существующих на строительном рынке теплоизоляционных материалов, в качестве теплоизоляции в ограждающих конструкциях применяются в основном минеральные ваты и пенопласты.

2.2.1. Минеральная вата

Минеральная вата – общий термин для волокнистых теплоизоляционных материалов, полученных из расплава горных пород, шлака или стекла. Выделяют следующие виды минеральной ваты:

- стеклянная вата – минеральная вата, полученная в основном из расплава природного песка или стекла.
- каменная вата – минеральная вата, полученная преимущественно из расплава таких изверженных горных пород, как базальт и габбро, поэтому ее часто называют базальтовой;
- шлаковая вата – минеральная вата, полученная из расплава доменного шлака.

Высокие теплоизоляционные свойства минеральной ваты обусловлены наличием воздуха между тончайшими волокнами, которые могут располагаться в зависимости от вида материала в хаотичном или определенном порядке. Методы производства различного типа минеральной ваты схожи между собой. Основой является приготовление расплава исходного сырья в печах при высоких температурах и выдув из него под давлением на центрифугах или через фильеры тонких волокон. С целью формирования готового изделия заданной плотности и жесткости в волокно добавляется определенное количество связующего вещества на основе синтетических смол или битумов.

Так как сфера применения минераловатных утеплителей весьма широка, то выпускаются они в различных формах, что позволяет использовать их в

самых разнообразных конструкциях. В зависимости от формы и наличия покрытия, характеристики и свойства минеральной ваты могут отличаться.

а)



б)



в)



Рис. 2.5. Изделия из минеральной ваты:

а – плиты, б – прошивные маты, в – фасонные элементы в виде цилиндров

Минераловатные **плиты** обладают наиболее высокой плотностью и удобными размерами, что позволяет удобно совмещать их с большинством видов каркасов и облегчает складирование и транспортировку. Их применяют для утепления «мокрых» фасадов и нагруженных конструкций. Например, базальтовая плита может укладываться даже под бетонную стяжку пола.

Утеплитель в **рулонах и прошивных матах** более рыхлый. Он предназначен для теплоизоляции поверхностей, не испытывающих большой нагрузки – стен, перекрытий, подкровельных конструкций. А также для утепления труб большого сечения, воздухопроводов, кессонов, оборудования, расположенного в неотапливаемых зданиях.

Скорлупы и полые цилиндры из минваты – самый удобный и практичный утеплитель для труб бытовых коммуникаций. Кроме них, производители выпускают и фасонные части для изоляции углов, тройников и других узлов трубопровода.

Изделия из минеральной ваты обладают схожими свойствами. К их числу можно отнести:

- невысокую плотность, которая варьируется от 30 до 150 кг/м³ в зависимости от марки и вида исходного сырья. Плиты утеплителя имеют средний размер 0,6 м², поэтому у них небольшой вес, что облегчает монтаж;
- высокую паропроницаемость: минераловатный утеплитель не препятствует прохождению пароводяной влаги через ограждающие

конструкции, способствуя улучшению влажностного состояния конструкции;

- малый коэффициент теплопроводности от 0,03 до 0,06 Вт/м·°С, который напрямую зависит от плотности материала;
- высокую биологическую и химическую устойчивость: минеральная вата не гниет, не способствует распространению гнилостных бактерий и плесени, не разрушается от воздействия агрессивных веществ;
- огнестойкость: в зависимости от вида, минеральная вата выдерживает повышение температуры до 300÷700 °С. Минеральная вата часто используется для изоляции дымовых труб и труб отопления;
- пожаробезопасность: утеплители на основе минеральной ваты могут выпускаться с группой горючести НГ (негорючие), что является практически недостижимым для любых полимерных теплоизоляционных материалов. При длительном воздействии огня минеральная вата практически не выделяет вредных веществ, в отличие от полимерных материалов;
- нетоксичность: в состав материала входит очень небольшой процент фенолформальдегидных смол, которые полимеризуются еще в процессе производства и не выделяются в воздух при нормальных условиях эксплуатации;
- хорошие акустические характеристики: за счет волокнистой структуры изделия из минеральной ваты обладают высоким звукопоглощением;
- высокую степень водопоглощения по сравнению с утеплителями других видов, что является основным минусом волокнистых материалов, эксплуатационные характеристики которых резко снижаются из-за насыщения водой.

2.2.2. Пенопласты

Пенопласты – широкая группа теплоизоляционных материалов ячеистой структуры органического происхождения.

В зависимости от применяемого исходного сырья различают:

1. Полистирольные пенопласты. Следует отметить, что чем выше плотность пенопласта, тем выше механические характеристики полистирольных пенопластов. Этот вид пенопласта широко используется в строительстве.

2. Полиуретановые пенопласты (ППУ) – вид пенопласта, состоящего на 85–90% из инертной газовой фазы. Делятся на жесткие и мягкие. Жесткие чаще используются для шумоизоляции в автомобилестроении. Также широко применяются как холодоизоляция в холодильных камерах.

3. Полиэтиленовые пенопласты (ППЭ) представляют собой гибкие полупрозрачные листы. Используются в качестве влагозащитной подложки при укладке пола. Нередко применяются для упаковки и защиты хрупких

предметов. Толщина листов может варьироваться от 2 мм до десятков сантиметров.

4. Поливинилхлоридные пенопласты (ПВХ) – легкий материал, состоящий из поливинилхлорида и газообразователя. Жесткость материала зависит от количества вводимых в состав пластификаторов. Жесткий ПВХ пенопласт применяют для изоляции трубопроводов.

В качестве теплоизоляционного слоя ограждающих конструкций широкое применение нашли только полистирольные пенопласты.

В зависимости от способа производства различают следующие виды пенополистирольного теплоизоляционного материала:

Беспрессовый пенопласт (ПСБ) производится путем склеивания гранул под воздействием высоких температур (116–130 °С). Пенопласт состоит из отдельных гранул, заполненных изопентаном. Его также называют бисерным пенопластом. Эти гранулы предварительно вспениваются в горячей воде. Такой пенопласт легко определить на глаз. Он состоит из шариков разной величины.

Прессовый пенопласт (ПС) получают, смешивая гранулы пенопласта со вспенивающим веществом под воздействием высоких температур (120–180 °С). После этого масса заливается в формы и прессуется с давлением 120–170 кг/см². Пенопласт приобретает высокие прочностные качества.

Экструдированный пенопласт (ЭППС) изготавливают, вводя в состав вспенивающие компоненты и антипирен (компонент, замедляющий воспламенение). Под воздействием давления от 0,7 до 6 атмосфер и температуры 110–170 °С вспененная и расплавленная масса выдавливается через формирующее отверстие экструдера. Такой способ производства позволяет добиться закрытой ячеистой структуры, а, следовательно, минимального водопоглощения, высокой прочности и долговечности продукции.

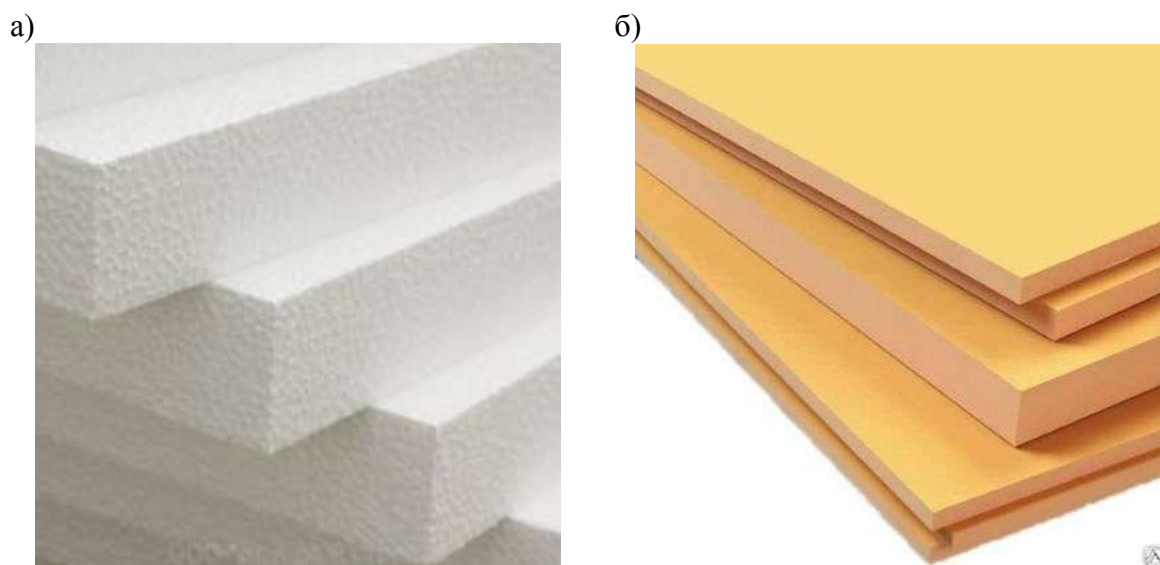


Рис. 2.6. Пенополистирольный теплоизоляционный материал:
а – вспененный, б – экструдированный

Пенополистирольные материалы имеют следующие преимущества:

- невысокая стоимость по сравнению с другими видами утеплителей;
- низкая теплопроводность;
- биостойкость;
- легкий вес при достаточно высокой жесткости по сравнению с минераловатными материалами.

Существенными недостатками данного вида материалов является:

- горючесть; пенополистирольные пенопласты имеют ряд ограничений к применению в качестве теплоизоляционного материала жилых и общественных зданий;
- нестойкость к УФ-излучению;
- нестойкость к действию растворителей;
- низкая паропроницаемость; у экструдированного ППС паропроницаемость стремится к нулю, что вводит ограничение на применение данного материала в наружных стенах.

2.3. Облицовочные материалы

2.3.1. Фасадная штукатурка

Фасадная штукатурка применяется как в системе «мокрого фасада» (Раздел 3), т.е. наносится непосредственно на теплоизоляционный материал, так и в качестве облицовочного слоя однослойных стеновых конструкций из кирпича или ячеистого бетона. Как правило, тип основания для нанесения фасадной штукатурки может быть любым, единственным критерием является жесткость данного материала.

Фасадная штукатурка должна соответствовать следующим требованиям:

- высокие показатели паропроницаемости;
- устойчивость к воздействию негативных атмосферных факторов, температурных перепадов;
- стойкость к механической и статической нагрузке.

В зависимости от состава и наличия дополнительных свойств выделяют следующие виды штукатурки для фасадов:

Минеральная. Ее основа – цемент и гашеная известь, а также мелкофракционный наполнитель (цветная глина, каменная крошка). Для создания минерального штукатурного раствора используют цемент прочностью М500 и выше. Это обеспечивает повышенную прочность материала, стойкость к температурным перепадам, длительность эксплуатации. Штукатурка

характеризуется негорючестью, но обладает низкой эластичностью. Это становится причиной появления трещин при усадке строения.

Акриловая. Характеризуется высокой эластичностью и стойкостью к воздействию внешней среды за счет наличия в основе модификаторов и пластификаторов. Акриловый состав характеризуется высокой паропроницаемостью. Недостатком акриловой смеси является ее горючесть и высокая электростатичность, в связи с чем поверхность быстро загрязняется.

Силикатная. Ее база – «жидкое стекло», то есть раствор сплавов калия и натрия, благодаря чему достигаются характеристики высокой паропроницаемости и пожаробезопасности. Кроме того, покрытые силикатной штукатуркой поверхности не притягивают пыль (за счет нейтральной электростатичности материала), устойчивы к воздействию среды.

Силиконовая. Основу силиконовой штукатурки составляют силиконовые смолы, придающие ей значительную эластичность. Благодаря этому с помощью такого состава удастся получать идеально гладкие поверхности фасада. Материал характеризуется прочностью и повышенной износостойкостью. Состав непригоден для нанесения на наружные утеплители. Для решения этой проблемы декоративный штукатурный слой укладывается поверх базового и армирующей сетки.

Декоративные качества фасадной штукатурки определяются ее фактурой и цветом. Фактурная поверхность штукатурки достигается благодаря наличию в составе наполнителей или использованию специальных инструментов.

Среди популярных фактур:

- «Камешковая» – представляет собой состав с мелкими вкраплениями. Их диаметр – 1–3 мм. Эффект шероховатости достигается благодаря затиранию теркой из пластика или использования кельмы, кистей.
- «Короед» – представляет собой фактуру с многочисленными бороздками – горизонтальными, вертикальными, волнообразными. Текстура создается с помощью тех же материалов, что и «камешковая».
- Мозаичная, в основе которой – силикатная или силиконовая смесь. В нее добавляется каменная крошка крупной фракции различного оттенка. В результате застывшая поверхность напоминает дорогостоящие горные породы, а разноцветные гранулы создают причудливый узор.
- «Барашек» представляет собой мягкобугристый слой, что достигается благодаря каменным зернам различной фракции в составе. Разновидность «камешковой» фактуры.

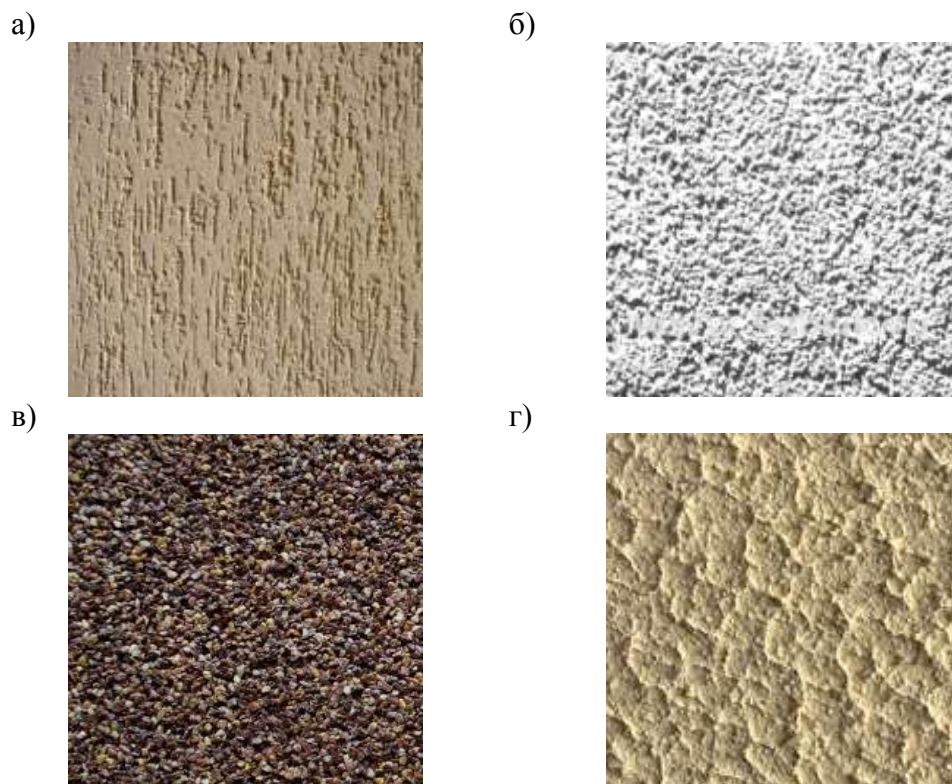


Рис. 2.7. Фактуры декоративной фасадной штукатурки:
а – короед, б – камешковая, в – мозаичная, г – барашек («шуба»)

2.3.2. Плитный материал

Плитный материал применяется в системе навесного фасада в качестве защитного экрана (Раздел 3). Плитный материал может выполняться из самых разных материалов, которые способны обеспечить декоративный внешний вид фасада и защиту теплоизоляционного слоя от внешнего атмосферного воздействия.

К основным видам плитного материала, применяемого в системах навесного фасада, можно отнести:

- керамогранитные плиты;
- фиброцементные плиты;
- композитные панели;
- металлические листы;

2.3.2.1. Керамогранитные плиты

Керамогранитные изделия изготавливают из глины и кварцевого песка с добавлением каолинов, полевых шпатов и минеральных красителей. Состав прессуют под большим давлением и обжигают при температуре выше 1000 градусов.

Керамогранит обладает следующими характеристиками:

- морозостойкость – до 50 циклов заморозки и размораживания;
- водопоглощение – $0,05 \div 0,5\%$;

- плотность – $2400 \div 2700 \text{ кг/м}^3$. Примерно соответствует удельному весу стекла;
- стойкость к механическому воздействию: устойчивость к царапинам – более 6 по шкале Мооса, прочность на излом – более 27 Н / мм^2 ;
- типовой размер плит – 600×600 , широкоформатный размер до 1500×3000 мм.

Тип поверхности и структура керамогранитной плитки может быть разнообразной:

- шлифованные – матовые изделия с шероховатой на ощупь структурой. При изготовлении обрабатываются алмазными дисками;
- матовые (неполированные) – такая облицовка отличается отсутствием блеска, но обладает высокими техническими параметрами и более низкой стоимостью по сравнению с другими аналогами;
- сатинированные (лощенные) – поверхность покрывается минеральными солями и кислотами, в результате чего изделие приобретает легкий блеск. На структуру это никак не влияет, а в плане характеристик материал подобен матовому аналогу;
- зеркальные – поверхность не только шлифуется, но и полируется до блеска;
- глазурированные – изделия перед обжигом покрывают глазурью, что придает им яркий глянцевый блеск;
- полуполированные – путем срезания с внешней стороны плитки неровностей образуется поверхность, сочетающая в себе глянцевый и матовый эффекты;
- структурированные – изделия с рельефной структурой, имитирующие различные материалы (древесину, камень, кожу и др.).

К плюсам керамогранита можно отнести следующие его особенности:

- материал высокопрочен и влагостоек, устойчив к температурным перепадам и воздействию химических веществ;
- позволяет использовать разные варианты оформления фасада. Изделия изготавливаются в различных текстурах, размерах и цветах;
- экологичный – материал безвреден для окружающей среды и человеческого здоровья;
- пожаробезопасный.

Недостатки:

- плитку сравнительно трудно резать и сверлить из-за высокой прочности и твердости материала;
- большой вес и более высокая стоимость по сравнению с некоторыми аналогами.

Крепление керамогранитной плитки на фасад осуществляется в основном с использованием кляммеров из оцинкованной или нержавеющей стали (рис. 2.8). Специальные «усы» кляммера обхватывают края плитки, не нарушая при этом ее целостности. Минус такого способа в том, что крепеж (усики)

остаются на виду. Но есть и свои плюсы – более быстрый монтаж и меньшие материальные затраты.

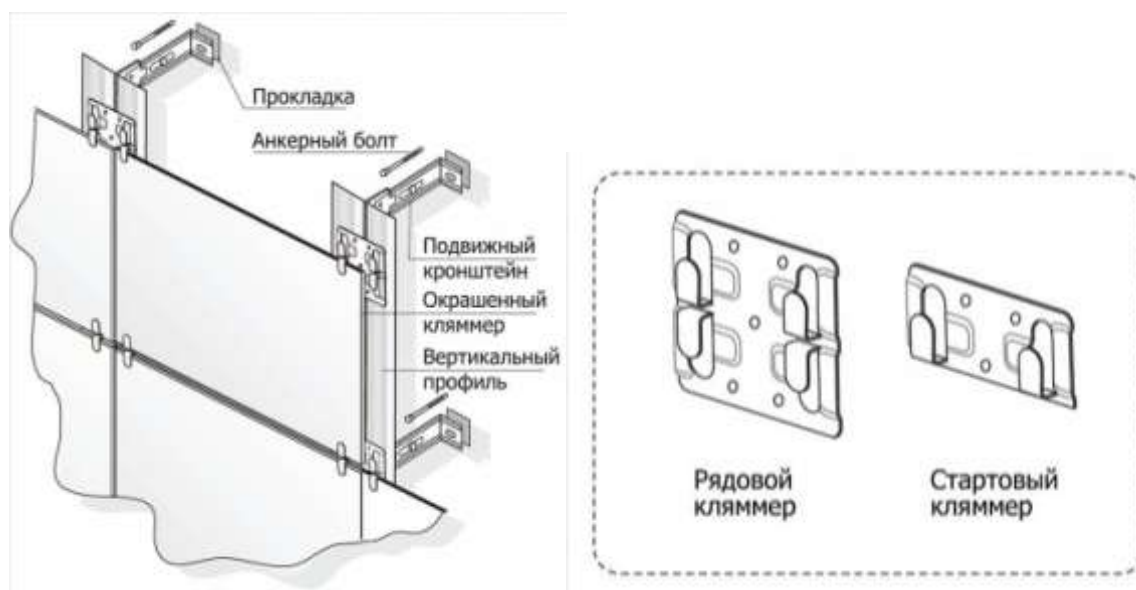


Рис. 2.8. Крепление керамогранитной плитки с использованием кляммеров

2.3.2.2. Фиброцементные плиты

Фиброцементные плиты изготавливают из смеси целлюлозы, цемента, песка и синтетических добавок. Термическая обработка под высоким давлением придает материалу высокую прочность. Наружную поверхность обрабатывают водоотталкивающими, антистатическими и красящими составами.

Декоративные качества фиброцементных плит обеспечиваются как разнообразной фактурой, так и текстурой под различные материалы (дерево, кирпич, камень и т.п.)

Выпускаются фиброцементные плиты в виде широких листов размером до 1200х3000 мм. Отделка фасада плитами осуществляется с помощью саморезов, заклепок или скрытых кляммеров.

Основные свойства фиброцементных плит схожи с керамогранитной плиткой. К существенным отличиям можно отнести:

- большее водопоглощение фиброцементных плит по сравнению с керамогранитными;
- большие температурные деформации, что приводит при некачественном креплении к выгибанию плит на фасаде;
- в среднем фиброцементные плиты для фасадов обладают большими габаритными размерами и видами декоративной отделки.

2.3.2.3. Композитная панель

Композитная панель – это высокотехнологичный конструкционный материал, состоящий из двух металлических листов (алюминий или сталь) и внутреннего термопластичного минерального или полимерного наполнителя. Толщина металлических листов – от 0,2 до 0,5 мм, а общая толщина пластины

составляет 2 – 6 мм. Химико-механическое соединение композитных панелей делает их фактически однородным материалом.

На металлические листы наносится защитное покрытие: сторона, обращенная внутрь здания, покрывается антикоррозийным покрытием, а внешняя – специальным защитным покрытием из ПВДФ (поливинилиденфторида) или полиэстера.

Среди положительных моментов использования на вентилируемых фасадах композита можно выделить следующие:

- **Легкость.** В зависимости от толщины используемого композита вес одного кв. метра может быть 3–8 кг. При одинаковой жесткости панель легче листа из стали в 3,4 раза, а цельного листа из алюминиевого сплава – в 1,6 раза.
- **Прочность и жесткость.** Благодаря этим качествам из композита изготавливают для навесных фасадов кассеты крупных габаритов, что позволяет монтировать большие площади за минимальный срок.
- **Гибкость.** Плоский лист алюминиевого композита можно легко трансформировать. Из него получается любая криволинейная форма, можно сделать закругленные или острые углы.
- **Легкость обработки.** Композит позволяет формировать самые сложные геометрические конструкции непосредственно на объекте. Панели можно легко гнуть, сверлить, резать и фрезеровать, что дает возможность создать необычные архитектурные формы.
- **Устойчивость к УФ-излучению и воздействию агрессивной окружающей среды.**
- **Многообразная цветовая гамма.** Различные варианты окраски панелей позволяют разные элементы архитектуры фасада оформить индивидуально.
- **Устойчивость к загрязнениям.** Панели покрыты материалом PVDF и полиэстером. Это дает гарантию сохранения цвета фасада под воздействием соединений серы, солевых взвесей, атмосферной пыли. Он не выгорит от воздействия солнечных лучей. Обычная вода легко очистит фасад от агрессивных налетов и осевшей пыли.
- **Долговечность.** Гарантия для фасадов с композитными панелями составляет до 25 лет.

Недостатки:

- **Пожаробезопасность.** Наличие полимерного слоя в композитной панели делает ее непожаробезопасной. Как правило, из композитных листов изготавливают кассеты с загнутыми торцами, что предотвращает стекание полимерной прослойки из панели при пожаре.
- **Низкая ремонтпригодность.** При повреждении композитных панелей отремонтировать их крайне сложно, а при замене кассеты приходится менять соседние.

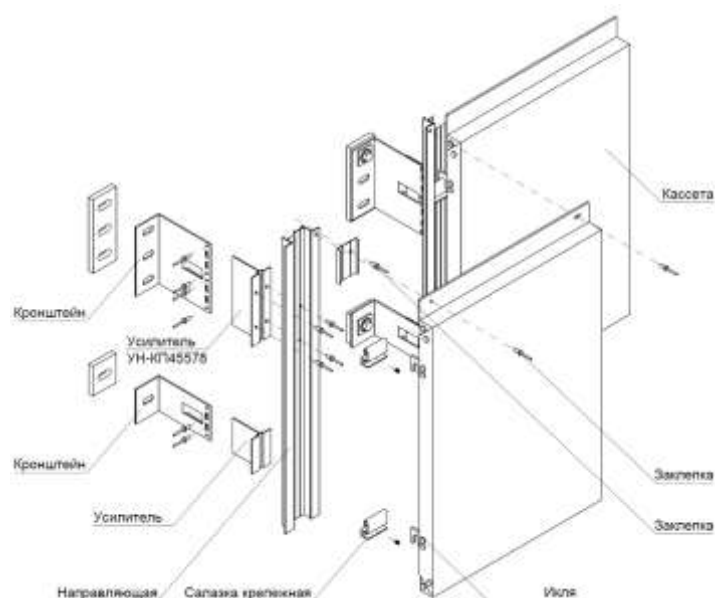


Рис. 2.9. Схема устройства кассет из композитного материала

2.3.2.4. Металлические плиты

В основе таких панелей лежат листы из алюминия и оцинкованной стали. Внешняя сторона имеет полимерное или порошковое покрытие, что придает материалу устойчивость к воздействию коррозионных процессов. Однако в случае его повреждения есть риск образования ржавчины. Плиты являются пожаробезопасными, не впитывают влагу, очень прочны. Кроме того, несмотря на значительный вес, их легко устанавливать, и панели способны прослужить долгое время. Они выдерживают серьезные колебания температур и не требуют специфического ухода. Среди недостатков можно отметить недостаточную стойкость к внешним механическим воздействиям. Например, в случае деформации плиты уже нельзя будет вернуть ей прежнюю форму. В летнее время в помещении может быть не слишком комфортно за счет способности металлических плит сильно нагреваться на солнце. Главное, что нужно учитывать при таком способе облицовки здания, — это термическое расширение. Металлические листовые панели расширяются при плюсовой температуре и сужаются при минусовой. Следовательно, если жестко закрепить панель к основанию, ее поведет на солнце. Это явление называется «эффект линзы на фасаде». Кассета пойдет волной, станет неровной, а в худшем случае силой расширения срежет головку заклепки и тогда облицовка рискует выпасть.

2.3.2.5. HPL-панель

Этот материал также называют «ламинат высокого давления» — HPL (high pressure laminate). При производстве древесная пыль соединяется с полимерами и под огромным давлением из-под пресса выходит очень прочная плита для фасада. Готовая панель имеет многослойную структуру, включающую в себя основной слой, декоративный слой, прозрачную защиту (ламинирование) и т.д. Декоративный слой может быть нанесен с одной или двух сторон, рисунок

может быть практически любой, что предопределяет высокие декоративные качества данного изделия.

К основным достоинствам материала стоит отнести:

- чрезвычайно малый вес в сравнении с любым другим материалом для навесного фасада;
- устойчивость к воздействию УФ;
- влагостойкость;
- изностоустойчивость;
- устойчивость к механическим воздействиям;
- простоту обработки.

К минусам материала стоит отнести горючесть – материал относится к группе горючести Г1, т.е. не поддерживает горение, самозатухающий. На сегодня существенным ограничением к широкому применению является и высокая стоимость.

Закрепить панель на фасаде можно скрытым и видимым способами. Видимый способ предполагает использование заклепок. А скрытый – крепление с обратной стороны плиты специальным притягивающим болтом скрытого крепления.

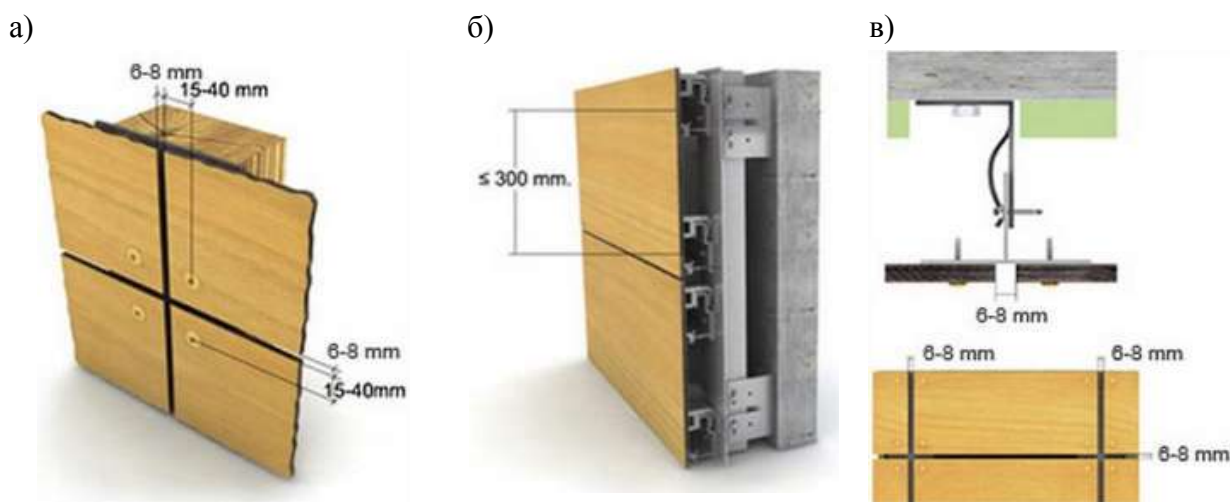


Рис. 2.10. Схема устройства кассет из композитного материала:

а – видимое крепление при помощи саморезов, б – скрытое крепление при помощи направляющих, в – видимое крепление при помощи L- и Т-направляющих на винт

2.3.2.6. Клинкерная плитка

Клинкер представляет собой смесь сланцевой глины, растворителей оксидного происхождения, а также специальных присадок. Далее сырью придается нужная форма (методом экструзии или прессования), после чего будущие плитки запекаются при температуре 1300–1400°C.

Среди технических характеристик клинкерной плитки для внешней облицовки фасада наиболее важными являются несколько показателей.

- Механическая прочность. Материал успешно противостоит всем видам нагрузок – на изгиб, ударным, на истирание и сжатие. Минимальные прочностные показатели составляют М400 (то есть на 1 кв. см приходится 400 кг усилия). Максимальной является величина прочности, равная М800.

Для сравнения: прочность кирпича для облицовки в среднем составляет М250.

- Морозостойкость. Проведенные испытания позволяют утверждать, что без ущерба для своей целостности материал выдерживает до 150 циклов заморозки и разморозки. Увеличенные показатели морозоустойчивости обусловлены низким влагопоглощением материала, которое в среднем составляет 2–4%.

Формой выпуска материала являются плитки толщиной 15–25 мм. Параметры габаритов вариативны. Встречается плитка, имитирующая кирпич и соответствующая его размерам (250х120 мм). Так называемая старонемецкая плитка имеет параметры 240х71 мм, а современный «американский» аналог – 295х57 мм.

Клинкерная плитка монтируется на горизонтальные направляющие с последующей заделкой межплиточных швов, такая облицовка позволяет искусно имитировать кирпичную кладку, превосходя ее по энергоэффективности. Помимо этого, навесная клинкерная система не зависит от деформационных процессов в здании, которые обычно приводят к расхождению швов обычной облицовки.

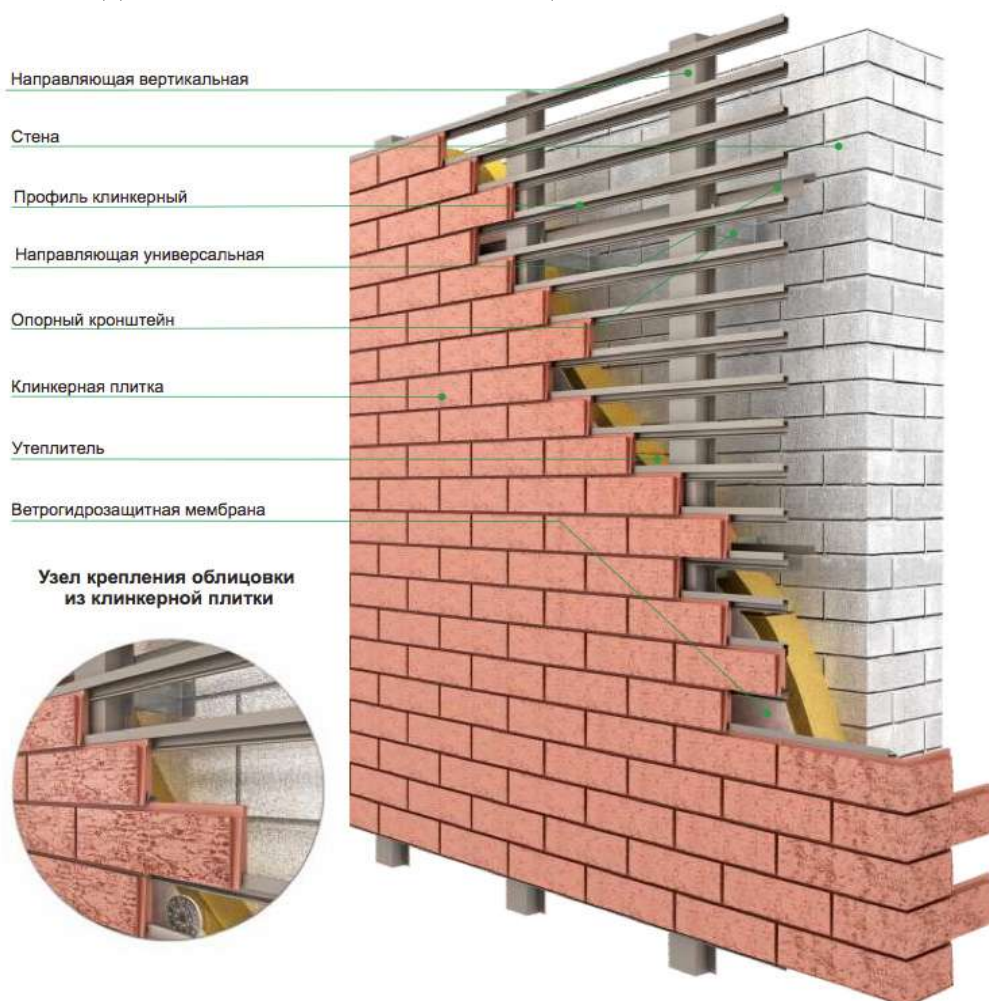


Рис. 2.11. Крепление клинкерной плитки на горизонтальные металлические направляющие в системе навесного фасада

3. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН МАССОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Все многообразие применяемых в массовом строительстве конструктивных решений многослойных стен сводится к нескольким основным типам (рис. 3.1):

а) однослойная конструкция, или многослойная конструкция из близких по характеристикам материалов;

б) многослойная конструкция с тонким облицовочным штукатурным слоем по утеплителю (системы по типу «мокрый фасад»);

в) трехслойная конструкция с облицовочным слоем из керамического кирпича;

г) системы навесного фасада («вентфасад»);

д) многослойная конструкция на основе теплоизоляционного материала и тонких облицовок (по типу «сэндвич-панелей» и т.п.)

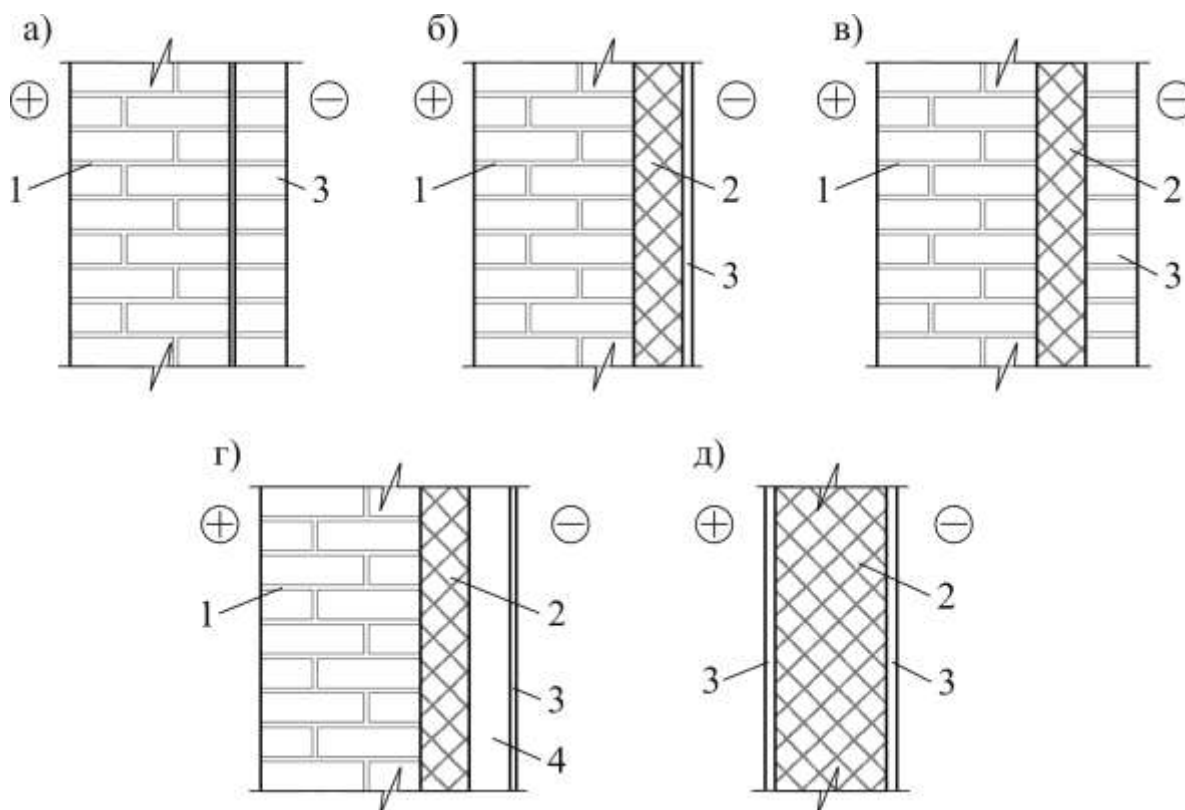


Рис. 3.1. Основные конструктивные типы наружных стен:

а – однослойная (однородная конструкция), б – конструкция с тонким облицовочным штукатурным слоем по утеплителю, в – трехслойная конструкция с облицовочным слоем из керамического кирпича, г – наружная стена с системой навесного фасада,

д – наружная стена на основе сэндвич-панелей:

1 – конструкционный слой, 2 – теплоизоляционный слой, 3 – облицовочный слой,
4 – воздушная прослойка

3.1. Однослойная конструкция наружных стен

Под однослойной конструкцией наружной стены понимается однородная конструкция, состоящая преимущественно из каменных материалов, без использования эффективных теплоизоляционных материалов.

К таким типам стен относятся однослойные конструкции из кирпича, эффективных крупноформатных керамических блоков, блоков из легких бетонов. Из-за отсутствия декоративной поверхности у вышеназванных материалов такие стены, как правило, оштукатуривают изнутри и снаружи или выполняют декоративный облицовочный слой из кирпича с наружной стороны стены.

а)



б)

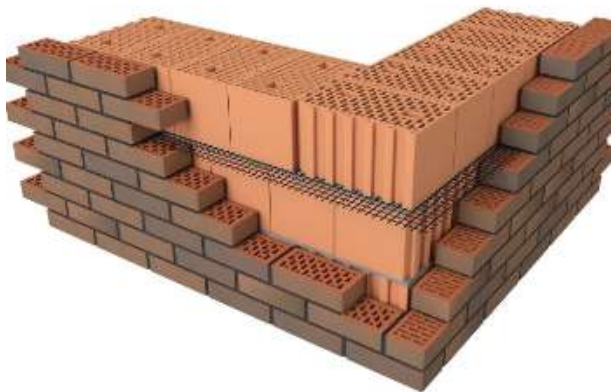


Рис. 3.2. Однослойные (однородные) каменные конструкции наружных стен:
а – оштукатуренный керамический блок, б – керамический блок, облицованный
лицевым кирпичом

Применение таких конструкций обусловлено однородностью свойств материалов по всей толщине стены, в отличие от слоистых конструкций. Однородная конструкция однослойной каменной стены обеспечивает большую долговечность, экологичность, устойчивость к механическому и огневому воздействию. В конструкции однослойной каменной стены отсутствуют менее долговечные и устойчивые к воздействиям теплоизоляционные материалы и полимерные пленки, нет вентилируемых зазоров, отсутствует риск накопления влаги на границе слоев, не требуется защита от грызунов.

Однослойная конструкция в силу небольшого количества технологических процессов, необходимых для ее возведения, является более надежной по сравнению с многослойной системой. Отсутствуют такие риски, как сползание теплоизоляционного материала, нарушение паро- и гидроизоляции, коррозия стальных крепежных элементов и т.п.

К недостаткам однослойных конструкций следует отнести:

- относительно невысокое сопротивление теплопередаче, и, как следствие, невозможность применения в регионах с низкими расчетными температурами наружного воздуха;
- применение однослойных стен в каркасных зданиях приводит к их высокой теплотехнической неоднородности из-за необходимости применения эффективных теплоизоляционных материалов при устранении мостиков холода.

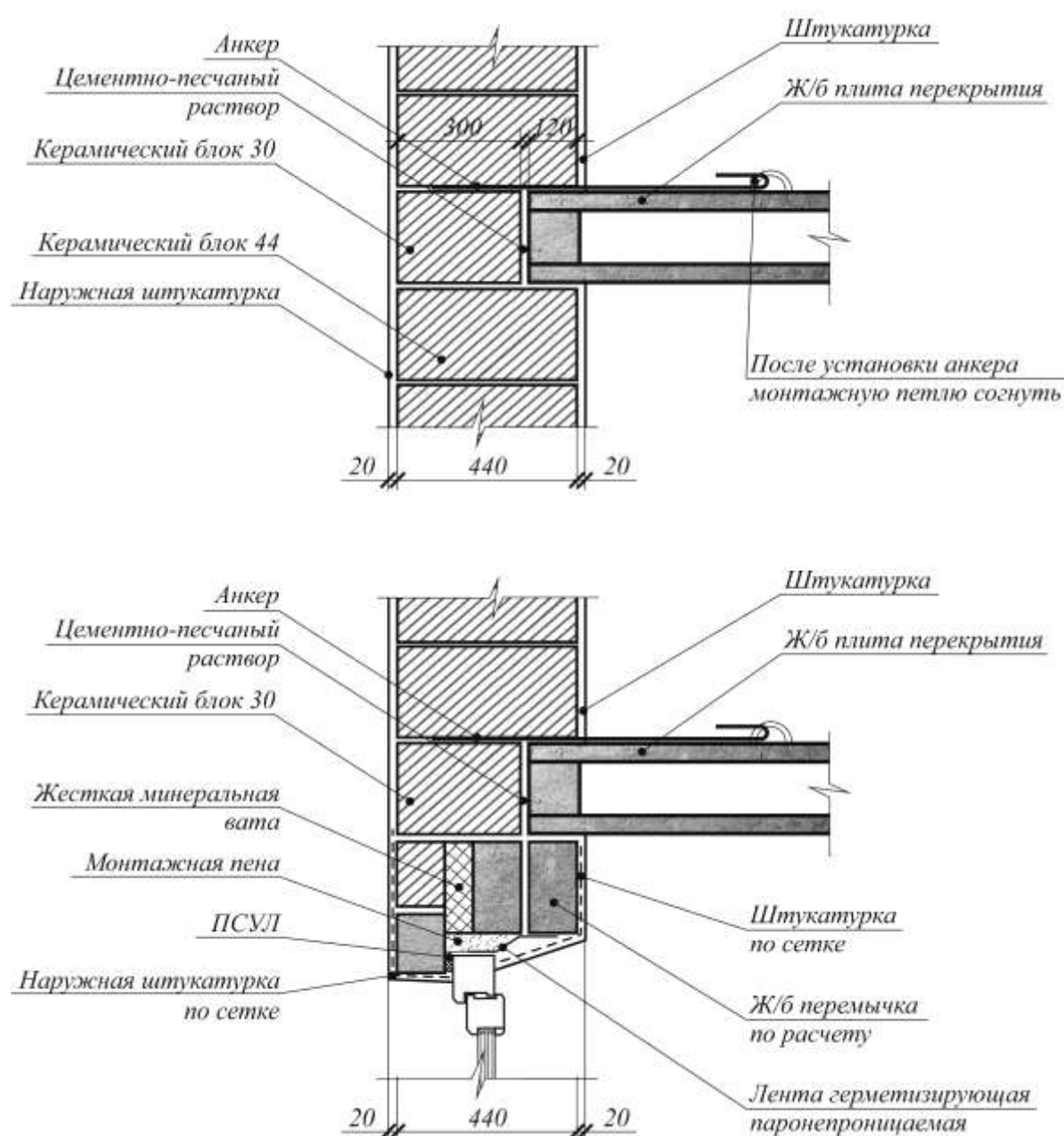


Рис. 3.3. Узлы опирания железобетонной плиты перекрытия на однослойную стену из крупноформатного керамического блока

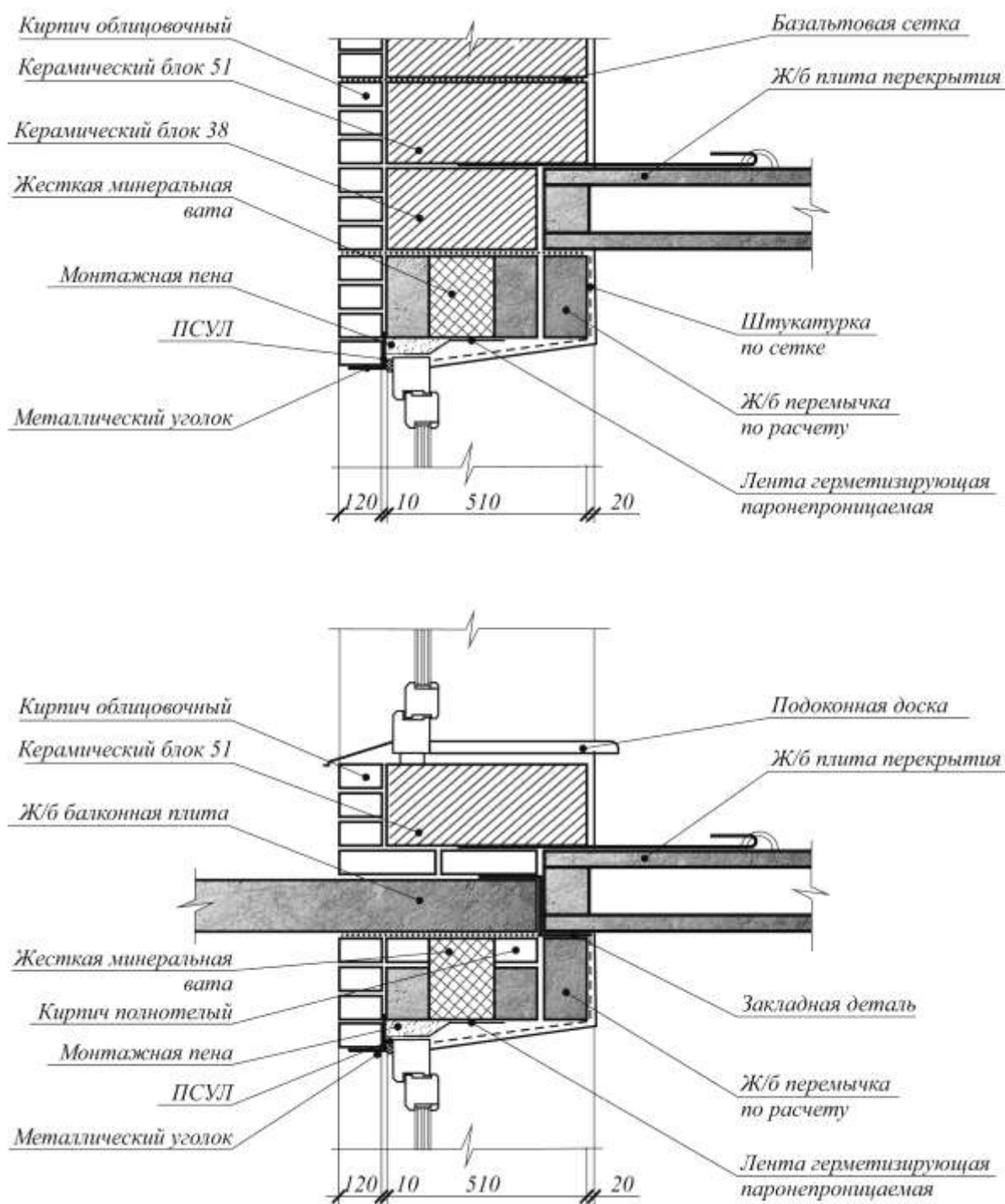


Рис. 3.4. Узлы опирания железобетонной плиты перекрытия на однослойную стену из крупноформатного керамического блока с облицовкой из лицевого керамического кирпича

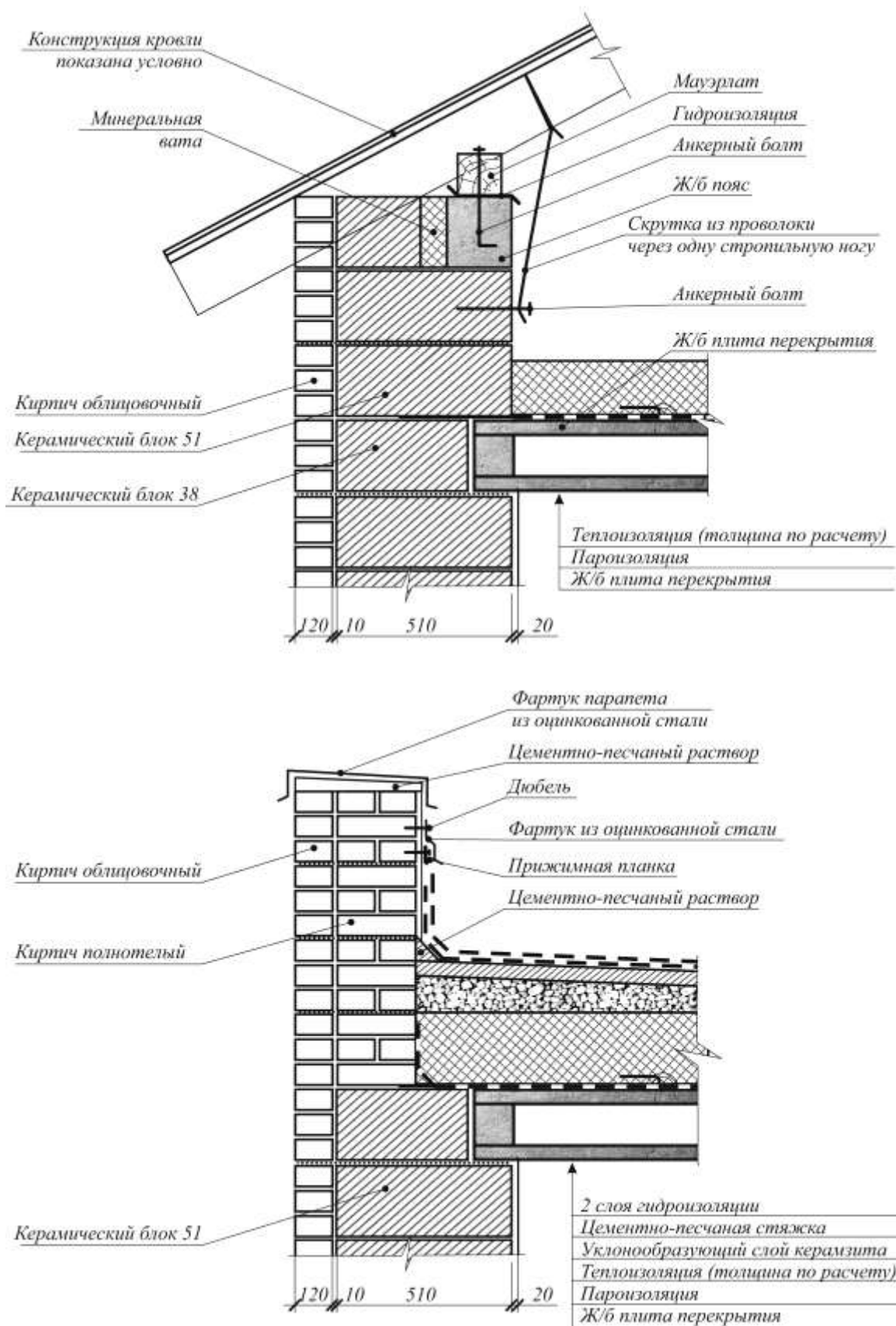


Рис. 3.5. Узлы организации сопряжения наружной однослойной стены из крупноформатных блоков с чердачным перекрытием и совмещенным покрытием

3.2. Система наружного утепления с тонким штукатурным слоем («мокрый фасад»)

Система наружного утепления с тонким штукатурным слоем представляет собой классический тип многослойной ограждающей конструкции, состоящей из трех слоев по п.1.1. В качестве облицовочного слоя применяется тонкий слой штукатурки, выполняемый непосредственно по теплоизоляционному материалу. Так как при нанесении штукатурного слоя материал утеплителя замачивается технологической влагой, такой вид фасада часто называют «мокрым».

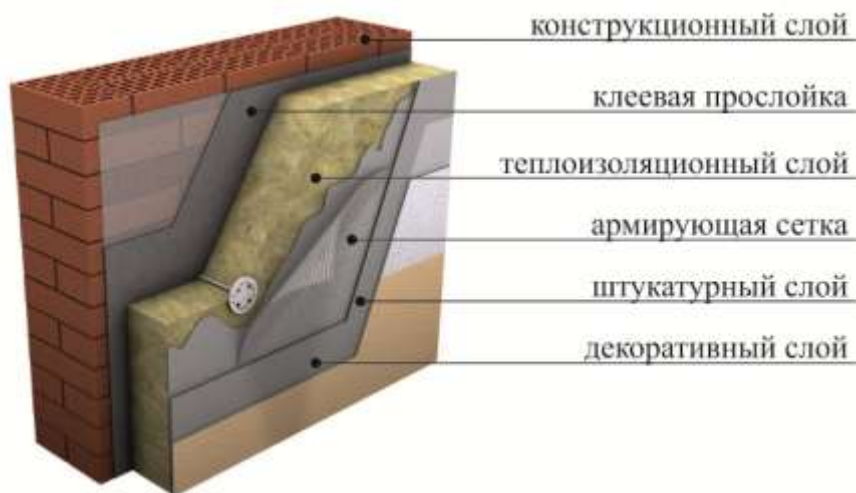


Рис. 3.6. Система наружного утепления с тонким штукатурным слоем

Система наружного утепления с тонким штукатурным слоем включает в состав, как правило, следующие основные слои:

- *Клеевая прослойка.* Наносится на стену для фиксации плит теплоизоляции.
- *Теплоизоляционный материал* (плиты минваты или пенопласта). Закрепляется на клей и крепежные элементы к стене.
- *Армирующая сетка.* Покрывает утеплитель. Служит для лучшей фиксации штукатурного раствора.
- *Штукатурка.* Наносится слоем определенной толщины на покрытую армирующей сеткой прослойку утеплителя.
- *Декоративная отделка.* Побелка, покраска поверх заштукатуренного слоя.

Согласно ГОСТ Р 56707-2015 данный тип наружной стены называется «Системы фасадные теплоизоляционные композиционные с наружными штукатурными слоями» или сокращенно СФТК.

Классификация СФТК включает в себя следующее подразделение систем: – по виду применяемого материала изделий теплоизоляционного слоя:

- с теплоизоляционным слоем из минераловатных изделий (плит, панелей) из:

- каменной ваты,
 - стекловаты,
 - с теплоизоляционным слоем из пенопластовых изделий (плит, панелей) из:
 - пенополистирола (ППС),
 - экструдированного пенополистирола (ЭППС),
 - пенополиуретана (ППУ),
 - с комбинированным теплоизоляционным слоем, выполненные из комбинации утеплителей (минеральной ваты и пенопластов),
 - с теплоизоляционным слоем из минеральных природных или искусственных штучных высокопористых материалов, обладающих достаточными теплоизоляционными свойствами,
- типу состава, применяемого для выполнения базового штукатурного слоя:
- минеральные;
 - минерально-полимерные;
 - полимерные;
- виду декоративно-защитного финишного слоя:
- декоративно-минеральные, окрашенные в массу;
 - декоративно-минеральные, с внешним окрасочным слоем;
 - декоративно-полимерные;
 - с внешним окрасочным слоем;
 - с декоративно-защитным финишным слоем из штучных материалов.

В зависимости от способа крепления теплоизоляционного слоя различают механическое и клеевое крепления.

Наибольшее распространение благодаря скорости и простоте выполнения работ получило клеевое крепление теплоизоляционного слоя.

При выборе такой техники монтажа утеплитель крепится на стены с помощью клея и тарельчатых дюбелей. Главное условие – ровная поверхность стены с минимальными перепадами. Поверх утеплителя укладывается армирующая сетка и минеральный раствор. Далее укладывается защитно-декоративный слой небольшой толщины (не более 10 мм).

При механическом креплении клеевой состав не используется. Плиты крепятся на стену с помощью специальных дюбелей с крюками. Далее поверх плит крепятся прижимные пластины и затягивается армирующая металлическая сетка. Защитно-декоративный слой укладывается поверх сетки и может достигать 40 мм в толщину.

Подобная разновидность получила название «плавающая система». Это актуально при сильных термических деформациях стен, а также в зоне

сейсмической нестабильности. В РФ такая система используется в регионах с суровым климатом. Особенностью является повышенная нагрузка на стены из-за внушительного веса отделки.

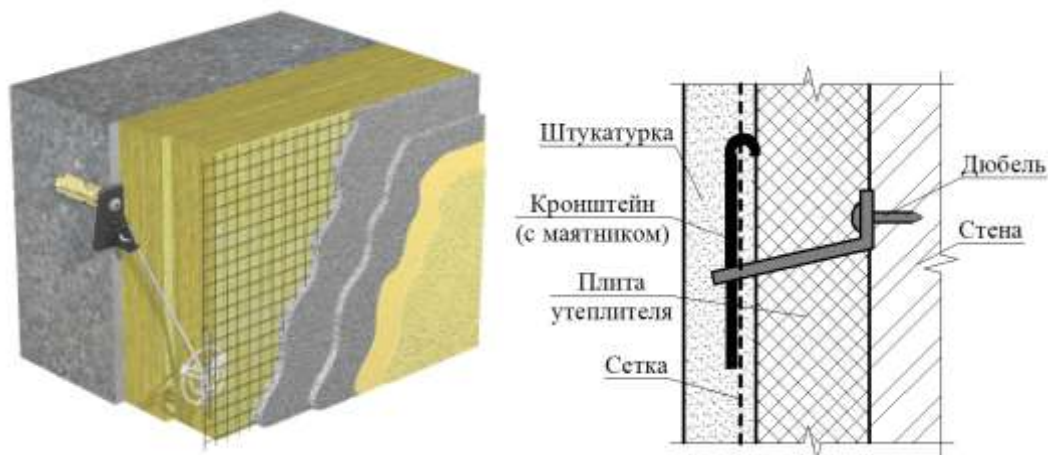


Рис. 3.7. Механическая система крепления толстого штукатурного слоя

Преимущества мокрого фасада:

- крепление облицовочного слоя непосредственно к утеплителю без связи с конструкционным обеспечивает высокую теплотехническую однородность данного типа фасада;
- тонкий облицовочный слой, связанный с теплоизоляционным слоем, обеспечивает гибкость фасадного решения с возможностью утепления любой формы колонн, пилястр, портиков, эркеров и т.п.;
- изменение толщины утеплителя обеспечивает применение данного типа фасада в регионах с различными климатическими условиями;
- возможность применения на зданиях различной высоты;
- высокие показатели пожарной безопасности при применении негорючих утеплителей. Фасадные системы с минераловатным утеплителем относятся к классу K0 (непожароопасные);
- широкие декоративные возможности финишной отделки.

К недостаткам мокрой отделки фасада относятся:

- необходимость строгого соблюдения условий монтажа – температура должна быть выше +5 °С;
- недопустимо попадание на незастывшие штукатурные составы прямых солнечных лучей, дождевой воды;
- относительно невысокая прочность тонкого штукатурного слоя, нанесенного по утеплителю.

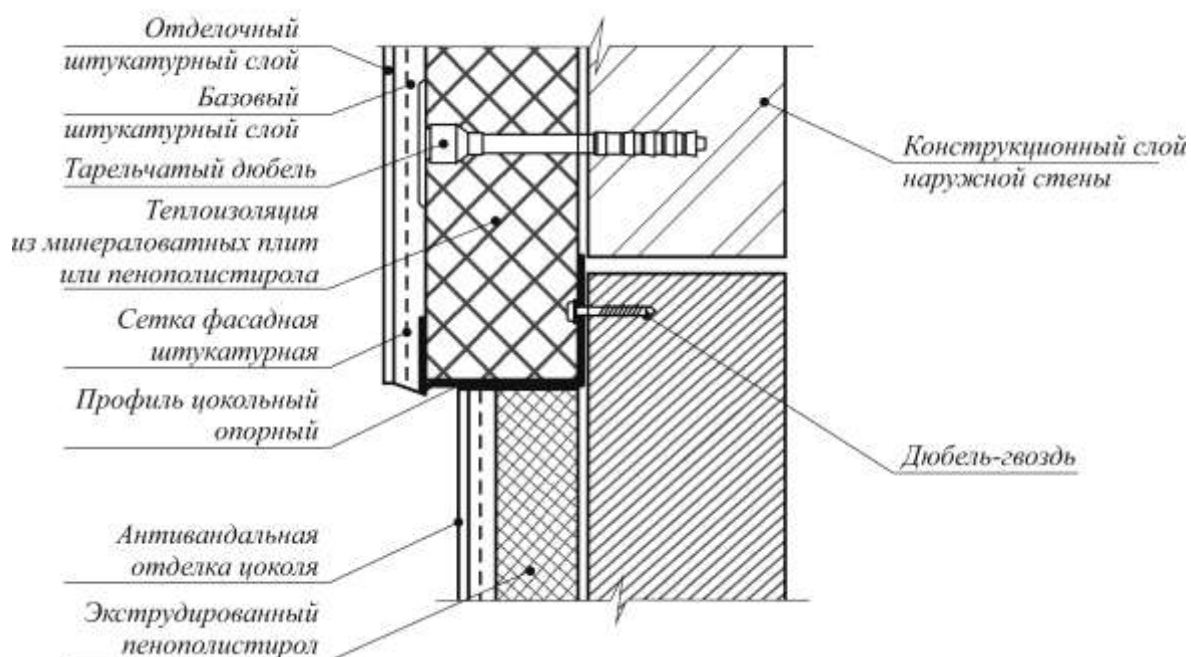


Рис. 3.8. Узел устройства цоколя при системе наружной стены с тонким штукатурным слоем

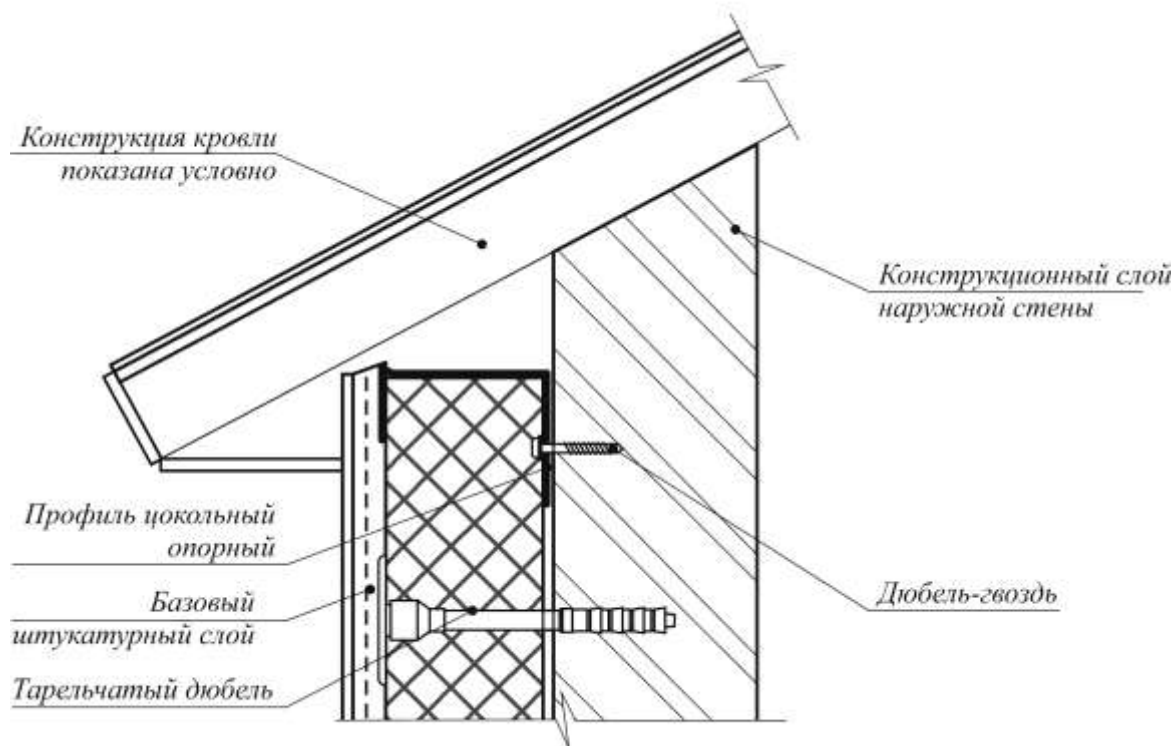


Рис. 3.9. Узел примыкания наружной стены с тонким штукатурным слоем к скатной кровле

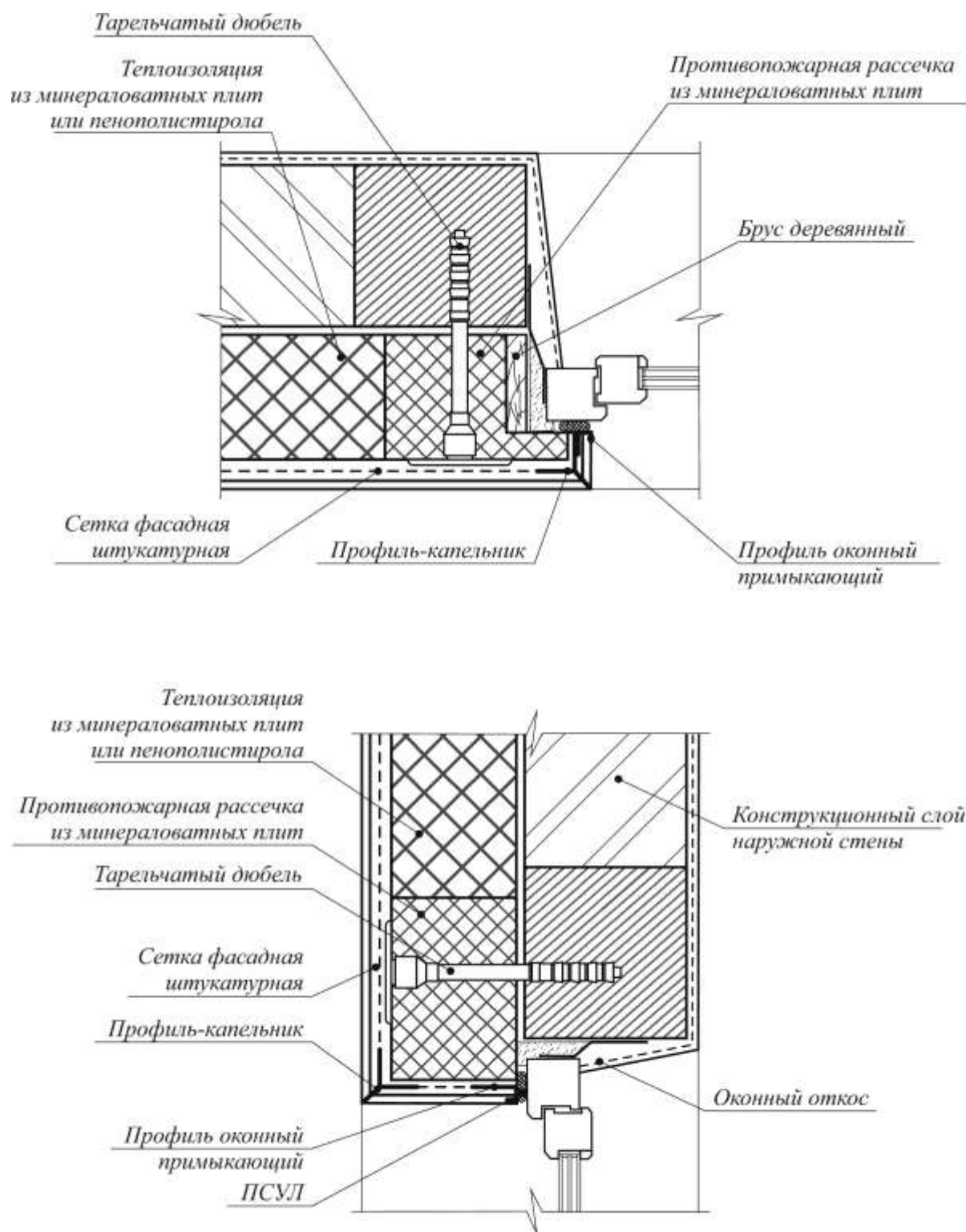


Рис. 3.10. Узлы примыкания наружной стены с тонким штукатурным слоем к оконным проемам

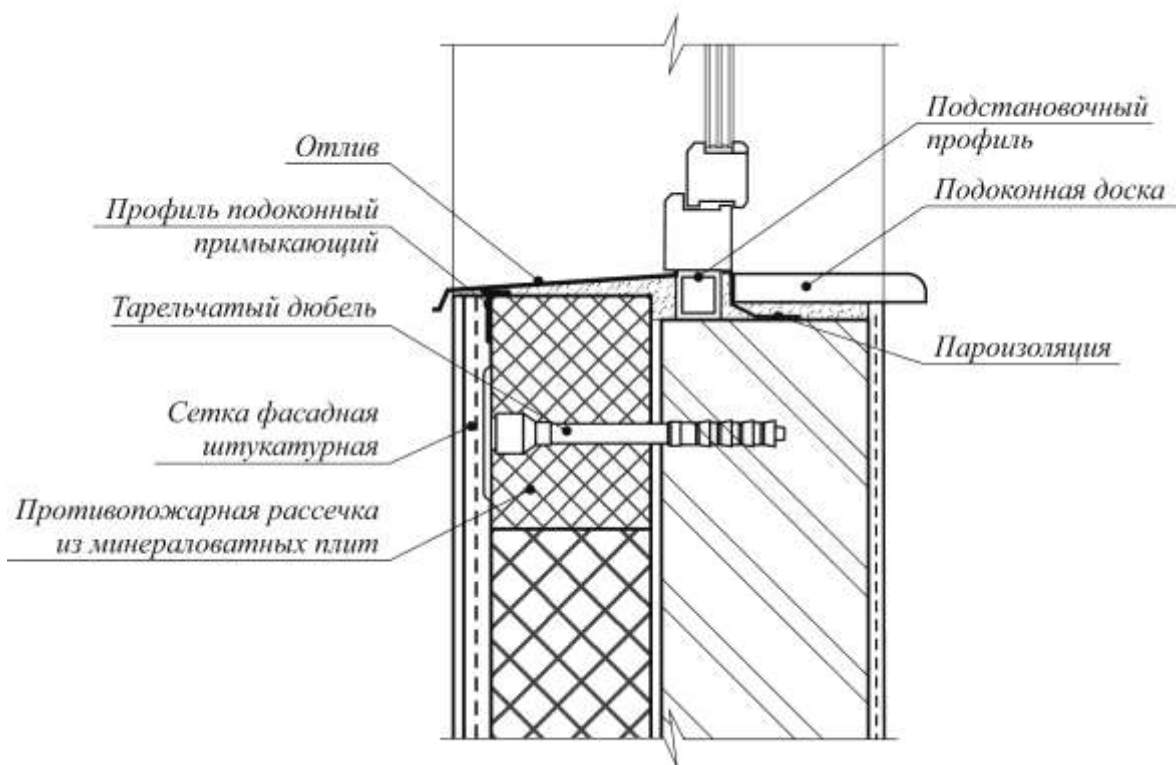


Рис. 3.11. Узел устройства оконного отлива в наружной стене с тонким штукатурным слоем

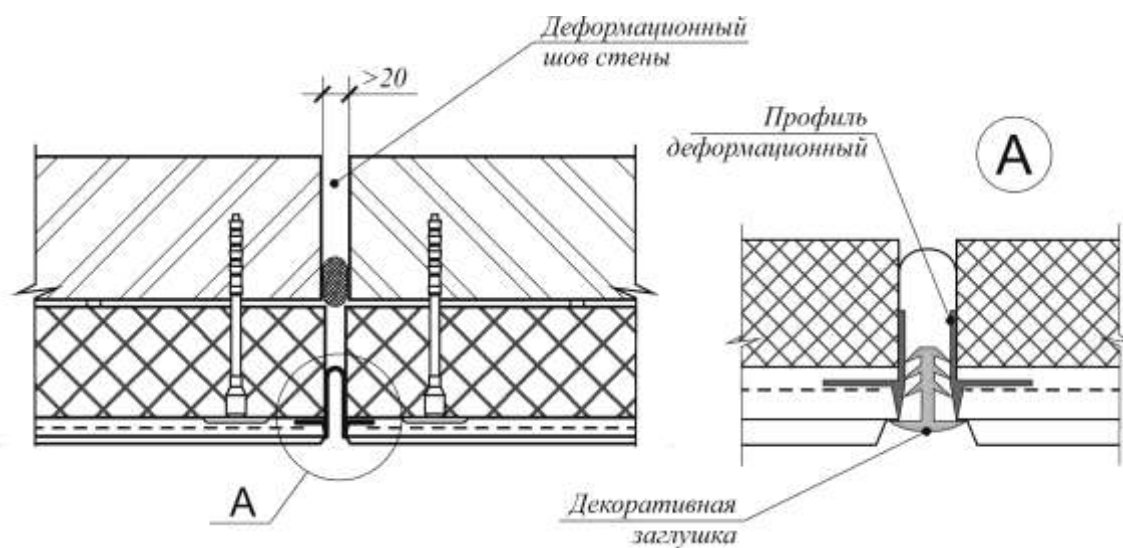


Рис. 3.12. Узел устройства деформационного шва в наружной стене с тонким штукатурным слоем

3.3. Слоистая (трехслойная) кладка

Слоистая кладка также представляет собой классическую трехслойную систему, описанную в п. 1.1. В качестве материала облицовочного слоя используется облицовочный кирпич, в качестве конструкционного слоя – преимущественно, кирпич, но возможны варианты также с блоками из поризованной керамики или легких бетонов.

Особенностью данного типа наружной стены является значительная масса облицовочного слоя, требующая расчета прочности и устойчивости, а также наличия опорной площади в уровне цоколя и междуэтажных перекрытий (для многоэтажных зданий).

Для обеспечения устойчивости облицовочного слоя из кирпича его «связывают» с конструктивным слоем посредством гибких или жестких связей. В качестве жестких связей выступают кирпичные диафрагмы, в качестве гибких – металлические или пластиковые закладные стержни или сетки.

а)



б)

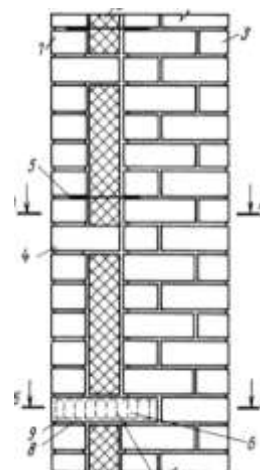


Рис. 3.13. Гибкие (а) и жесткие (б) связи соединения облицовочного и конструктивного слоев

Из-за наличия плотного облицовочного слоя с низкой паропроницаемостью в теплоизоляционном слое может накапливаться парообразная и капиллярная влага. С целью отвода влаги и высушивания утеплителя между теплоизоляционным слоем и облицовочным кирпичом рекомендуется предусматривать воздушный зазор. Для обустройства равномерной воздушной прослойки утеплитель фиксируется пластиковыми шайбами на гибких связях. В верхней и нижней частях стены устраиваются продухи из расчета $35\text{--}40\text{ см}^2$ на 10 м^2 поверхности стены за счет закладных элементов в вертикальных швах наружной кладки или пустых вертикальных швах. Если конструктивное решение здания предусматривает межэтажный разрыв внешнего теплового контура, то продухи организуют на каждом этаже.

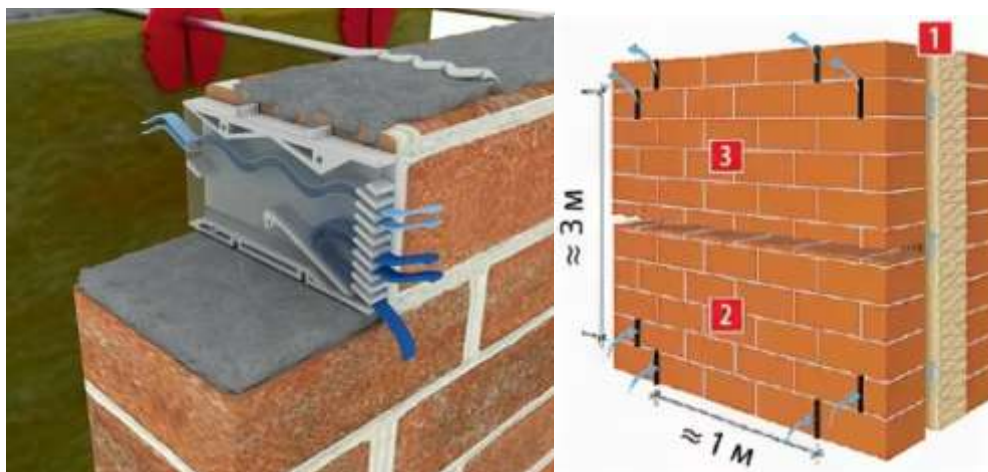


Рис. 3.14. Устройство продухов в облицовочном слое трехслойной стены

Преимущества слоистой кладки:

- прочность и значительная устойчивость к атмосферным воздействиям облицовочного кирпичного слоя;
- высокие декоративные качества облицовочного слоя при применении качественных материалов.

К недостаткам слоистой кладки следует отнести:

- крайне неоднородная долговечность материалов стены: при сроке службы кирпичных слоев в несколько сотен лет прогнозируемый срок службы теплоизоляционного слоя не превышает 50 лет;
- неремонтопригодность теплоизоляционного слоя: при возникновении или выявлении в процессе эксплуатации дефектов в теплоизоляционном слое (например, сползание и раскрытие швов между плитами теплоизоляции) замена утеплителя без разрушения слоя облицовочного кирпича невозможна;
- малая паропроницаемость облицовочного слоя из кирпича приводит к накоплению парообразной и конденсированной влаги в теплоизоляционном материале, что негативно сказывается на его эксплуатационных характеристиках;
- большая масса облицовочного кирпичного слоя при незначительной толщине требует устройства его качественной связи с конструкционным материалом для недопущения потери устойчивости; качество устройства данных связей требует повышенного контроля при строительстве;
- большая масса облицовочного слоя требует проработки узлов его опирания при многоэтажном строительстве, что приводит к значительной теплотехнической неоднородности конструкции стены.

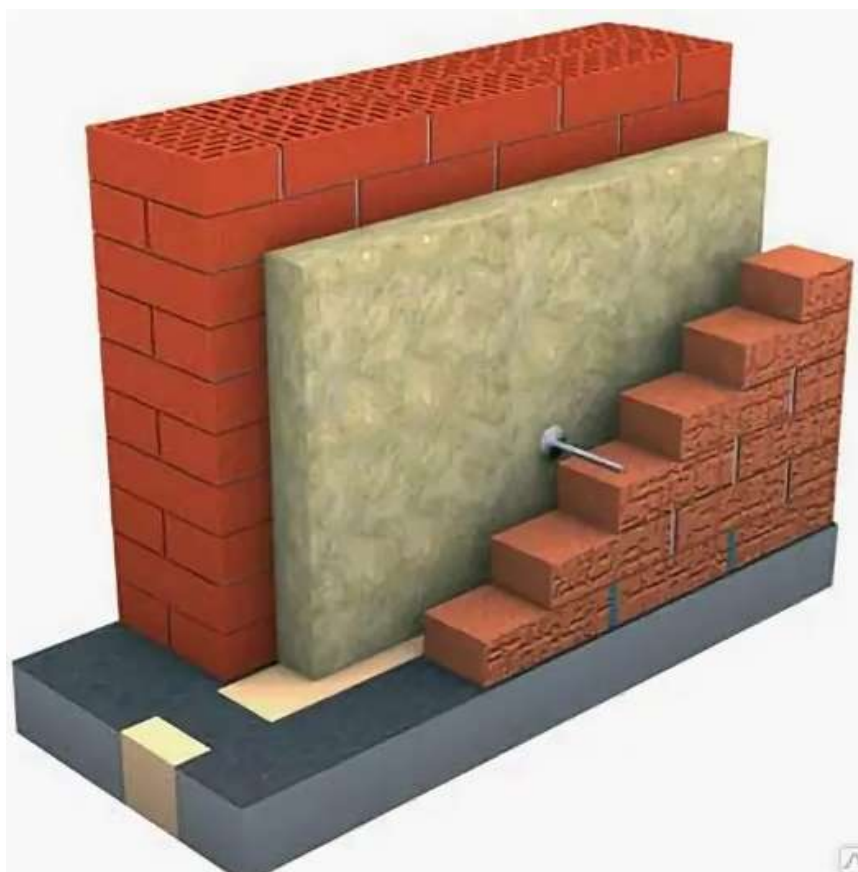
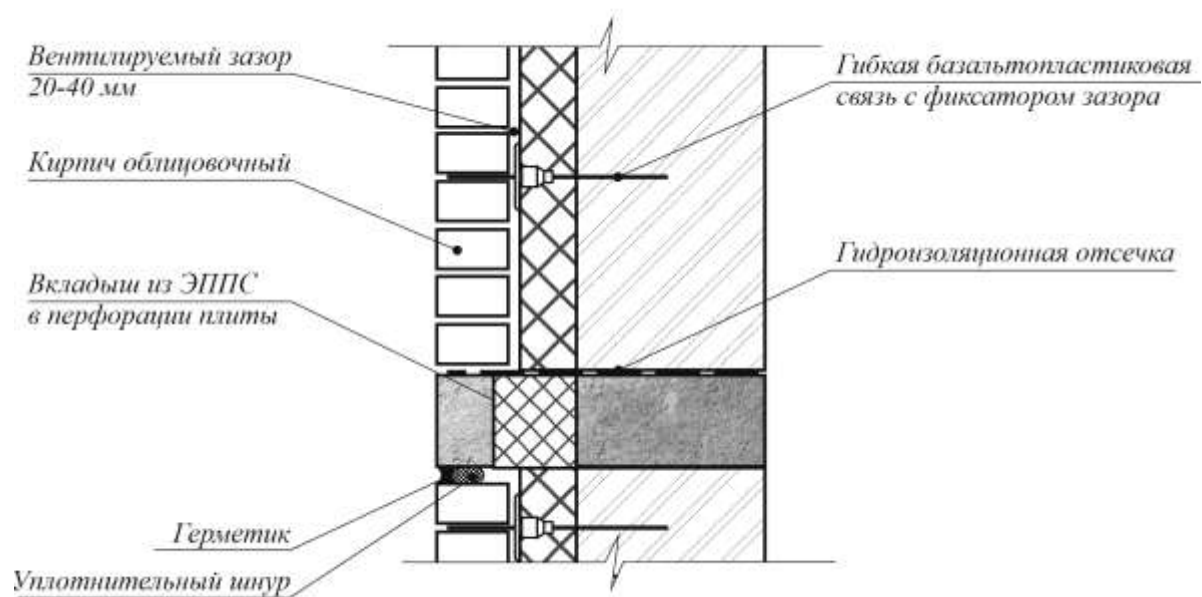


Рис. 3.15. Узел опирания облицовочного слоя на монолитную железобетонную плиту перекрытия с устройством теплоизоляционного вкладыша в перфорации плиты

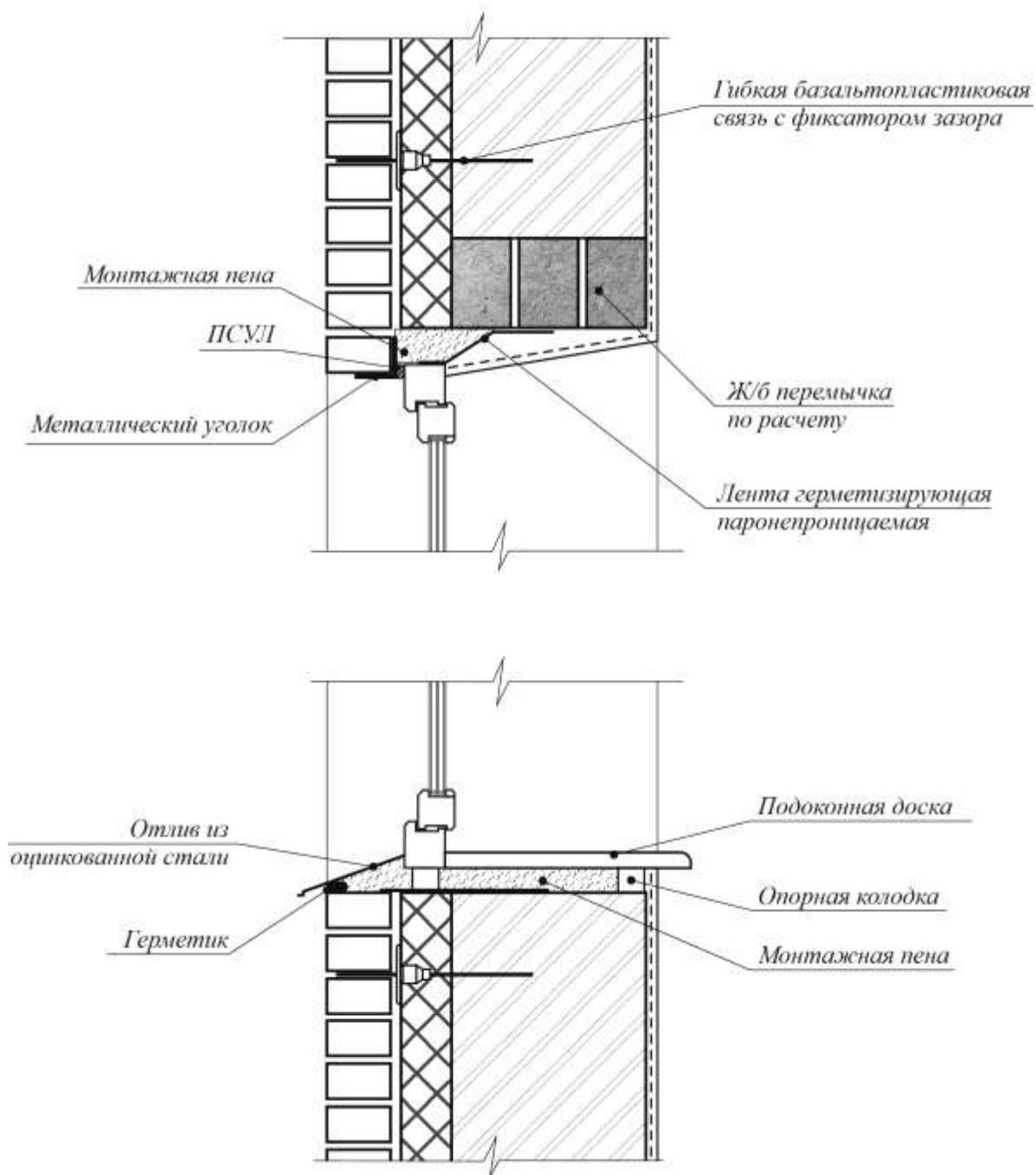


Рис. 3.16. Узлы устройства оконного проема в наружной стене из трехслойной кладки

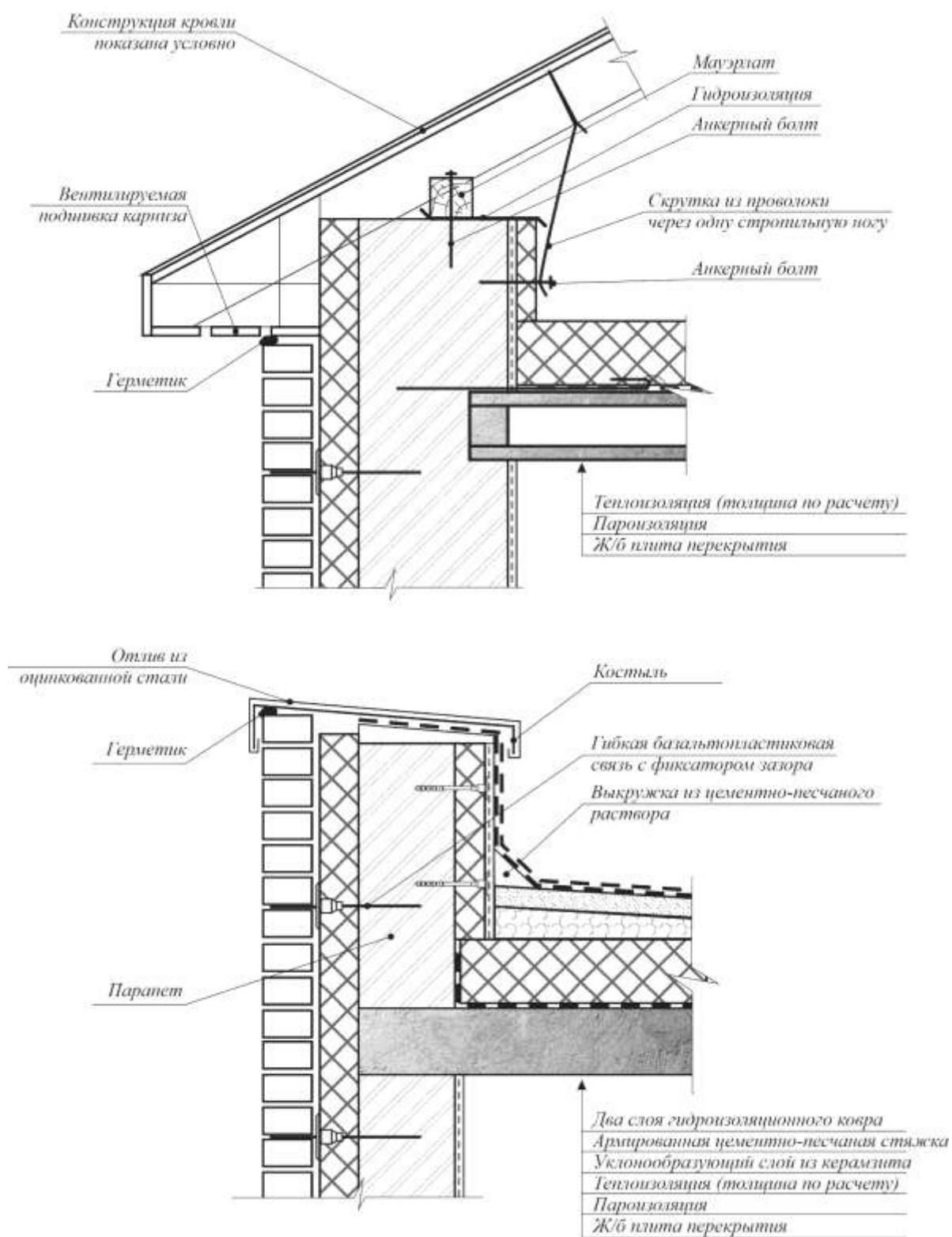


Рис. 3.17. Узлы примыкания наружной стены с трехслойной кладкой к скатной и плоской кровле

3.4. Навесной фасад

Система навесного фасада представляет собой систему наружного утепления стен, при которой облицовочный слой закрепляется на отnose от теплоизоляционного с образованием широкой воздушной прослойки. Ширина воздушной прослойки может колебаться от 50 до 150 мм. Для выноса облицовочного слоя на такое расстояние применяется металлическая подсистема, состоящая из кронштейнов и системы направляющих.

Сформированная таким образом воздушная прослойка при наличии продухов внизу и вверху стены благодаря перепаду давлений работает по принципу естественного вентиляционного канала. В результате вентилирования воздушной прослойки наружным воздухом происходит интенсивное удаление влаги из теплоизоляционного слоя и, как следствие, его высушивание. Такая конструкция фасада позволяет стенам круглый год оставаться в сухом состоянии и сохранять высокие теплоизоляционные качества.

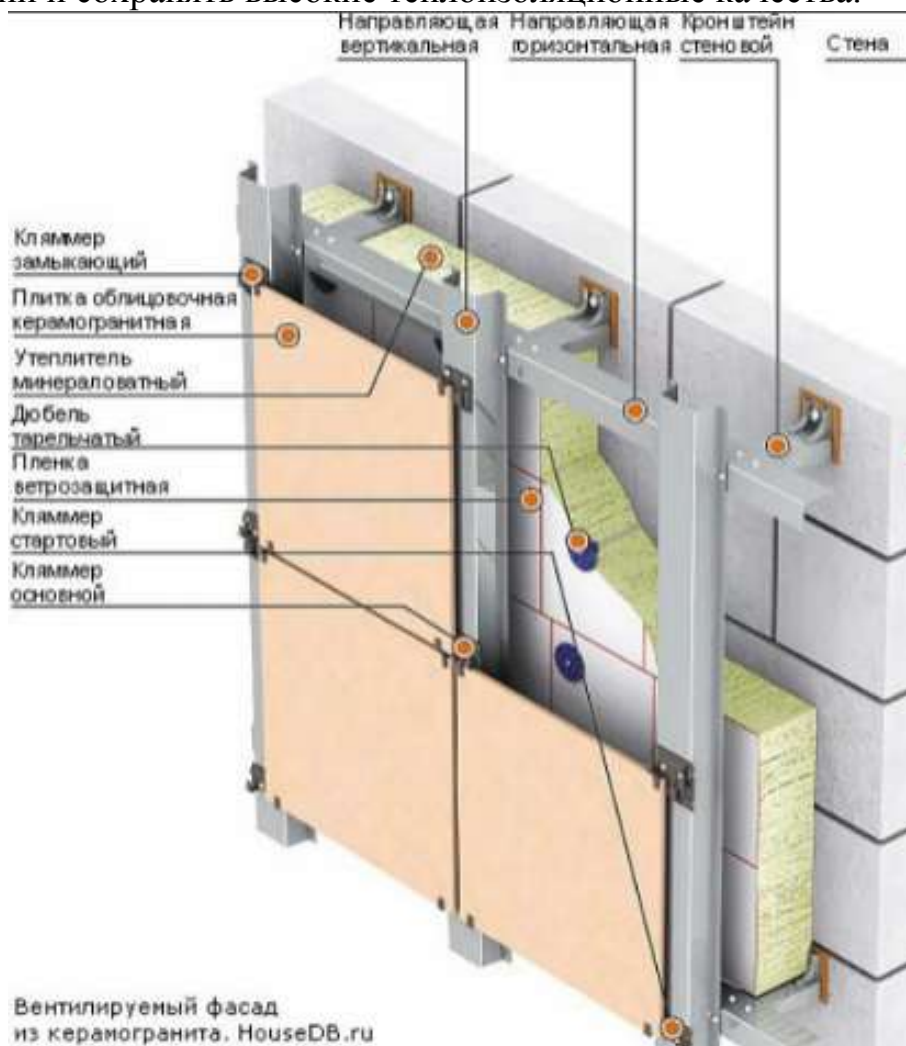


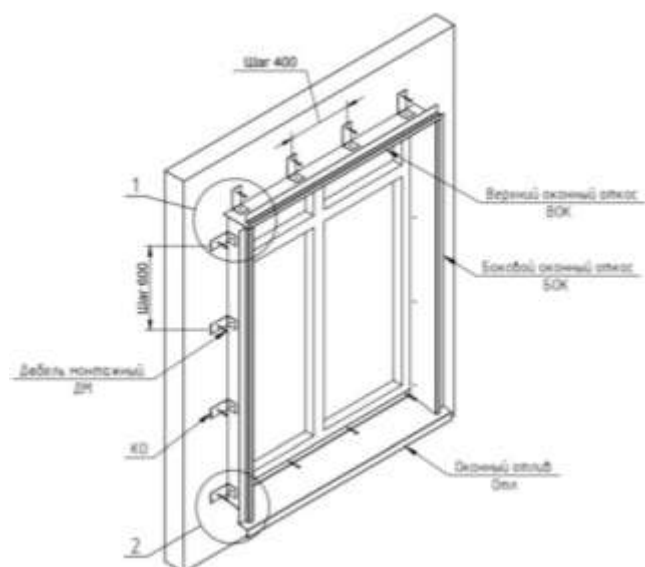
Рис. 3.18. Система навесного фасада

В то же время вентилируемая воздушная прослойка имеет и негативное значение с точки зрения противопожарной безопасности. В случае появления

открытого пламени в прослойке (например, через оконный проем) постоянный приток свежего воздуха способен распространить возгорание достаточно быстро по всему фасаду. В этой связи к навесным вентилируемым фасадам предъявляют повышенные требования по пожарной безопасности:

- требования к огнестойкости (горючести) материалов фасадной конструкции;
- устройство огнезащитных металлических обрамлений на проемах фасада;
- устройство противопожарных рассечек по высоте вентилируемой прослойки.

а)



б)

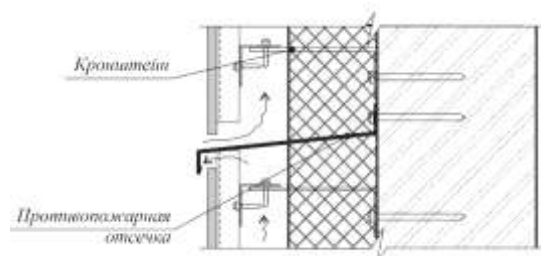


Рис. 3.19. Противопожарные мероприятия при устройстве навесных фасадных систем:
а – огнезащитное обрамление оконных проемов, б – крепление противопожарной рассечки воздушной прослойки

Виды отделочных материалов навесных фасадов (подробно описаны в п. 2.3.2):

- керамогранитная плитка;
- фиброцементная панель;
- плита из натурального камня (мрамор, гранит, известняк и т.п.);
- кассеты из металла (алюминий, сталь, медь);
- кассеты из композитного материала;
- HPL-панель (ламинат высокого давления);
- клинкерная плитка.

Преимущества навесных фасадных систем:

- отсутствие «мокрых» процессов позволяет вести процесс монтажа навесного фасада в течение всего года;

- благоприятный температурно-влажностный режим конструкции стены за счет усиленного удаления парообразной влаги из теплоизоляционного слоя;
- высокая ремонтпригодность фасада за счет возможности частичного демонтажа облицовочного слоя без разрушения всей ограждающей конструкции;
- широкий спектр материалов отделки.

Недостатки навесных фасадных систем:

- высокая металлоемкость конструкции и, как следствие, повышенная стоимость;
- низкая теплотехническая однородность ограждающих конструкций вследствие наличия металлических кронштейнов крепления облицовочного слоя;
- высокие требования к квалификации рабочих, монтирующих систему навесного фасада вследствие большого числа технологических узлов.

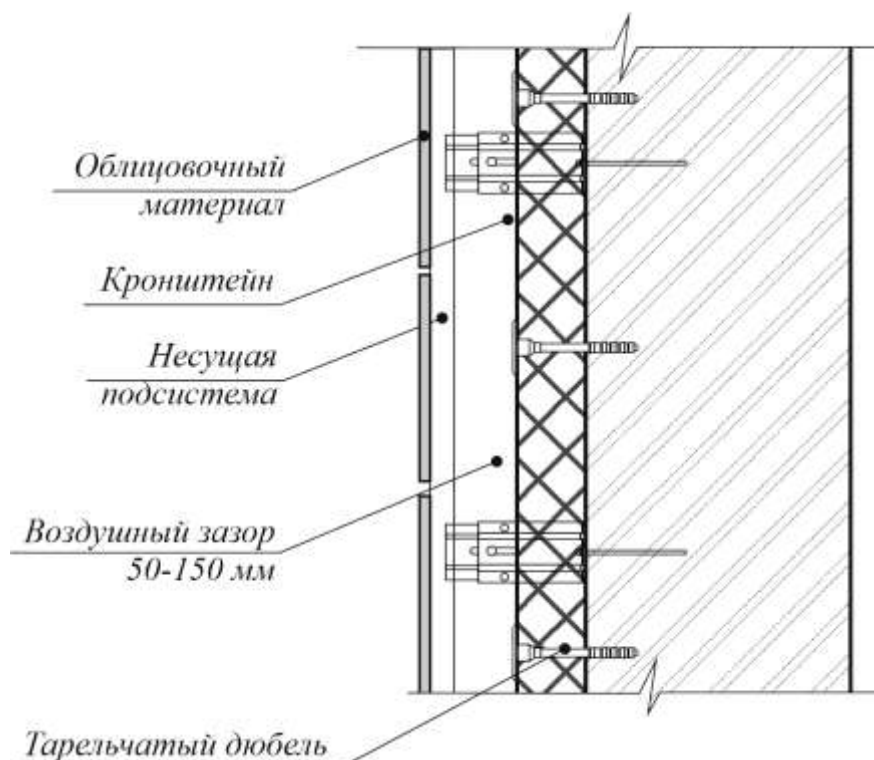


Рис. 3.20. Сечение наружной стены с системой навесного фасада

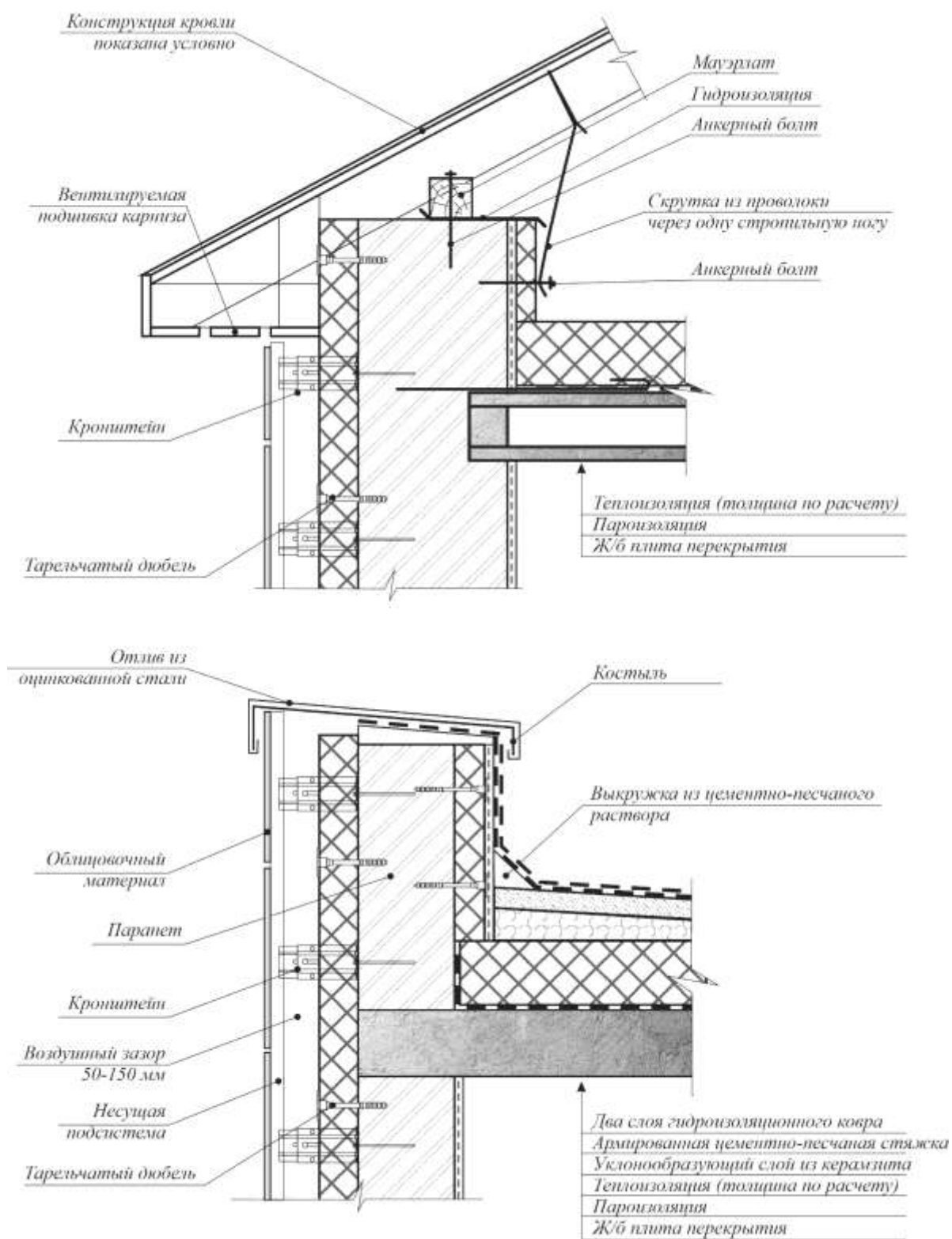


Рис. 3.21. Узлы примыкания наружной стены с системой навесного фасада к скатной и плоской кровле

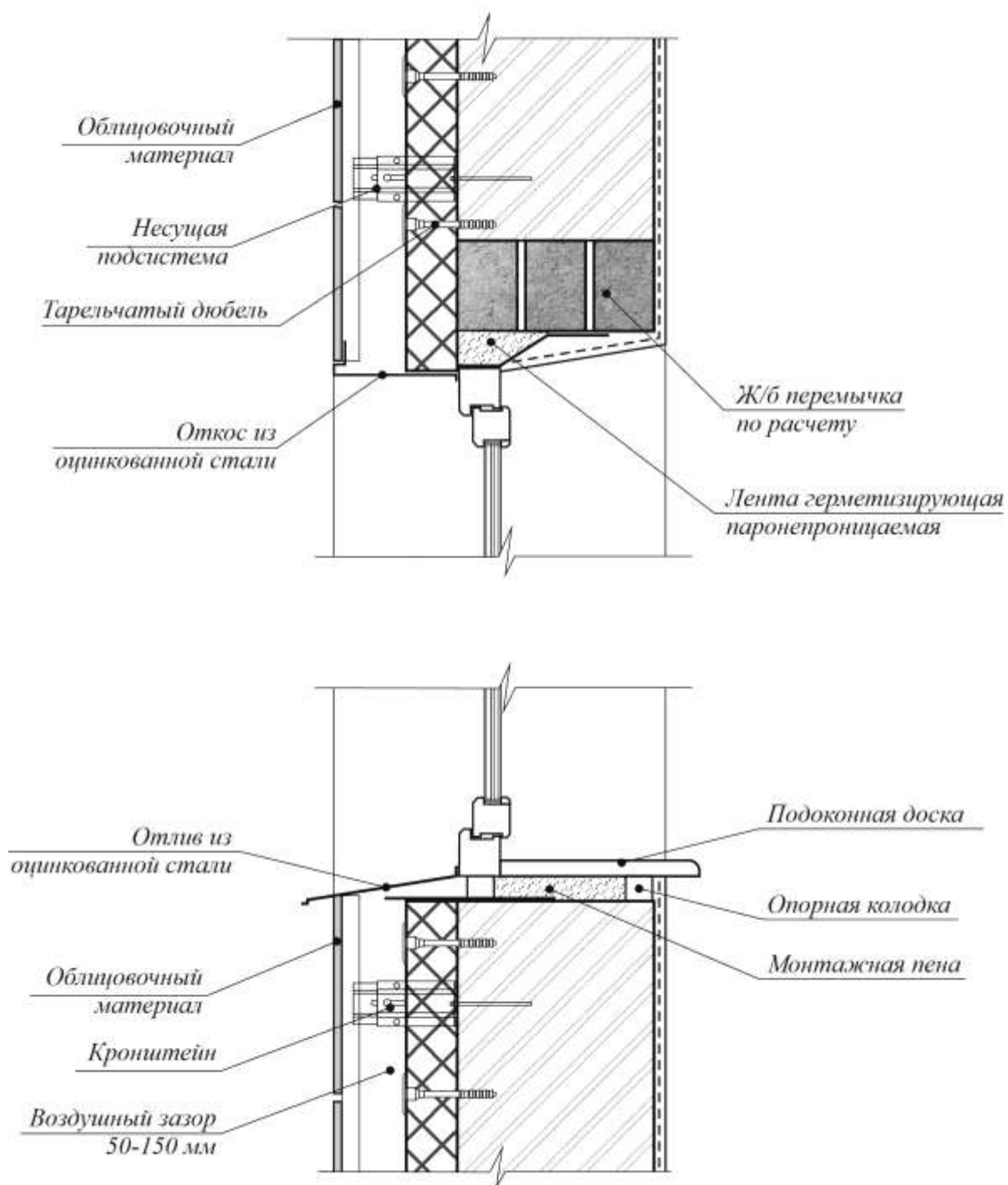


Рис. 3.22. Узлы устройства оконного проема в наружной стене с системой навесного фасада

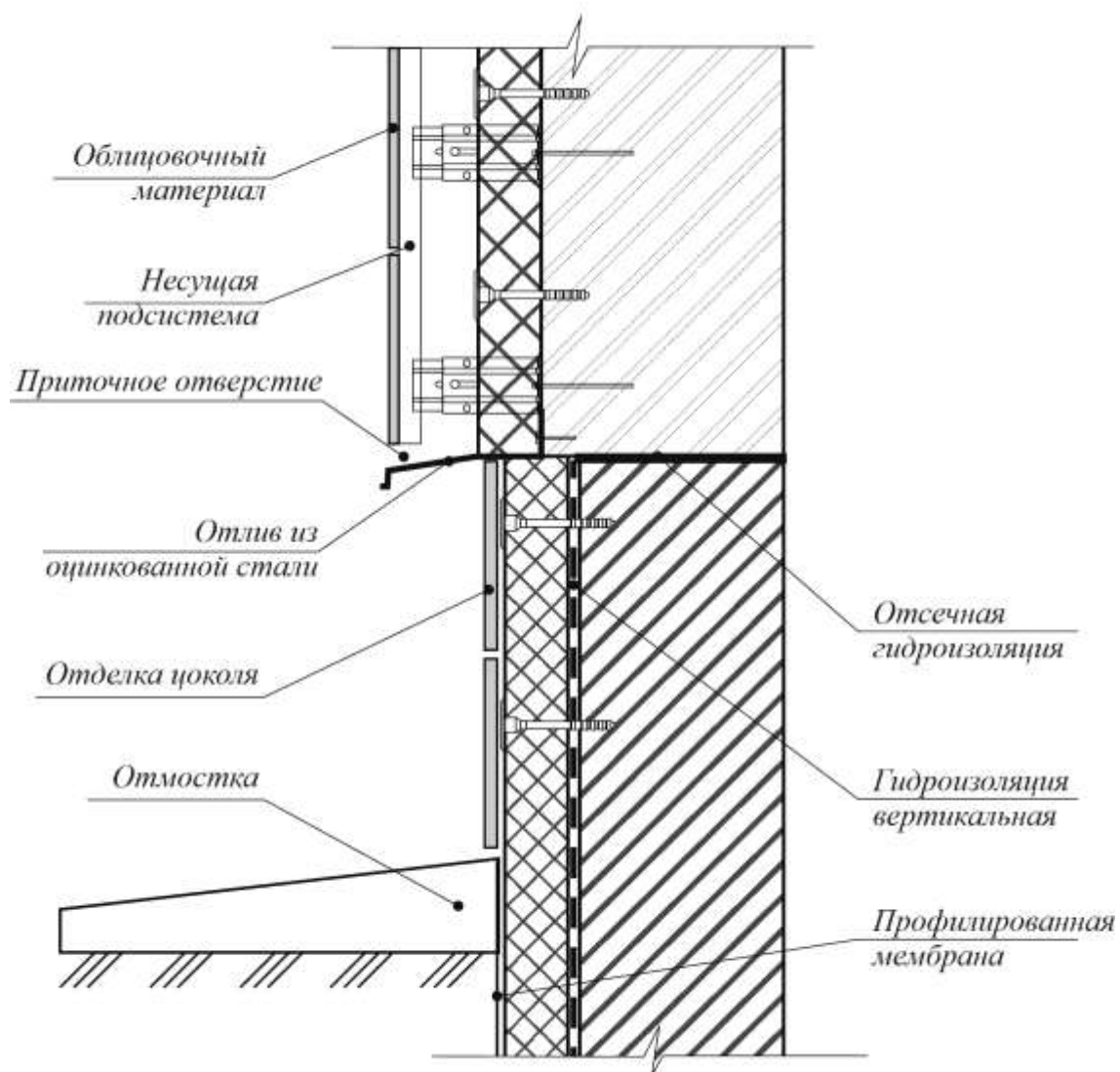


Рис. 3.23. Узел примыкания навесного фасада к цоколю

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

4.1. Основные требования к ограждающим конструкциям

Уровень теплозащиты ограждающих конструкций должен соответствовать климатическим воздействиям места строительства и обеспечивать санитарно-гигиенические условия в помещениях зданий. Ограждающие конструкции должны сохранять теплозащитные качества в процессе эксплуатации, то есть быть долговечными. Это может быть достигнуто рациональным проектированием и конструированием ограждения с учетом процессов теплопередачи (исключение конденсации влаги на внутренних поверхностях ограждений), паропроницаемости (исключение накопления конденсированной влаги в ограждении).

Согласно СП 50.13330 «Тепловая защита зданий» теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

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

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

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

Требования тепловой защиты здания будут выполнены при одновременном выполнении требований пп. а, б и в.

В данной работе рассматривается выполнение требований по пункту а (частично) и пункту в.

4.2. Этапы проектирования теплозащиты

Для Российской Федерации, основная территория которой находится в умеренном и холодном климате, проектирование теплозащиты зданий для холодного периода года является основным. Проектирование состоит из следующих этапов:

1. Определение расчетных климатических параметров географического места строительства (наружные климатические условия).

2. Выбор параметров микроклимата помещений в зависимости от назначения помещений (параметры внутренней среды помещений).

3. Определение влажностных условий эксплуатации ограждающих конструкций (А или Б) для выбора коэффициентов теплопроводности материалов λ_A и λ_B и других расчетных параметров.

4. Определение нормируемого (требуемого) сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций $R_0^{норм}$.

5. Разработка конструктивного решения наружных стен и обеспечение основных параметров теплозащиты (необходимого сопротивления теплопередаче; защиты от переувлажнения конструкции; санитарно-гигиенических показателей тепловой защиты).

4.2.1. Наружные климатические условия

Расчетными климатическими параметрами холодного периода года являются:

а) расчетная температура наружного воздуха t_n , °С;

Величина t_n в теплотехническом расчете должна определяться в зависимости от тепловой инерции проектируемого ограждения D . Чем меньше тепловая инерция ограждения (т.е. его теплоаккумулирующая способность), тем меньшую температуру необходимо принимать в качестве расчетного значения.

Так как на начальном этапе проектирования тепловая инерция ограждения неизвестна, то согласно СП «Тепловая защита зданий» t_n принимается как средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СП 131.13330.

В дальнейшем, когда будет определена тепловая инерция проектируемого ограждения, величина t_n должна быть скорректирована:

при $D \geq 7$ – t_n принимается как средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;

при $4 \geq D < 7$ – t_n принимается как средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98;

при $1,5 \geq D < 4$ – t_n принимается как средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92;

при $D < 1,5$ – t_n принимается как средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98;

б) средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{от}$, °С;

в) продолжительность отопительного периода $z_{от}$, сут.;

$t_{от}$ и $z_{от}$ принимаются по СП 131.13330 для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С при проектировании жилых и общественных зданий, и не более 10 °С при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых;

г) среднее годовое парциальное давление водяного пара наружного воздуха, e_n , Па;

д) средние месячные значения температуры наружного воздуха с выделением трех периодов года, определяемые по таблице 5.1 СП 131.13330.2020:

- зимний период: месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус 5 °С;

- весенне-осенний период: месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус 5 до плюс 5 °С;

- летний период: месяцы со средними температурами воздуха выше плюс 5 °С;

е) зона влажности места строительства (влажная, нормальная, сухая), определяемая по «Карте зон влажности» СП 50.13330 (Приложение Б).

4.2.2. Параметры внутренней среды помещений

Расчетные параметры внутренней среды помещений устанавливаются в зависимости от типа здания и назначения помещений. В одном здании могут оказаться помещения различного назначения, для которых устанавливаются различные по величине расчетные параметры.

Перечень параметров внутренней среды помещений и их расчетные значения устанавливаются нормативными документами.

Для жилых и общественных зданий это:

а) температура внутреннего воздуха t_v , °С.

Согласно СП 50.13330 t_v принимается по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий и помещений по ГОСТ 30494.

б) относительная влажность внутреннего воздуха ϕ_v , %.

Для определения точки росы ϕ_v принимается по СП 50.13330:

для помещений жилых зданий, больничных учреждений, школ, детских садов и детских домов – 55%;

для кухонь – 60%;

для ванных комнат – 65%;

для других помещений общественных зданий (за исключением вышеуказанных) – 50%.

Температура внутреннего воздуха t_v и его относительная влажность ϕ_v определяют влажностный режим помещений (таблица 4.1).

Таблица 4.1

Влажностный режим помещений зданий

Режим	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С		
	до 12	свыше 12 до 24	свыше 24
Сухой	До 60	До 50	До 40
Нормальный	Свыше 60 до 75	Свыше 50 до 60	Свыше 40 до 50
Влажный	Свыше 75	Свыше 60 до 75	Свыше 50 до 60
Мокрый		Свыше 75	Свыше 60

4.2.3. Определение влажностных условий эксплуатации ограждающих конструкций

Ограждающие конструкции находятся между двумя влажностными зонами: влажностным режимом помещения и зоной влажности места строительства. В зависимости от сочетания этих влажностных зон изменяется уровень влажности ограждения (условия эксплуатации) и изменяется величина коэффициентов теплопроводности материалов ограждения.

В инженерных расчетах принято разделять теплотехнические свойства материалов в ограждениях на две группы в зависимости от их

эксплуатационной влажности: группа А (меньшая эксплуатационная влажность) и группа Б (бóльшая эксплуатационная влажность).

В соответствии с этим введены различные коэффициенты теплопроводности материалов λ_A и λ_B .

Влажностные условия эксплуатации ограждающих конструкций определяются в зависимости от влажностного режима помещения и зоны влажности места строительства (таблица 4.2).

Таблица 4.2

Условия эксплуатации ограждающих конструкций

Влажностный режим помещений зданий	Условия эксплуатации А и Б в зоне влажности		
	сухой	нормальной	влажной
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б

4.2.4. Нормируемое (требуемое) сопротивление теплопередаче

Величина нормируемого сопротивления теплопередаче $R_0^{норм}$ определяется климатическими условиями места строительства, но зависит также от назначения здания (жилое, общественное, производственное) и вида ограждающей конструкции (стены, покрытия, перекрытия, окна и т.д.).

Величина определяется по формуле:

$$R_0^{норм} = R_0^{мп} \cdot m_p, \quad (4.1)$$

где $R_0^{мп}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,

m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. При расчете по формуле (4.1) принимается равным 1.

Климатические условия места строительства определяются градусо-сутками отопительного периода ГСОП по формуле:

$$ГСОП = (t_{\text{в}} - t_{\text{ом}}) \cdot z_{\text{ом}}. \quad (4.2)$$

По значению ГСОП из нормативной таблицы 3 СП 50.13330 (Приложение Б данного пособия) выбирается величина $R_0^{мп}$ в зависимости от назначения здания и вида ограждения.

Например, для жилого здания в районе строительства с ГСОП = 6000 требуемое сопротивление теплопередаче $R_0^{мп}$ будет равно:

для наружной стены – $3,5 (м^2 \cdot ^\circ C) / Вт$,

для покрытий – $5,2 (м^2 \cdot ^\circ C) / Вт$,

для окна – $0,73 (м^2 \cdot ^\circ C) / Вт$.

Значения для величин ГСОП, отличающихся от табличных, следует определять по формуле:

$$R_0^{mp} = a \cdot ГСОП + b, \quad (4.3)$$

где a, b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 3 СП 50.13330 для соответствующих групп зданий.

4.2.5. Конструирование ограждающей конструкции

В соответствии с техническим заданием назначается один из видов конструктивного решения наружной стены:

- однослойная конструкция или многослойная конструкция из близких по характеристикам материалов;
- многослойная конструкция с тонким облицовочным штукатурным слоем по утеплителю (системы по типу «мокрый фасад»);
- трехслойная конструкция с облицовочным слоем из керамического кирпича;
- системы навесного фасада («вентфасад»).

В соответствии с принятым конструктивным решением стены подбираются материалы для функциональных слоев:

- конструкционный слой;
- теплоизоляционный слой;
- облицовочный слой.

При выборе стеновых материалов следует отдавать предпочтение местным высокоэффективным материалам. Для выбора используют техническую и справочную документацию, в которой приведены геометрические размеры и физико-технические свойства стеновых материалов и изделий.

Для оценки теплозащитных качеств ограждающих конструкций используются следующие физико-технические показатели:

- плотность ρ_0 , кг/м³,
- коэффициент теплопроводности материала λ_A или λ_B , Вт/(м·°C),
- коэффициент теплопроводности конструкции стены из этого материала λ , Вт/(м·°C) (теплопроводность стены из штучных материалов зависит от свойств кладочного раствора («холодный» или «теплый» раствор, клей и т.д.),
- коэффициент паропроницаемости материала μ , мг/(м·ч·Па),
- размеры изделий, которые формируют толщину функционального слоя δ_i , м.

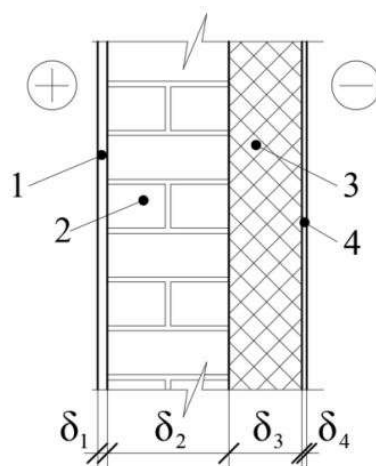


Рис. 4.1. Конструирование наружной стены

Толщины конструктивных и облицовочных слоев в ограждении назначаются, как правило, конструктивно. Толщины слоев должны быть привязаны к модульной системе (укрупненной или дробной), к толщинам используемых изделий с учетом монтажных швов.

Например, толщина кирпичной кладки будет кратна ширине кирпича (120 мм) с учетом толщины растворных швов (10 мм): толщина в 1 кирпич – 250 мм (120+10+120), толщина в 1,5 кирпича – 380 мм (250+10+120), толщина в 2 кирпича – 510 мм (250+10+250).

Толщина теплоизоляционного слоя может быть принята конструктивно, с последующим определением соответствия нормам тепловой защиты, или определена далее.

4.2.6. Обеспечение необходимого сопротивления теплопередаче по глади наружной стены

Базовым требованием теплозащиты ограждающих конструкций является условие:

$$R_{то} \geq R_0^{норм}, \quad (4.4)$$

где $R_0^{норм}$ – нормируемое сопротивление теплопередаче конструкции, $(м^2 \cdot ^\circ C)/Вт$;

$R_{то}$ – сопротивление теплопередаче проектируемой конструкции, $(м^2 \cdot ^\circ C)/Вт$.

В соответствии с требованиями СП 50.13330 условие (4.4) должно выполняться для так называемого **приведенного** сопротивления теплопередаче, т.е. сопротивления ограждающей конструкции с учетом дополнительных теплопотерь через участки теплотехнической неоднородности. В данной работе приведенное сопротивление теплопередаче не рассматривается, под величиной $R_{то}$ понимается сопротивление теплопередаче конструкции «по глади», в которой материальные слои расположены параллельно друг другу, и отсутствуют участки теплотехнической неоднородности.

Расчет сопротивления теплопередаче конструкции ограждения выполняют по формуле:

$$R_{то} = \frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (4.5)$$

где δ_n – толщина n-го слоя, м;

λ_n – теплопроводность n-го слоя, Вт/(м·°С);

$\alpha_в$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности Вт/(м² ·°С), определяемый по таблице 4 СП 50.13330 (таблица 4.3 данного пособия).

Таблица 4.3

**Коэффициенты теплоотдачи внутренней поверхности
ограждающей конструкции**

Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи $\alpha_в$, Вт/(м ² ·°С)
1. Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты h ребер к расстоянию a , между гранями соседних ребер $h/a \leq 0,3$	8,7
2. Потолков с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6
3. Окон	8,0
4. Зенитных фонарей	9,9

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности Вт/(м² ·°С), определяемый по таблице 6 СП 50.13330 (таблица 4.4 данного пособия).

Таблица 4.4

**Коэффициенты теплоотдачи наружной поверхности
ограждающей конструкции**

Наружная поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи для зимних условий α_n Вт/(м ² ·°С)
1. Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительно-климатической зоне	23
2. Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом, перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительно-климатической зоне	17
3. Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружных стен с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
4. Перекрытий над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями, не вентилируемых наружным воздухом	6

Соответственно, обеспечение неравенства (4.4) выполняется изменением толщины материальных слоев в ограждении (δ_i) или использованием материалов с различными коэффициентами теплопроводности (λ_i).

4.2.7. Защита от переувлажнения ограждающих конструкций

Защита от переувлажнения ограждающих конструкций должна обеспечиваться путем проектирования ограждающих конструкций с сопротивлением паропроницанию внутренних слоев не менее требуемого значения, исходя из двух условий:

1. Из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации. То есть конденсированная влага, накопившаяся в ограждении за зимний период, должна удалиться (испариться) за летний период.

2. Из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции до определенной величины ΔW , которая регламентируется нормами для разных материалов (таблица 10 СП 50.13330).

Расчет требуемого сопротивления паропроницанию исходя из данных условий по действующим нормативным документам достаточно сложен, так как требует сбора большого количества исходных данных.

В данной работе студенту предлагается произвести расчет защиты от переувлажнения исходя только из первого условия и по упрощенной методике.

4.2.7.1. Определение плоскости максимального увлажнения

Проектируемая ограждающая конструкция разделяется на две зоны по плоскости максимального увлажнения (плоскости возможной конденсации): в двухслойной и трехслойной стене эта плоскость проходит по наружной поверхности утеплителя; в системе навесного фасада – на расстоянии $1/3$ толщины теплоизоляционного слоя от наружной поверхности утеплителя.

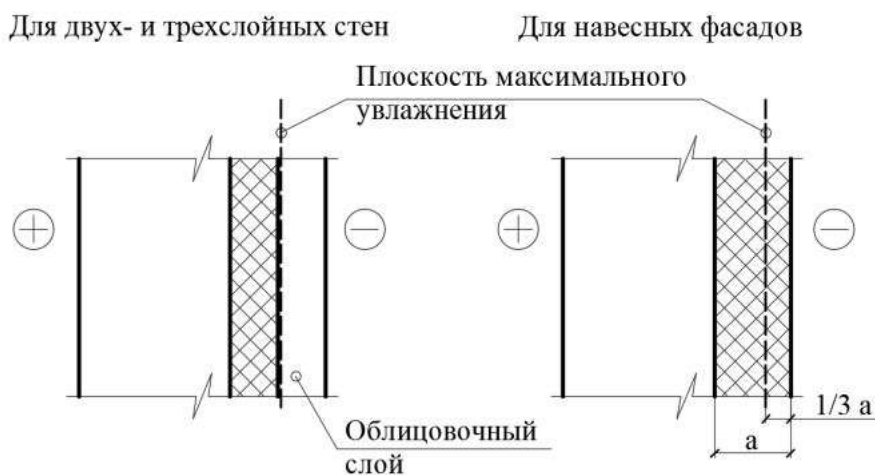


Рис. 4.2. Определение плоскости максимального увлажнения

4.2.7.2. Определение дополнительных расчетных данных

а) парциальное давление насыщенного водяного пара внутреннего воздуха

$$E_в = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273+t_в)}, \text{ Па}; \quad (4.6)$$

б) парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха

$$e_в = \frac{\varphi_в \cdot E_в}{100}, \text{ Па}; \quad (4.7)$$

в) сопротивление паропрооницанию наружных слоев до плоскости максимального увлажнения:

$$R_{пн} = \frac{\delta_n}{\mu_n} (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}, \quad (4.8)$$

где δ_n , м – толщина материального слоя от наружной поверхности до плоскости максимального увлажнения,

μ_n , мг/(м·ч·Па) – паропроницаемость материала этого слоя.



Рис. 4.3. К расчету защиты от переувлажнения конструкции наружной стены

г) температуры в плоскости максимального увлажнения при средних температурах наружного воздуха за три периода, принимаемых по п. 1д:

– зимний:

$$t_{x1} = t_1 + \frac{t_в - t_1}{R_0} \cdot \left(\frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n} \right), ^\circ\text{C}, \quad (4.9)$$

– весенне-осенний:

$$t_{x2} = t_2 + \frac{t_в - t_2}{R_0} \cdot \left(\frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n} \right), ^\circ\text{C}, \quad (4.10)$$

– летний:

$$t_{x3} = t_3 + \frac{t_в - t_3}{R_0} \cdot \left(\frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n} \right), ^\circ\text{C}, \quad (4.11)$$

где λ_n , Вт/(м·°C) – теплопроводность материала слоя от наружной поверхности до плоскости максимального увлажнения;

д) парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения при средних температурах наружного воздуха за

три периода:

– зимний:

$$E_1 = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273+t_{x1})}, \text{ Па}; \quad (4.12)$$

– весенне-осенний:

$$E_2 = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273+t_{x2})}, \text{ Па}; \quad (4.13)$$

– летний:

$$E_3 = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273+t_{x3})}, \text{ Па}; \quad (4.14)$$

е) парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации

$$E = \frac{E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3}{12}, \text{ Па}, \quad (4.15)$$

где z_1 , z_2 и z_3 – продолжительность зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, соответственно, мес.

4.2.7.3. Требуемое сопротивление паропроницанию внутренних слоев

Определяется требуемое сопротивление паропроницанию внутренних слоев от плоскости максимального увлажнения до внутренней поверхности:

$$R_{ПВ}^{mp} = \frac{(e_e - E) \cdot R_{ПН}}{E - e_n}, (м^2 \cdot ч \cdot Па) / мг. \quad (4.16)$$

Определяется сопротивление паропроницанию внутренних слоев ограждающей конструкции до плоскости максимального увлажнения:

$$R_{ПВ} = \sum \frac{\delta_i}{\mu_i}, (м^2 \cdot ч \cdot Па) / мг. \quad (4.17)$$

Проверяется условие:

$$R_{ПВ} \geq R_{ПВ}^{mp}. \quad (4.18)$$

Если условие не выполняется, необходимо уменьшить сопротивление паропроницанию облицовочного слоя за счет уменьшения его толщины или увеличения коэффициента паропроницаемости, или увеличить сопротивление паропроницанию внутренних слоев за счет увеличения их толщины или уменьшения коэффициента паропроницаемости.

4.2.8. Обеспечение санитарно-гигиенических показателей тепловой защиты

Наряду с необходимой теплозащитой ограждающие конструкции определяют ряд санитарно-гигиенических условий в помещениях зданий, которые контролируются нормативными документами:

а) тепловой комфорт, который устанавливается по перепаду Δt_0 между температурой внутреннего воздуха t_e и температурой внутренней поверхности стены «по глади» t_6 ;

б) недопустимость выпадения конденсата на внутренней поверхности наружного ограждения в местах теплотехнических неоднородностей.

4.2.8.1. Обеспечение теплового комфорта в помещении

Оценка соответствия теплового комфорта в помещении нормативным требованиям идет путем сравнения расчетного перепада температур Δt_0 с нормируемым Δt_n :

$$\Delta t_0 \leq \Delta t_n . \quad (4.19)$$

Расчетный перепад Δt_0 определяется как:

$$\Delta t_0 = \frac{n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{R_0 \cdot \alpha_{\text{в}}}, ^\circ\text{C} , \quad (4.20)$$

где n – коэффициент, зависящий от положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (для наружных стен $n = 1.0$);

$t_{\text{в}}$ и $t_{\text{н}}$ – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, $^\circ\text{C}$;

R_0 – сопротивление теплопередаче ограждения по глади стены ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/Вт;

$\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи у внутренней поверхности ограждения, Вт/($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

Чем меньше разность $\Delta t_0 = (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})$, тем выше тепловой комфорт в помещении.

Нормируемые значения Δt_n приведены в таблице 5 СП 50.13330 (таблица 4.5 данного пособия):

Таблица 4.5

Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции

Здания и помещения	Нормируемый температурный перепад Δt_n , $^\circ\text{C}$, для			
	наружных стен	покрытий и чердачных перекрытий	перекрытий над проездами, подвалами и подпольями	зенитных фонарей
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	4,0	3,0	2,0	$t_{\text{в}} - t_{\text{п}}$
2. Общественные, кроме указанных в поз. 1, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	4,5	4,0	2,5	$t_{\text{в}} - t_{\text{п}}$
3. Производственные, с сухим и нормальным режимами	$t_{\text{в}} - t_{\text{п}}$, но не более 7	$0,8(t_{\text{в}} - t_{\text{п}})$, но не более 6	2,5	$t_{\text{в}} - t_{\text{п}}$
4. Производственные и другие помещения с влажным или мокрым режимом	$t_{\text{в}} - t_{\text{п}}$	$0,8(t_{\text{в}} - t_{\text{п}})$	2,5	Не нормируется
5. Производственные здания со значительными избытками явной теплоты (более 23 Вт/м^3) и расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха не более 50%	12	12	2,5	$t_{\text{в}} - t_{\text{п}}$

Стоит отметить, что в действующей редакции СП «Тепловая защита зданий» контроль теплового комфорта помещений, как одного из санитарно-гигиенических требований тепловой защиты, исключен. Это произошло в связи с тем, что повышенный нормативный уровень теплозащиты современных ограждающих конструкций в подавляющем большинстве случаев удовлетворяет этому условию изначально.

4.2.8.2. Обеспечение недопустимости выпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных стен

Выпадение конденсата на внутренних поверхностях наружных стен свидетельствует о неблагоприятном конструктивном решении ограждений или о неправильном выборе материалов. Чаще всего конденсат на внутренних поверхностях появляется в местах теплотехнических неоднородностей, где выше теплотери ограждения и, следовательно, ниже температуры внутренних поверхностей.

Температура внутренней поверхности ограждающей конструкции в местах теплотехнических неоднородностей t'_s должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха t_p при расчетной температуре наружного воздуха – t_n °C:

$$t'_s > t_p . \quad (4.21)$$

Величина температуры точки росы t_p определяется в зависимости от температуры t_v и относительной влажности ϕ_v внутреннего воздуха (Приложение В).

Величина температуры t'_s согласно СП 50.13330 должна определяться по результатам расчета температурных полей всех зон с теплотехнической неоднородностью.

В данной работе студенту предлагается определить температуру t'_s для двух характерных узлов согласно индивидуальному заданию, с применением компьютерной программы Elcut (или аналога). Пояснения к расчету температурных полей в узлах ограждающих конструкций при помощи программы Elcut приведены в Приложении Г.

Если в результате расчетов окажется, что t'_s ниже температуры точки росы t_p , то в этом сечении будет выпадать конденсат. Такое положение не соответствует нормам СП и требует исправления.

Исключить конденсацию водяных паров на внутренних поверхностях стен в зонах теплопроводных включений можно двумя путями:

- 1) введением термовкладышей в зонах высокотеплопроводных несущих конструкций;
- 2) устройством теплозащитных накладок со стороны помещения.

В завершении работы приводится сводная таблица результатов проектирования и расчета, а также заключение о соответствии (или несоответствии) параметров теплозащиты разработанного ограждения требованиям СП 50.13330.2012.

5. ПРИМЕР РАСЧЕТА И ОФОРМЛЕНИЯ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Целью настоящей самостоятельной работы является развитие навыков конструирования наружных стен, узлов примыкания к несущим конструкциям, расчета и обеспечения основных параметров теплозащиты ограждений.

Настоящая самостоятельная работа выполняется студентами по вариантам. Вариант представляет собой набор из пяти цифр, каждой из которых соответствует графа в таблице заданий Приложения А:

1. Назначение здания (жилое, общественное, лечебно-профилактическое, детское учреждение).
2. Место строительства (город, область).
3. Конструктивная система здания (каркасная, бескаркасная).
4. Тип конструкции наружной стены (система скрепленной теплоизоляции, трехслойная стена, навесная фасадная система).
5. Вид узла с теплотехнической неоднородностью для детальной проработки.

Материал основных функциональных слоев наружной стены (конструкционные и теплоизоляционные материалы) студент выбирает самостоятельно.

Для выбора варианта можно использовать следующие рекомендации: две последние цифры зачетной книжки студент умножает на число 12345 и в качестве варианта принимает пять последних цифр получившегося числа.

Например, две последние цифры зачетной книжки 22, тогда $12345 \times 22 = 271590$. Получаем вариант 71590, по которому в соответствии с Приложением А формируем задание следующего вида:

Разработать конструктивное решение наружной стены с узлами примыкания к несущим конструкциям и обеспечить нормативный уровень основных параметров теплозащиты для здания гостиницы (7) в г. Архангельске Архангельской области (1). Тип конструкции наружной стены – трехслойная (5), конструктивная система здания – бескаркасная (9). Узлы для детальной проработки 1 и 4 для бескаркасной конструктивной системы (0).

В результате выполнения работы студент должен получить:

- конструкцию наружной стены с описанием использованных материалов и их теплотехнических характеристик, размеров слоев ограждения;
- конструкцию узлов соединения наружной стены с несущими конструкциями, с выделением участков с теплотехнической неоднородностью;
- основные параметры теплозащиты наружной стены, соответствующие нормативным требованиям.

В качестве примера будет разобрано решение следующего задания:

- разработать конструктивное решение наружной стены с узлами примыкания к несущим конструкциям и обеспечить нормативный уровень основных параметров теплозащиты для жилого здания в г. Казани, Республика

Татарстан. Тип конструкции наружной стены – скрепленная теплоизоляция, конструктивная система здания – каркасная. Узлы для детальной проработки 1 и 4 для каркасной конструктивной системы.

5.1. Наружные климатические условия

Установлено для г. Казани:

а) расчетная температура наружного воздуха $t_n = -29$ °С определена по таблице 3.1 СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» как температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;

б) средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{от} = -4,7$ °С;

в) продолжительность отопительного периода $z_{от} = 207$ сут. определена по таблице 3.1 СП 131.13330 для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С (для жилого здания);

г) среднее годовое парциальное давление водяного пара наружного воздуха, $e_n = 760$ Па, определено по таблице 7.1 СП 131.13330.2020;

д) средние месячные значения температуры наружного воздуха с выделением трех периодов года определены по таблице 5.1 СП 131.13330.2020:

- зимний период: месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус 5 °С;

- весенне-осенний период: месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус 5 до плюс 5 °С;

- летний период: месяцы со средними температурами воздуха выше плюс 5 °С.

Месяц	Я	Ф	М	А	М	И	И	А	С	О	Н	Д
Температура, °С	-11,6	-10,7	-4,2	5,4	13,6	17,8	20,0	17,9	11,8	4,3	-2,9	-8,6
Период	Зимний		Весенне-осенний	Летний						Весенне-осенний	Зимний	

Определяется средняя температура наружного воздуха за соответствующие периоды:

- зимний период (3 месяца)

$$t_1 = \frac{-11,6 + (-10,7) + (-8,6)}{3} = -10,3^\circ\text{C};$$

- весенне-осенний период (3 месяца)

$$t_2 = \frac{-4,2 + 4,3 + (-2,9)}{3} = -0,93^\circ\text{C};$$

- летний период (6 месяцев)

$$t_3 = \frac{5,4 + 13,6 + 17,8 + 20,0 + 17,9 + 11,8}{6} = 14,42^\circ\text{C};$$

е) зона влажности места строительства – нормальная, определена по «Карте зон влажности» СП 50.13330.2012.

5.2. Параметры внутренней среды помещений

Расчетные параметры внутренней среды помещений установлены для жилого здания:

а) температура внутреннего воздуха $t_v = 20$ °С определена как минимальное значение оптимальной температуры жилой комнаты по ГОСТ 30494;

б) относительная влажность внутреннего воздуха $\phi_v = 55$ % определена по п.5.7 СП 50.13330.2012, как для помещений жилых зданий.

5.3. Определение влажностных условий эксплуатации ограждающих конструкций

По температуре внутреннего воздуха t_v и его относительной влажности ϕ_v определяется влажностный режим помещений как **нормальный** (согласно таблице 1 СП 50.13330).

Влажностные условия эксплуатации ограждающих конструкций определяются в зависимости от нормального влажностного режима помещения и нормальной зоны влажности места строительства как Б (согласно таблице 2 СП 50.13330). В соответствии с этим принимаем теплотехнические характеристики материалов по графе Б – λ_B и S_B .

5.4. Нормируемое (требуемое) сопротивление теплопередаче

Климатические условия места строительства определяются градусо-сутками отопительного периода ГСОП:

$$ГСОП = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}} = (20 - (-4.7)) \cdot 207 = 5112,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Значение ГСОП отличается от табличных значений (таблица 3 СП 50.13330), в связи с чем воспользуемся приложением к ней.

Требуемое сопротивление теплопередаче определим для всех типов ограждающих конструкций, которые представлены в заданных узлах:

– для стен:

$$R_0^{mp} = a \cdot ГСОП + b = 0,00035 \cdot 5112,9 + 1,4 = 3,19 \text{ (} m^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт},$$

где $a = 0,00035$ и $b = 1,4$ приняты для стен жилых зданий,

$$R_0^{норм} = m_p \cdot R_0^{mp} = 1 \cdot 3,19 = 3,19 \text{ (} m^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт};$$

– для покрытия:

$$R_0^{mp} = a \cdot ГСОП + b = 0,0005 \cdot 5112,9 + 2,2 = 4,76 \text{ (} m^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт},$$

$$R_0^{норм} = m_p \cdot R_0^{mp} = 1 \cdot 4,76 = 4,76 \text{ (} m^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт},$$

где $a = 0,0005$ и $b = 2,2$ приняты для покрытий жилых зданий;

– для окон жилых зданий R_0^{mp} определяется интерполяцией:

$$R_0^{mp} = 0,63 + \frac{(5112,9 - 4000) \cdot (0,73 - 0,63)}{(6000 - 4000)} = 0,69 \text{ (} m^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт},$$

$$R_0^{норм} = m_p \cdot R_0^{мп} = 1 \cdot 0,69 = 0,69 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт}.$$

5.5. Конструирование ограждающей конструкции

Для детальной разработки задана двухслойная конструкция наружной стены с облицовочным штукатурным слоем – система скрепленной теплоизоляции. Конструктивная система здания – каркасная. Наружная стена в пределах каждого этажа опирается на железобетонное перекрытие.

Схема этой конструкции приведена на рисунке 5.1.

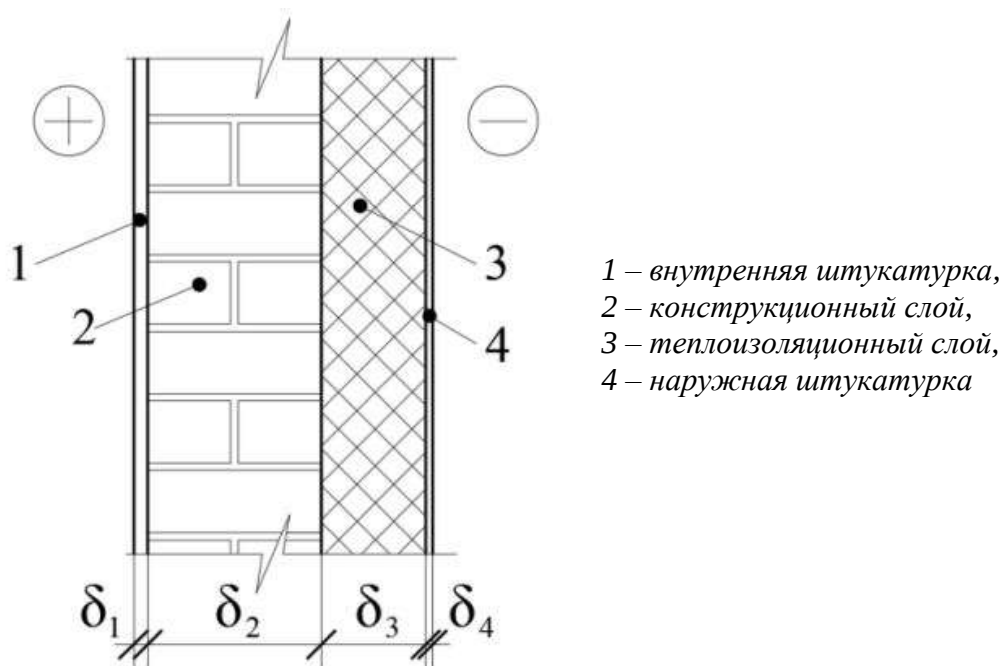


Рис. 5.1. Конструкция наружной стены

Материалы для функциональных слоев приняты по приложению С СП 50.13330.2012 и приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Теплотехнические характеристики материалов наружной стены

№ слоя	Наименование материала	Плотность ρ , кг/м ³	Теплопроводность λ_B , Вт/(м·°C)	Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	Теплоусвоение S_B , Вт/(м ² ·°C)
1	Внутренняя штукатурка: раствор сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,87	0,098	10,42
2	Конструктивный слой: кладка из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе	1800	0,81	0,11	10,12

3	Теплоизоляционный слой: плиты минераловатные из каменного волокна	100	0,045	0,32	0,59
4	Облицовочный слой: раствор цементно-песчаный	1800	0,93	0,09	11,09

5.6. Обеспечение необходимого сопротивления теплопередаче по глади наружной стены

Зададимся толщинами функциональных слоев:

внутренняя штукатурка – $\delta_1 = 20 \text{ мм} = 0,02 \text{ м}$;

конструкционный слой из кирпича – $\delta_2 = 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м}$;

наружная штукатурка – $\delta_4 = 10 \text{ мм} = 0,01 \text{ м}$.

Толщину теплоизоляционного слоя δ_3 определим исходя из формулы:

$$R_{то} = \frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_н} = R_0^{норм},$$

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,25}{0,81} + \frac{\delta_3}{0,045} + \frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,19,$$

$$\frac{\delta_3}{0,045} = 2,60,$$

$$\delta_3 = 0,117 \text{ м}.$$

Так как плиты из минеральной ваты выпускают ограниченного типоразмера, принимаем толщину плиты теплоизоляции $0,15 \text{ м} = 15 \text{ см}$.

Уточняем сопротивление теплопередаче наружной стены с $\delta_3 = 0,15 \text{ м}$:

$$R_{то} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,25}{0,81} + \frac{0,15}{0,045} + \frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,80 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт},$$

$$R_{то} = 3,80 > R_0^{норм} = 3,19 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт}.$$

Условие обеспечения необходимого сопротивления теплопередаче по глади наружной стены выполняется.

5.6.1. Уточнение расчетной температуры наружного воздуха

Рассчитаем тепловую инерцию проектируемой наружной стены:

$$D = \sum R_i S_i = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} S_i = \frac{0,02}{0,87} 10,42 + \frac{0,25}{0,81} 10,12 + \frac{0,15}{0,045} 0,59 + \frac{0,01}{0,93} 11,09 = 5,45.$$

Так как $4 \geq 5,45 < 7$, то согласно п. 1а) t_n принимается как средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98 по СП 131.13330.2020 «Строительная климатология»:

$$t_n = -32 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

5.7. Защита от переувлажнения ограждающих конструкций

5.7.1. Определение плоскости максимального увлажнения

Разделяем проектируемую конструкцию наружной стены на две зоны по плоскости максимального увлажнения, которая располагается на границе облицовочного и теплоизоляционного слоев согласно рисунку 5.2.

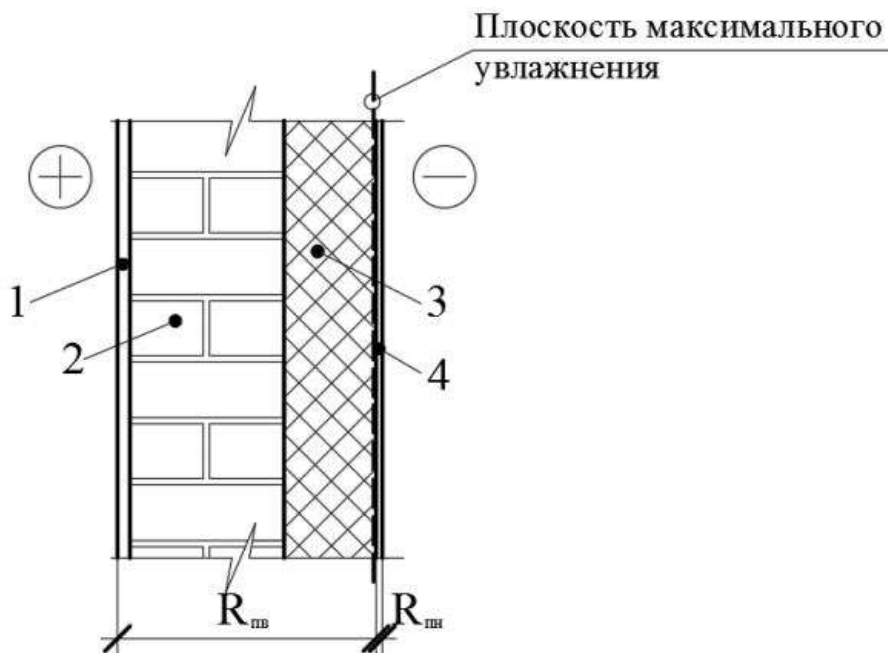


Рис. 5.2. Плоскость максимального увлажнения

5.7.2. Определение дополнительных расчетных данных

а) парциальное давление насыщенного водяного пара внутреннего воздуха

$$E_g = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273+t_g)} = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273+20)} = 2288,3 \text{ Па},$$

б) парциальное давление водного пара внутреннего воздуха:

$$e_g = \frac{\varphi_g \cdot E_g}{100} = \frac{55 \cdot 2288,3}{100} = 1258,6 \text{ Па},$$

в) сопротивление паропроницанию наружных слоев до плоскости максимального увлажнения:

$$R_{пн} = \frac{\delta_n}{\mu_n} = \frac{0,01}{0,09} = 0,11 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг},$$

г) температуры в плоскости максимального увлажнения при средних температурах наружного воздуха за три периода, принимаемых по п. 1д:

– зимний:

$$t_{x1} = t_1 + \frac{t_g - t_1}{R_{мо}} \cdot \left(\frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n} \right) = -10,3 + \frac{20 - (-10,3)}{3,80} \cdot \left(\frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} \right) = -9,87^\circ \text{C},$$

- весенне-осенний:

$$t_{x2} = t_2 + \frac{t_g - t_2}{R_{мо}} \cdot \left(\frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n} \right) = -0,93 + \frac{20 - (-0,93)}{3,80} \cdot \left(\frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} \right) = -0,63^\circ \text{C},$$

- летний:

$$t_{x3} = t_3 + \frac{t_6 - t_3}{R_{mo}} \cdot \left(\frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n} \right) = 14,42 + \frac{20 - 14,42}{3,80} \cdot \left(\frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} \right) = 14,50^\circ\text{C},$$

д) парциальное давление насыщенного водного пара в плоскости максимального увлажнения при средних температурах наружного воздуха за три периода:

- зимний:

$$E_1 = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273+t_{x1})} = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273-9,87)} = 289,9 \text{ Па},$$

- весенне-осенний:

$$E_2 = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273+t_{x2})} = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273-0,63)} = 576,4 \text{ Па},$$

- летний:

$$E_3 = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273+t_{x3})} = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273+14,50)} = 1615,4 \text{ Па},$$

е) парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации:

$$E = \frac{E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3}{12} = \frac{289,9 \cdot 3 + 576,4 \cdot 3 + 1615,4 \cdot 6}{12} = 1024,3 \text{ Па}.$$

5.7.3. Требуемое сопротивление паропроницанию внутренних слоев

Определяем требуемое сопротивление паропроницанию внутренних слоев:

$$R_{пв}^{mp} = \frac{(e_6 - E) \cdot R_{пн}}{E - e_n} = \frac{(1258,6 - 1024,3) \cdot 0,11}{1024,3 - 760} = 0,098 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}.$$

Определяем сопротивление паропроницанию внутренних слоев:

$$R_{пв} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0,02}{0,098} + \frac{0,25}{0,11} + \frac{0,15}{0,32} = 2,9 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}.$$

Проверяем условие:

$$R_{пв} = 2,9 > R_{пв}^{mp} = 0,098 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}.$$

Условие защиты от переувлажнения ограждающей конструкции выполняется.

5.8. Обеспечение санитарно-гигиенических показателей тепловой защиты

5.8.1. Обеспечение теплового комфорта в помещении

Определим расчетный перепад Δt_0 между температурой внутреннего воздуха t_6 и температурой внутренней поверхности наружной стены по глади τ_6 :

$$\Delta t_0 = \frac{n \cdot (t_6 - t_n)}{R_{mo} \cdot \alpha_6} = \frac{1 \cdot (20 - (-32))}{3,80 \cdot 8,7} = 1,57^\circ\text{C}.$$

Оценка соответствия теплового комфорта в помещении нормативным требованиям идет путем сравнения расчетного перепада температур Δt_0 с нормируемым Δt_n ($\Delta t_n = 4,0^\circ\text{C}$ для жилых зданий):

$$\Delta t_0 = 1,57^\circ\text{C} < \Delta t_n = 4,0^\circ\text{C}.$$

Условие обеспечения теплового комфорта выполняется.

5.8.2. Обеспечение недопустимости выпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных стен

Определим величину температуры точки росы t_p при температуре t_e и относительной влажности φ_e внутреннего воздуха по Приложению Ж:

$$t_p = 10,69^\circ\text{C при } t_e = 20^\circ\text{C и } \varphi_e = 55\%.$$

Для определения величины температуры $t_{\tau'}$ для заданных узлов 1 и 4 необходимо произвести расчет температурных полей. С этой целью необходимо разработать конструкцию данных узлов (рис. 5.3). В узле 1, помимо конструкции наружной стены, присутствует конструкция покрытия. Запроектируем конструкцию покрытия аналогично по пп. 5 и 6.

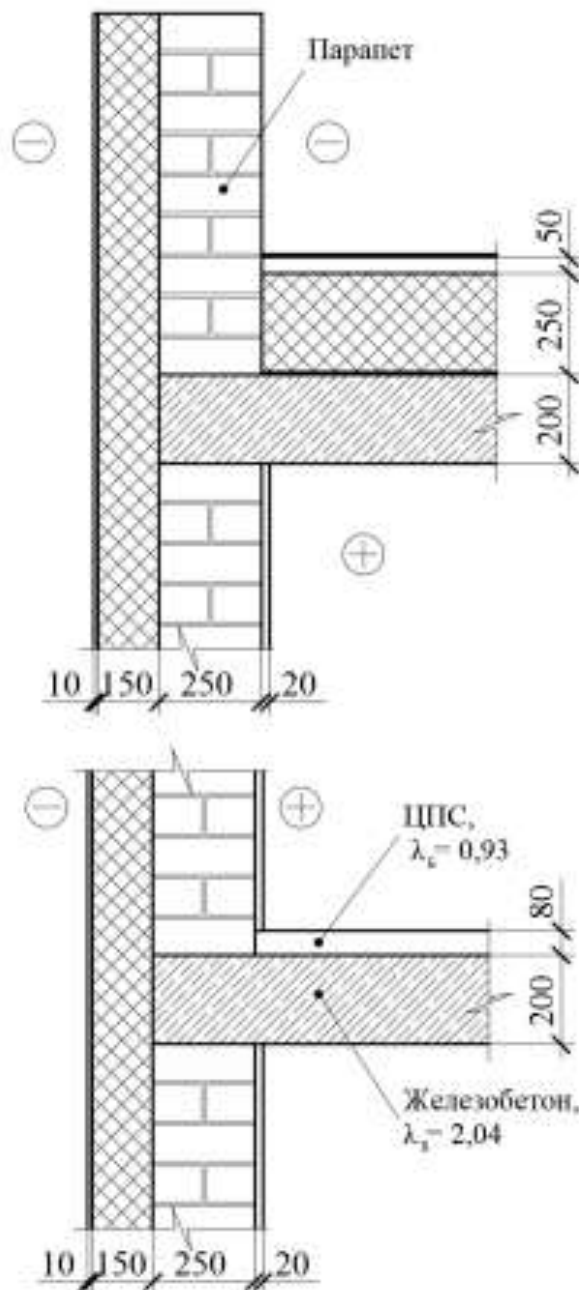


Рис. 5.3. Конструкции узлов 1 и 4

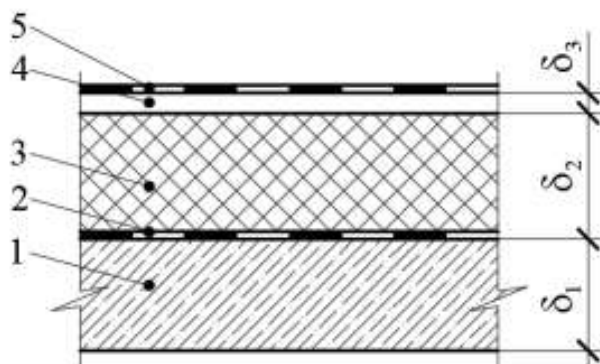


Рис. 5.4. Конструкция покрытия

Таблица 5.2

Теплотехнические характеристики материалов покрытия

№ слоя	Наименование материала	Плотность ρ , кг/м ³	Теплопроводность λ_b , Вт/(м·°C)	Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	Теплоусвоение S_b , Вт/(м ² ·°C)
1	Плита перекрытия: железобетон	2500	2,04	0,03	18,95
2	Пароизоляция				
3	Теплоизоляционный слой: плиты минераловатные из каменного волокна	100	0,045	0,32	0,59
4	Цементно-песчаная стяжка: раствор цементно-песчаный	1800	0,93	0,09	11,09
5	Гидроизоляция				

Толщины функциональных слоев: железобетонная плита перекрытия – $\delta_1 = 200 \text{ мм} = 0,2 \text{ м}$;

Цементно-песчаная стяжка – $\delta_4 = 50 \text{ мм} = 0,05 \text{ м}$;

Толщиной и сопротивлением теплопередаче слоев пароизоляции и гидроизоляционного ковра пренебрежем в силу их малых значений.

Толщину теплоизоляционного слоя δ_3 определим по формуле:

$$R_{mo} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_n} = R_0^{норм},$$

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{\delta_3}{0,045} + \frac{0,05}{0,93} + \frac{1}{23} = 4,8,$$

$$\frac{\delta_3}{0,045} = 4,5,$$

$$\delta_3 = 0,21 \text{ м}.$$

Принимаем толщину плиты теплоизоляции $0,25 \text{ м} = 25 \text{ см}$.

Уточняем сопротивление теплопередаче покрытия с $\delta_3 = 0,25$ м:

$$R_{mo} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{0,25}{0,045} + \frac{0,05}{0,93} + \frac{1}{23} = 5,9 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт},$$

$$R_{mo} = 5,9 > R_0^{\text{норм}} = 4,8 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}.$$

Условие обеспечения необходимого сопротивления теплопередаче по глади покрытия выполняется.

Расчет температурных полей выполним в программе Elcut. На рисунках 5.5 и 5.6 представлены результаты расчета: графики распределения температур по внутренней поверхности узлов.

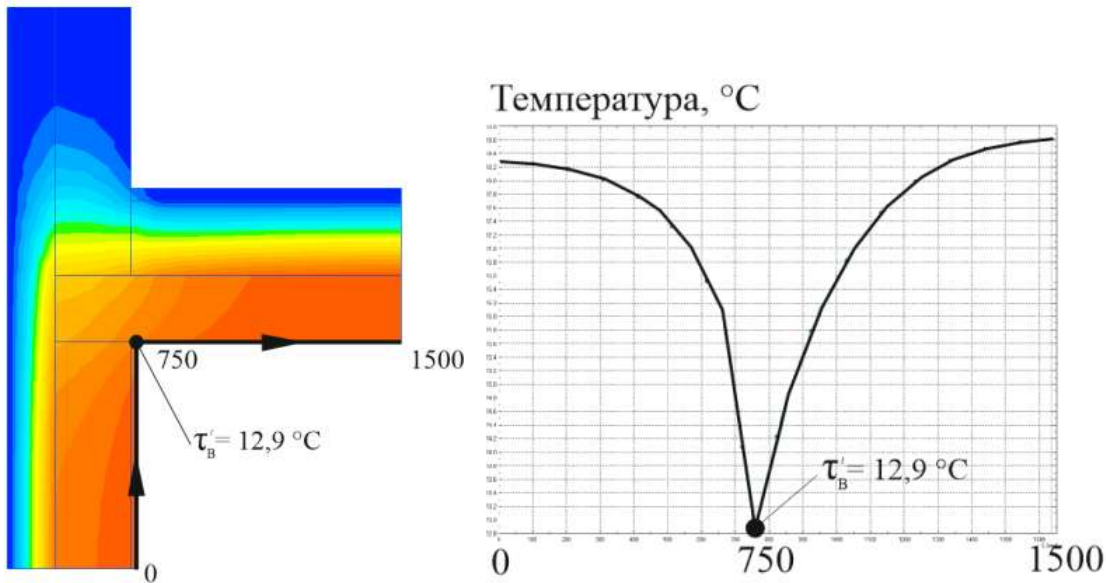


Рис. 5.5. Температурное поле и график распределения температур по внутренней поверхности узла 1

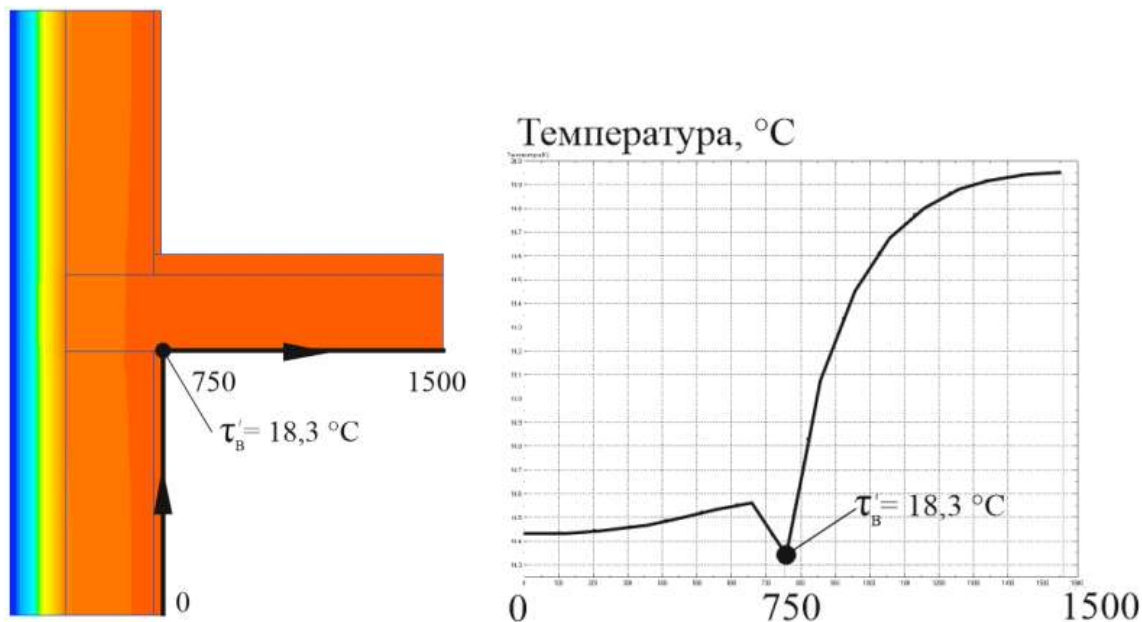


Рис. 5.6. Температурное поле и график распределения температур по внутренней поверхности узла 4

Минимальные температуры поверхностей для данных узлов следующие:

для узла 1: $\tau'_e = 12,9 \text{ }^{\circ}\text{C} > t_p = 10,69 \text{ }^{\circ}\text{C}$,

для узла 2: $\tau'_e = 18,3 \text{ }^{\circ}\text{C} > t_p = 10,69 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Условие недопустимости выпадения конденсата для каждого узла выполняется. Результаты расчета представим в сводной таблице 5.3.

Таблица 5.3

Сводная таблица результатов расчета

№	Наименование параметров, размерность	Условия соответствия нормам	Расчетное значение	Нормативное значение	Заключение о соответствии
1	Сопротивление теплопередаче, $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) / \text{Вт}$	$R_{mo} \geq R_0^{норм}$	3,8	3,2	+
2	Сопротивление паропроницанию внутренних слоев, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}$	$R_{пв} \geq R_{пв}^{mp}$	2,9	0,098	+
3	Показатель теплового комфорта, $^{\circ}\text{C}$	$\Delta t_0 \leq \Delta t_n$	1,6	4,0	+
4	Температуры в местах теплотехнических неоднородностей, $^{\circ}\text{C}$	$\tau'_e > t_p$	Узел 1 - 12,9 Узел 4 - 18,3	10,69	+

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

	Первая буква фамилии		Первая буква имени	
	Город	Тип наружной стены	Назначение здания (помещения)	Узел конструкции
А	г. Архангельск, Архангельская область	Штукатурный фасад	Административное здание	1,4 - Каркасная
Б	г. Брянск, Брянская область	Трехслойная стена	Библиотека	2,4 - Каркасная
В	г. Вологда, Вологодская область	Навесной фасад	Вокзал	3,4 - Каркасная
Г	г. Грозный, Чеченская республика	Штукатурный фасад	Гостиница	1,4 - Бескаркасная
Д	г. Диксон, Красноярский край	Трехслойная стена	Детский сад	2,4 - Бескаркасная
Е	г. Екатеринбург, Свердловская область	Навесной фасад	Естественно-научный институт	3,4 - Бескаркасная
Ж	п. Жигалово, Иркутская область	Штукатурный фасад	Жилой дом	1,4 - Каркасная
З	г. Заметчино, Пензенская область	Трехслойная стена	Загородный дом	2,4 - Каркасная
И	г. Иваново, Ивановская область	Навесной фасад	Институт	3,4 - Каркасная
К	г. Кемерово, Кемеровская область	Штукатурный фасад	Кафе	1,4 - Бескаркасная
Л	г. Липецк, Липецкая область	Трехслойная стена	Лицей	2,4 - Бескаркасная
М	г. Магадан, Магаданская область	Навесной фасад	Магазин	3,4 - Бескаркасная
Н	г. Новосибирск, Новосибирская область	Штукатурный фасад	Научно-исследовательский институт	1,4 - Каркасная
О	г. Оренбург, Оренбургская область	Трехслойная стена	Общежитие	2,4 - Каркасная
П	г. Псков, Псковская область	Навесной фасад	Поликлиника	3,4 - Каркасная
Р	г. Ростов-на-Дону, Ростовская область	Штукатурный фасад	Ресторан	1,4 - Бескаркасная
С	г. Санкт-Петербург, Ленинградская область	Трехслойная стена	Санаторий (палатное отделение)	2,4 - Бескаркасная
Т	г. Томск, Томская область	Навесной фасад	Театр	3,4 - Бескаркасная
У	г. Уфа, Республика Башкортостан	Штукатурный фасад	Университет	1,4 - Каркасная
Ф	г. Феодосия, Республика Крым	Трехслойная стена	Футбольный манеж	2,4 - Каркасная
Х	г. Хабаровск, Хабаровский край	Навесной фасад	Хоккейная площадка (крытая)	3,4 - Каркасная
Ц	г. Чита, Забайкальский край	Штукатурный фасад	Цирк	1,4 - Бескаркасная
Ч	г. Чита, Забайкальский край	Трехслойная стена	Частный детский сад	2,4 - Бескаркасная
Ш	г. Шарья, Костромская область	Навесной фасад	Школа	3,4 - Бескаркасная
Э	г. Элиста, Республика Калмыкия	Штукатурный фасад	Театр Эстрады	1,4 - Каркасная
Ю	г. Южно-Курильск, Сахалинская область	Трехслойная стена	Школа Юного техника	2,4 - Каркасная
Я	г. Ярославль, Ярославская область	Навесной фасад	Ясли-сад	3,4 - Каркасная

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. БАЗОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ

Таблица Б1. Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (Таблица 3. СП50.13330.2012)

Здания и помещения, коэффициенты а и b	Градусо-сутки отопительного периода, °С · сут/год	Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче R_0^{mp} , (м ² ·°С)/Вт, ограждающих конструкций				
		Стен	Покрытий и перекрытий над проездами	Перекрытий чердачных над неотапливаемыми подпольями и подвалами	Окон и балконных дверей, витрин и витражей	Фонарей
1	2	3	4	5	6	7
1.1. Жилые, гостиницы, общежития и	2000	2,1	3,2	2,8	0,49	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,63	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,73	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,75	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,77	0,5
	12000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
a		0,00035	0,0005	0,00045	-	0,000025
b		1,4	2,2	1,9	-	0,25
1.2. Лечебно-профилактические, дошкольные образовательные и общеобразовательные организации, интернаты	2000	2,1	3,2	2,8	0,3	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,6	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,7	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
a		0,00035	0,0005	0,00045	-	0,000025
b		1,4	2,2	1,9	-	0,25
2. Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	2000	1,8	2,4	2,0	0,49	0,3
	4000	2,4	3,2	2,7	0,63	0,35
	6000	3,0	4,0	3,4	0,73	0,4
	8000	3,6	4,8	4,1	0,75	0,45
	10000	4,2	5,6	4,8	0,77	0,5
	12000	4,8	6,4	5,5	0,8	0,55
a		0,0003	0,0004	0,00035	-	0,000025
b		1,2	1,6	1,3	-	0,25

П р и м е ч а н и я

1 Значения R_0^{mp} для величин ГСОП, отличающихся от табличных, следует определять по формуле:

$$R_0^{mp} = a \cdot \text{ГСОП} + b,$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °С · сут/год, для конкретного пункта;

a, b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы для соответствующих групп зданий, за исключением графы 6, для группы зданий в строках 1 и 2.

Для графы 6 для интервала до 2000 °С · сут/год следует принимать базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче равным значению для 2000 °С · сут/год, для интервала свыше 12000 °С · сут/год следует принимать базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче равным значению для 12000 °С · сут/год.

ПРИЛОЖЕНИЕ В. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ХОЛОДНОГО ПЕРИОДА ГОДА

Таблица В1. Климатические параметры холодного периода года
(Таблица 3.1 СП 131.13330.2020 Строительная климатология)

Республика, край, область, пункт	Температура воздуха наиболее холодных суток, °С, обеспеченностью		Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С, обеспеченностью		Абсолютная минимальная температура воздуха, °С	Продолжительность, сут, и средняя температура воздуха, °С, периода со средней суточной температурой воздуха			
						≤ 8 °С		≤ 10 °С	
	0,98	0,92	0,98	0,92		продолжительность	средняя температура	продолжительность	средняя температура
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Архангельская область									
Архангельск	-40	-38	-37	-34	-45	248	-4,5	270	-3,4
Котлас	-43	-40	-39	-35	-47	235	-5,0	255	-3,9
Астраханская область									
Астрахань	-26	-24	-22	-20	-34	165	-0,7	180	0,2
Республика Башкортостан									
Уфа	-41	-39	-37	-33	-49	209	-5,9	223	-5,0
Брянская область									
Брянск	-30	-27	-25	-23	-42	199	-2,0	217	-1,1
Вологодская область									
Вологда	-40	-36	-35	-32	-47	226	-4,0	244	-3,0
Тотьма	-40	-37	-36	-33	-46	230	-4,4	249	-3,4
Забайкальский край									
Чита	-41	-39	-39	-37	-47	238	-11,2	252	-10,1
Ивановская область									
Иваново	-36	-33	-32	-29	-45	214	-3,6	233	-2,6
Иркутская область									
Жигалово	-49	-48	-46	-44	-54	262	-15,0	275	-13,9
Иркутск	-38	-37	-35	-33	-50	233	-7,6	249	-6,5
Республика Калмыкия									
Элиста	-28	-25	-24	-21	-34	171	-0,8	186	0,0
Кемеровская область									
Кемерово	-45	-43	-42	-39	-50	228	-7,9	245	-6,7
Костромская область									
Кострома	-36	-33	-32	-29	-46	216	-3,6	233	-2,7
Шарья	-41	-37	-36	-32	-46	224	-4,4	241	-3,4
Красноярский край									
Диксон	-44	-43	-42	-40	-48	266	-11,2	365	-11,1
Дудинка	-52	-50	-47	-47	-57	296	-15,0	311	-13,9
Республика Крым									
Феодосия	-17	-15	-14	-12	-25	142	3,5	164	4,2
Ялта	-9	-7	-5	-4	-12	127	5,3	154	5,9
Санкт-Петербург									
Липецкая область									
Липецк	-32	-30	-28	-25	-38	196	-3,1	212	-2,2

Республика, край, область, пункт	Температура воздуха наиболее холодных суток, °С, обеспеченностью		Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С, обеспеченностью		Абсолютная минимальная температура воздуха, °С	Продолжительность, сут, и средняя температура воздуха, °С, периода со средней суточной температурой воздуха			
						≥ 8 °С		≥ 10 °С	
	0,98	0,92	0,98	0,92		продолжительность	средняя температура	продолжительность	средняя температура
Магаданская область									
Магадан	-32	-30	-30	-28	-35	278	-7,4	302	-6,1
Москва	-34	-29	-29	-26	-43	204	-2,2	222	-1,3
Новосибирская область									
Новосибирск	-44	-41	-40	-37	-50	222	-7,9	240	-6,7
Оренбургская область									
Оренбург	-36	-33	-32	-29	-43	195	-6,0	207	-5,2
Пензенская область									
Земетчино	-35	-32	-31	-28	-43	201	-3,7	215	-2,9
Пенза	-34	-31	-29	-27	-43	201	-3,9	215	-3,1
Псковская область									
Псков	-32	-29	-28	-25	-41	208	-1,2	228	-0,3
Ростовская область									
Ростов-на-Дону	-25	-23	-21	-18	-33	167	0,0	183	0,8
Сахалинская область									
Южно-Курильск	-16	-14	-14	-12	-20	225	0,0	253	1,0
Свердловская область									
Екатеринбург	-41	-37	-35	-32	-47	220	-5,5	237	-4,5
Республика Татарстан									
Бугульма	-37	-34	-32	-29	-47	213	-5,6	227	-4,7
Елабуга	-38	-35	-34	-31	-47	209	-5,1	224	-4,2
Казань	-36	-33	-32	-29	-47	207	-4,7	222	-3,8
Томская область									
Томск	-44	-43	-42	-39	-55	233	-7,8	251	-6,6
Хабаровский край									
Хабаровск	-33	-32	-31	-29	-43	204	-9,5	219	-8,2
Чеченская Республика									
Грозный	-23	-20	-19	-17	-32	160	0,9	178	1,7
Ярославская область									
Ярославль	-36	-33	-32	-29	-46	215	-3,5	233	-2,5

Таблица В2. Средняя месячная и годовая температуры наружного воздуха, °С
(Таблица 5.1 СП 131.13330.2020 Строительная климатология)

Республика, край, область, пункт	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Архангельская область													
Архангельск	-13,3	-11,7	-5,7	0,3	6,9	12,8	16,2	13,4	8,2	1,9	-4,5	-9,4	1,3
Котлас	-13,9	-11,9	-4,8	2,4	9,3	14,6	17,4	14,4	8,6	2,0	-4,9	-10,4	1,9
Астраханская область													
Астрахань	-4,7	-4,2	2,1	11,4	18,3	23,2	25,6	24,1	17,7	10,0	3,3	-1,9	10,4
Республика Башкортостан													
Уфа	-13,7	-12,6	-5,3	5,4	13,4	17,7	19,5	17,2	11,4	3,9	-3,9	-10,9	3,5
Брянская область													
Брянск	-7,3	-6,4	-1,1	7,2	13,9	17,0	18,6	17,4	11,9	5,6	-0,3	-4,7	6,0
Вологодская область													
Вологда	-11,6	-10,2	-4,2	3,4	10,7	15,0	17,4	15,0	9,3	3,1	-3,2	-8,2	3,0
Тотьма	-12,6	-10,7	-4,2	2,9	10,1	14,7	17,4	14,6	8,9	2,5	-4,0	-9,2	2,5
Забайкальский край													
Чита	-25,5	-20,0	-9,4	1,3	9,5	16,4	18,7	15,9	8,5	-0,8	-13,0	-22,5	-1,7
Ивановская область													
Иваново	-10,3	-9,2	-3,4	5,0	12,0	16,3	18,6	16,4	10,4	4,0	-2,5	-7,4	4,2
Иркутская область													
Жигалово	-30,7	-27,3	-15,9	-4,5	5,5	14,4	17,5	13,5	5,3	-5,5	-20,5	-28,6	-6,4
Иркутск	-18,4	-15,4	-6,7	2,5	9,8	15,8	18,2	15,7	9,1	1,5	-7,9	-15,7	0,7
Республика Калмыкия													
Элиста	-5,0	-4,5	1,4	10,4	17,1	21,9	24,9	23,8	17,3	9,5	2,6	-2,3	9,7
Кемеровская область													
Кемерово	-18,1	-15,9	-7,7	2,2	10,4	16,7	19,0	15,9	9,6	2,0	-7,8	-15,1	0,9
Костромская область													
Кострома	-10,5	-9,3	-3,3	4,7	12,0	16,0	18,4	16,2	10,3	3,8	-2,6	-7,6	4,0
Шарья	-12,1	-10,5	-4,1	3,9	11,1	15,5	17,8	15,3	9,4	2,9	-3,8	-9,3	3,0
Красноярский край													
Диксон	-25,3	-25,3	-22,2	-16,8	-8,0	0,4	4,8	5,0	1,7	-7,6	-17,6	-22,1	-11,1
Дудинка	-28,1	-27,3	-21,6	-14,9	-5,4	6,1	13,7	10,8	3,9	-8,3	-20,5	-24,7	-9,7
Республика Крым													
Феодосия	1,4	1,9	5,1	10,9	16,5	21,2	24,2	23,7	18,7	12,9	7,9	3,9	12,3
Ялта	4,2	4,3	6,4	10,9	16,1	20,7	24,0	24,0	19,4	14,1	9,4	6,1	13,3
Санкт-Петербург	-6,5	-6,1	-1,4	4,6	11,3	15,8	18,6	16,9	11,6	5,8	0,5	-3,6	5,6
Липецкая область													
Липецк	-8,6	-8,2	-2,5	7,3	14,6	17,8	19,7	18,4	12,6	5,7	-0,9	-5,8	5,8
Магаданская область													
Магадан	-16,4	-15,5	-11,3	-4,8	1,7	7,6	11,6	12,0	7,4	-1,2	-10,2	-14,8	-2,8
Москва	-7,8	-6,9	-1,3	6,5	13,3	17,0	19,1	17,1	11,3	5,2	-0,8	-5,2	5,6
Новосибирская область													
Новосибирск	-17,6	-15,8	-8,0	2,7	11,0	17,3	19,4	16,3	10,2	2,6	-7,3	-14,4	1,4
Оренбургская область													
Оренбург	-13,0	-12,4	-5,3	7,3	15,6	20,3	22,3	20,5	14,1	5,4	-2,9	-9,7	5,2
Пензенская область													
Земетчино	-9,5	-9,3	-3,6	6,7	14,4	17,9	19,8	18,1	12,2	5,1	-1,5	-6,8	5,3
Пенза	-9,9	-9,6	-3,6	6,8	14,6	18,2	20,1	18,4	12,4	5,1	-1,7	-7,3	5,3
Псковская область													
Псков	-6,3	-6,0	-1,2	5,6	12,2	15,9	18,1	16,4	11,1	5,5	0,4	-3,7	5,7
Ростовская область													
Ростов-на-Дону	-3,8	-3,0	2,4	10,9	17,1	21,3	23,5	22,8	16,8	9,6	3,4	-1,2	10,0

Республика, край, область, пункт	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Сахалинская область													
Южно-Курильск	-4,4	-5,4	-2,5	1,7	5,3	8,6	12,5	15,8	14,9	10,7	4,6	-1,0	5,1
Свердловская область													
Екатеринбург	-13,8	-11,7	-4,1	4,5	11,4	16,6	18,6	15,8	10,0	2,5	-5,5	-11,2	2,8
Республика Татарстан													
Бугульма	-12,8	-11,8	-5,5	4,5	12,9	16,9	18,8	16,9	11,1	3,2	-4,3	-10,1	3,3
Елабуга	-12,5	-11,5	-4,2	5,3	13,4	17,9	20,0	17,6	11,6	4,0	-3,3	-9,7	4,0
Казань	-11,6	-10,7	-4,2	5,4	13,6	17,8	20,0	17,9	11,8	4,3	-2,9	-8,6	4,4
Томская область													
Томск	-18,1	-15,7	-7,3	1,7	9,6	16,2	18,7	15,4	9,1	1,4	-8,5	-15,2	0,6
Хабаровский край													
Хабаровск	-20,2	-16,0	-6,6	4,6	12,4	18,2	21,4	19,7	13,6	4,9	-7,2	-17,7	2,2
Чеченская Республика													
Грозный	-2,7	-1,8	3,8	11,0	16,7	21,1	24,0	23,1	18,2	10,8	4,6	-0,1	10,7
Ярославская область													
Ярославль	-10,2	-9,1	-3,3	4,7	12,0	16,1	18,4	16,2	10,3	4,0	-2,3	-7,3	4,3

Таблица В3. Среднее месячное и годовое парциальные давления водяного пара наружного воздуха, гПа (Таблица 7.1 СП 131.13330.2020 Строительная климатология)

Республика, край, область, пункт	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Архангельская область													
Архангельск	2,4	2,6	3,5	4,6	6,8	10,2	13,6	12,5	9,4	6,4	4,3	3,2	6,6
Котлас	2,3	2,5	3,6	5,2	7,8	11,7	14,8	13,2	9,6	6,3	4,2	2,9	7,0
Астраханская область													
Астрахань	4,0	4,0	5,3	8,1	11,7	15,3	17,4	16,4	12,8	9,1	6,6	4,9	9,6
Республика Башкортостан													
Уфа	2,2	2,2	3,5	6,1	8,8	13,2	15,6	14,0	10,0	6,5	4,2	2,7	7,4
Брянская область													
Брянск	3,4	3,5	4,5	7,0	10,2	13,3	15,3	14,0	10,8	7,7	5,6	4,2	8,3
Вологодская область													
Вологда	2,7	2,8	3,8	5,6	8,4	12,2	14,9	13,6	10,0	6,8	4,6	3,3	7,4
Тотьма	2,5	2,7	3,6	5,3	8,0	11,9	14,7	13,4	9,8	6,5	4,4	3,1	7,2
Забайкальский край													
Чита	0,7	1,0	1,8	3,0	5,0	9,9	13,9	12,7	7,2	3,6	1,8	0,9	5,1
Ивановская область													
Иваново	2,9	2,8	3,8	6,0	9,2	12,8	15,1	13,9	10,3	7,0	4,7	3,5	7,7
Иркутская область													
Жигалово	0,7	1,0	2,1	3,9	6,1	10,9	14,7	13,1	8,0	4,3	2,1	1,0	5,7
Иркутск	1,3	1,35	2,5	4,0	6,4	11,3	15,1	13,7	8,8	5,1	2,9	1,8	6,2
Республика Калмыкия													
Элиста	4,1	4,1	5,5	8,2	10,9	13,6	14,7	13,8	11,3	8,8	6,7	5,0	8,9
Кемеровская область													
Кемерово	1,6	1,7	2,9	4,9	7,2	12,4	15,6	13,5	8,9	5,6	3,2	1,9	6,6
Костромская область													
Кострома	2,9	2,9	3,9	5,9	8,9	12,8	15,4	14,1	10,4	7,1	4,8	3,5	7,7
Шарья	2,5	2,6	3,6	5,5	8,2	12,2	14,9	13,4	9,8	6,6	4,4	3,1	7,3
Красноярский край													
Диксон	0,9	1,2	1,7	3,1	5,8	7,9	8,0	6,3	3,4	1,6	1,2	3,5	0,9

Республика, край, область, пункт	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Дудинка	0,7	0,8	1,2	1,9	3,6	7,2	11,1	10,3	6,9	3,3	1,4	1,0	4,1
Республика Крым													
Феодосия	5,9	5,9	6,9	9,4	13,2	16,7	18,7	18,6	14,9	11,6	8,8	6,9	11,4
Санкт-Петербург	3,7	3,6	4,5	6,0	8,5	12,0	15,1	14,4	11,1	7,9	5,7	4,4	8,1
Липецкая область													
Липецк	3,2	3,2	4,4	6,7	9,6	13,2	15,2	13,7	10,4	7,5	5,4	3,9	8,1
Магаданская область													
Магадан	1,3	1,3	1,8	3,2	5,3	8,5	11,7	11,6	8,1	4,1	2,1	1,4	5,0
Москва	3,3	3,3	4,3	6,6	10,0	13,3	15,7	14,6	10,9	7,5	5,2	3,9	8,2
Новосибирская область													
Новосибирск	1,6	1,7	2,9	5,1	7,3	12,4	15,6	13,4	9,0	5,7	3,3	2,0	6,7
Оренбургская область													
Оренбург	2,2	2,2	3,6	6,4	8,8	12,5	14,2	12,4	9,0	6,4	4,4	2,8	7,1
Пензенская область													
Земетчино	3,0	3,0	4,1	6,9	9,7	13,4	15,6	14,0	10,5	7,4	5,1	3,6	8,0
Пенза	2,9	2,9	4,0	6,6	9,5	13,4	15,6	14,0	10,3	7,2	5,0	3,5	7,9
Псковская область													
Псков	3,8	3,7	4,6	6,4	9,3	12,6	15,0	14,3	11,0	8,0	5,9	4,5	8,3
Ростовская область													
Ростов-на-Дону	4,4	4,4	5,7	8,3	11,9	15,1	16,5	15,2	12,2	9,2	6,8	5,3	9,6
Сахалинская область													
Южно-Курильск	3,3	3,2	4,0	5,7	7,8	10,5	13,9	16,7	14,5	10,0	6,5	4,2	8,4
Свердловская область													
Екатеринбург	1,9	2,1	3,2	5,1	7,3	11,7	14,3	12,8	9,1	5,7	3,5	2,4	6,6
Республика Татарстан													
Бугульма	2,3	2,3	3,4	5,8	8,0	12,3	14,6	12,8	9,3	6,3	4,1	2,8	7,0
Елабуга	2,4	2,4	3,7	6,1	8,8	13,1	15,5	13,9	10,2	6,6	4,4	2,9	7,5
Казань	2,5	2,5	3,7	6,1	8,8	13,0	15,5	13,9	10,3	6,8	4,5	3,1	7,6
Томская область													
Томск	1,5	1,7	2,8	4,6	7,2	12,5	15,8	13,6	9,1	5,5	3,1	2,0	6,6
Хабаровский край													
Хабаровск	1,0	1,3	2,5	4,8	8,4	14,5	19,4	18,3	11,6	5,5	2,6	1,2	7,6
Чеченская Республика													
Грозный	4,7	4,9	6,5	9,4	13,3	16,6	18,5	18,2	14,9	10,7	7,6	5,6	10,9
Ярославская область													
Ярославль	2,9	2,9	3,9	6,1	9,3	13,0	15,3	13,9	10,4	7,1	4,7	3,4	7,7

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ПАРАМЕТРЫ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ

Таблица Г1. Оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата в обслуживаемой зоне (зоне обитания) помещений жилых зданий и общежитий
(СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»)

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая
Холодный	Жилая комната	20-22	18-24	19-20	17-23	45-30	60-30	0,15	0,2
	Жилая комната в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31°С и ниже	21-23	20-24	20-22	19-23	45-30	60-30	0,15	0,2
	Кухня	19-21	18-26	18-20	17-25	НН	НН	0,15	0,2
	Помещения для отдыха и учебных занятий	20-22	18-24	19-21	17-23	45-30	60-30	0,15	0,2
Теплый	Жилая комната	22-25	20-28	22-24	18-27	60-30	65-30	0,2	0,3

Таблица Г2. Оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата в обслуживаемой зоне (зоне обитания) помещений общественных зданий
(СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»)

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая
Холодный	1 категория - помещения, в которых люди в положении лежа или сидя находятся в состоянии покоя и отдыха	20-22	18-24	19-20	17-23	45-30	60-30	0,2	0,3
	2 категория - помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебной	19-21	18-23	18-20	17-22	45-30	60-30	0,2	0,3
	3а категория - помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя, без уличной одежды	20-21	19-23	19-20	19-22	45-30	60-30	0,2	0,3

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая
	3б категория - помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя в уличной одежде	14-16	12-17	13-15	13-16	45-30	60-30	0,3	0,5
	3в категория - помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении стоя без уличной одежды	18-20	16-22	17-20	15-21	45-30	60-30	0,2	0,3
	4 категория - помещения для занятий подвижными видами спорта	17-19	15-21	16-18	14-20	45-30	60-30	0,2	0,3
	5 категория - помещения, в которых люди находятся в полураздетом виде (раздевалки)	20-22	20-24	19-21	19-23	45-30	60-30	0,15	0,2
	6 категория - помещения с временным пребыванием людей (вестибюли, гардеробные, коридоры, лестницы, санузлы, курительные, кладовые)	16-18	не ниже 14	15-17	-	НН	НН	НН	НН
	Ванные, душевые	24-26	18-28	23-25	17-27	НН	НН	0,15	0,2
Теплый	Помещения с постоянным пребыванием людей, в которых люди находятся не менее 2 ч непрерывно или 6 ч суммарно в течение суток	23-25	18-28	22-24	19-27	60-30	65-30	0,15	0,25

Таблица Г3. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне детских дошкольных учреждений (ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»)

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая
Холодный	Групповая раздевальная и туалет: для ясельных и младших групп	21-23	20-24	20-22	19-23	45-30	60	0,1	0,15
		19-21	18-25	18-20	17-24	45-30	60	0,1	0,15
	Спальня: для ясельных и младших групп	20-22	19-23	19-21	18-22	45-30	60	0,1	0,15
		19-21	18-23	18-22	17-22	45-30	60	0,1	0,15
	Вестибюль, лестничная клетка	18-20	16-22	17-19	15-21	НН	НН	НН	НН
Теплый	Групповые спальни	23-25	18-28	22-24	19-27	60-30	65	0,15	0,25

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. РАСЧЕТНЫЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

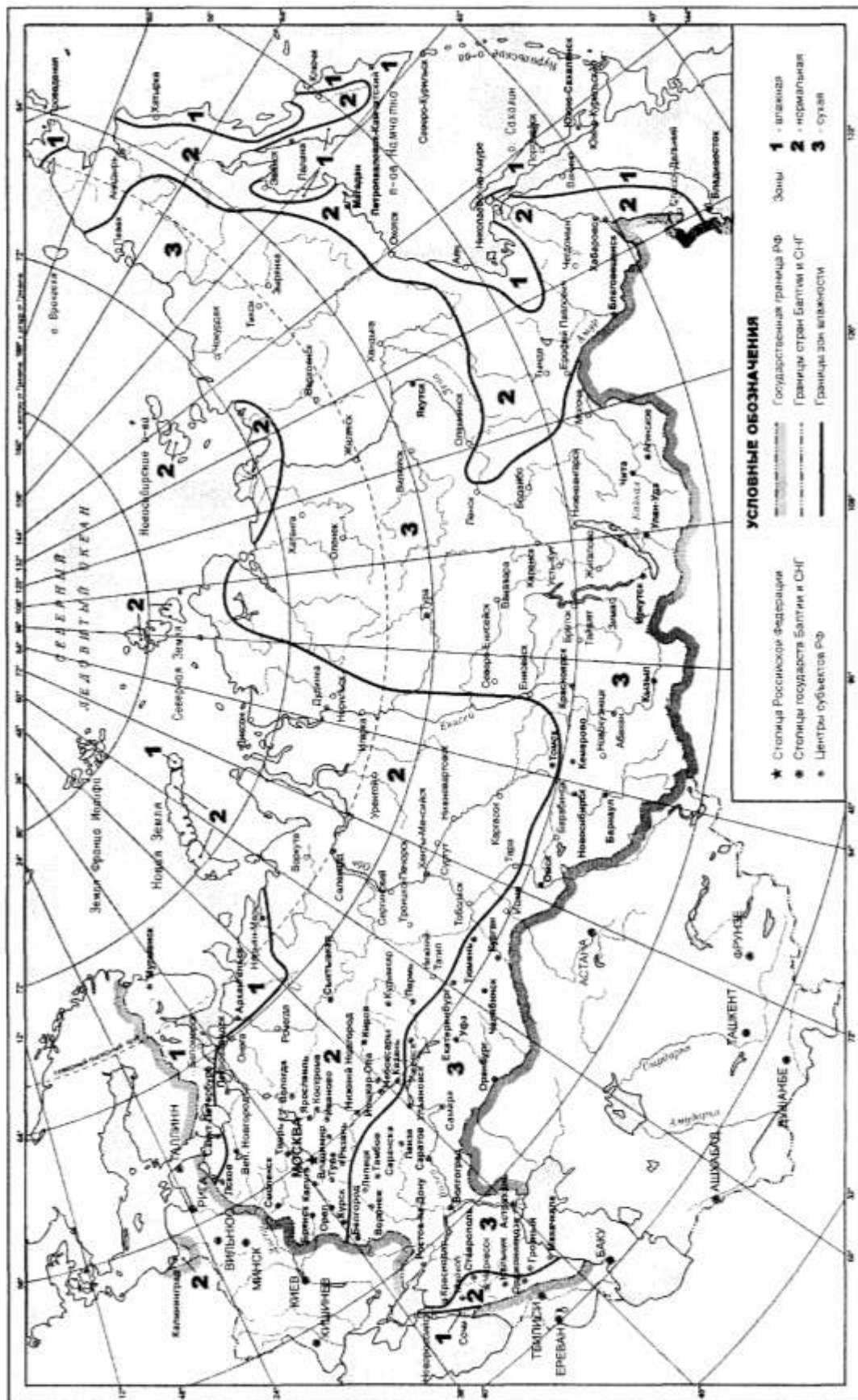
Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии		Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б				
	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·°C)	Теплопроводность, Вт/(м·°C)		Теплоусвоение, Вт/(м ² ·°C)		Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)
			А	Б	А	Б	
Теплоизоляционные материалы							
Плиты из пенополистирола	до 10	0,049	0,052	0,059	0,23	0,28	0,05
	10-12	0,041	0,044	0,050	0,23	0,28	0,05
	17-20	0,037	0,040	0,046	0,29	0,34	0,05
	20-25	0,036	0,038	0,044	0,31	0,38	0,05
	30-35	0,037	0,040	0,046	0,38	0,45	0,05
Экструдированный пенополистирол	25-33	0,029	0,030	0,031	0,30	0,31	0,005
	35-45	0,030	0,031	0,032	0,35	0,36	0,005
Перлитопластбетон	200	0,041	0,052	0,06	0,93	1,01	0,008
	100	0,035	0,041	0,05	0,58	0,66	0,008
Плиты из минерального каменного волокна	180	0,038	0,045	0,048	0,74	0,81	0,3
	140-175	0,037	0,043	0,046	0,68	0,75	0,31
	80-125	0,036	0,042	0,045	0,53	0,59	0,32

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии		Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б				
	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·°C)	Теплопроводность, Вт/(м·°C)		Теплоусвоение, Вт/(м ² ·°C)		Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)
			А	Б	А	Б	А, Б
	40-60	0,035	0,041	0,044	0,37	0,41	0,35
	25-50	0,036	0,042	0,045	0,31	0,35	0,37
Плиты из стеклянного штапельного волокна	85	0,044	0,046	0,05	0,51	0,57	0,5
	60	0,038	0,04	0,045	0,4	0,45	0,51
	30	0,04	0,042	0,046	0,29	0,32	0,52
	15	0,046	0,049	0,055	0,22	0,25	0,55
Листы гипсовые обшивочные	1050	0,15	0,34	0,36	5,12	5,48	0,075
	800	0,15	0,19	0,21	3,34	3,66	0,075
Конструкционные и конструкционно-теплоизоляционные материалы							
Керамзитобетон на керамзитовом песке	1800	0,66	0,80	0,92	10,5	12,33	0,09
	1400	0,47	0,56	0,65	7,75	9,14	0,098
	1000	0,27	0,33	0,41	5,03	6,13	0,14
	600	0,16	0,2	0,26	3,03	3,78	0,26
Перлитобетон	1200	0,29	0,44	0,5	6,96	8,01	0,15
	800	0,16	0,27	0,33	4,45	5,32	0,26
	600	0,12	0,19	0,23	3,24	3,84	0,3
Полистиролбетон на портландцементе	600	0,145	0,175	0,20	3,07	3,49	0,068
	400	0,105	0,12	0,135	2,07	2,34	0,085
	300	0,085	0,09	0,11	1,55	1,83	0,10
	200	0,065	0,07	0,08	1,12	1,28	0,12
	150	0,055	0,057	0,06	0,87	0,96	0,135
Газо- и пенобетон на цементном вяжущем	1000	0,29	0,38	0,43	5,71	6,49	0,11
	800	0,21	0,33	0,37	4,92	5,63	0,14
	600	0,4	0,22	0,26	3,36	3,91	0,17
	400	0,11	0,14	0,15	2,19	2,42	0,23
Газо- и пенобетон на известняковом вяжущем	1000	0,31	0,48	0,55	6,83	7,98	0,13
	800	0,23	0,39	0,45	6,07	7,03	0,16
	600	0,15	0,28	0,34	5,15	6,11	0,18
	500	0,13	0,22	0,28	4,56	5,55	0,235
Кирпичная кладка из кирпича							
Глиняного обыкновенного на цементно-песчаном растворе	1800	0,56	0,7	0,81	9,2	10,12	0,11
Глиняного обыкновенного на цементно-перлитовом растворе	1600	0,47	0,58	0,7	8,08	9,23	0,15
Силикатного на цементно-песчаном растворе	1800	0,7	0,76	0,87	9,77	10,9	0,11
Керамического пустотного плотностью 1400 кг/м ³ (брутто) на цементно-песчаном растворе	1600	0,47	0,58	0,64	7,91	8,48	0,14
Керамического пустотного плотностью 1000 кг/м ³ (брутто) на цементно-песчаном растворе	1200	0,35	0,47	0,52	6,16	6,62	0,17
Силикатного одиннадцатипустотного на цементно-песчаном растворе	1500	0,64	0,7	0,81	8,59	9,63	0,13

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии		Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б				
	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·°C)	Теплопроводность, Вт/(м·°C)		Теплоусвоение, Вт/(м ² ·°C)		Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)
			А	Б	А	Б	А, Б
Дерево и изделия из него							
Сосна и ель поперек волокон	500	0,09	0,15	0,18	3,87	4,54	0,06
Сосна и ель вдоль волокон	500	0,18	0,29	0,35	5,56	6,33	0,32
Фанера клееная	600	0,12	0,15	0,18	4,22	4,73	0,02
Конструкционные материалы							
Железобетон	2500	1,69	1,92	2,04	17,98	18,95	0,03
Бетон на гравии или щебне из природного камня	2400	1,51	1,74	1,86	16,77	17,88	0,03
Раствор цементно-песчаный	1800	0,58	0,76	0,93	9,6	11,09	0,09
Раствор сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,52	0,7	0,87	8,95	10,42	0,098
Раствор известково-песчаный	1600	0,47	0,7	0,81	8,69	9,76	0,12
Облицовка природным камнем							
Гранит, гнейс и базальт	2800	3,49	3,49	3,49	25,04	25,24	0,008
Мрамор	2800	2,91	2,91	2,91	22,86	22,86	0,008
Известняк	2000	0,93	1,16	1,28	12,77	13,7	0,06
	1400	0,49	0,56	0,58	7,42	7,72	0,11
Металлы и стекло							
Сталь стержневая арматурная	7850	58	58	58	126,5	126,5	0
Чугун	7200	50	50	50	112,5	112,5	0
Алюминий	2600	221	221	221	187,6	187,6	0
Медь	8500	407	407	407	326	326	0
Стекло оконное	2500	0,76	0,76	0,76	10,79	10,79	0

ПРИЛОЖЕНИЕ Е. КАРТА ЗОН ВЛАЖНОСТИ

КАРТА ЗОН ВЛАЖНОСТИ



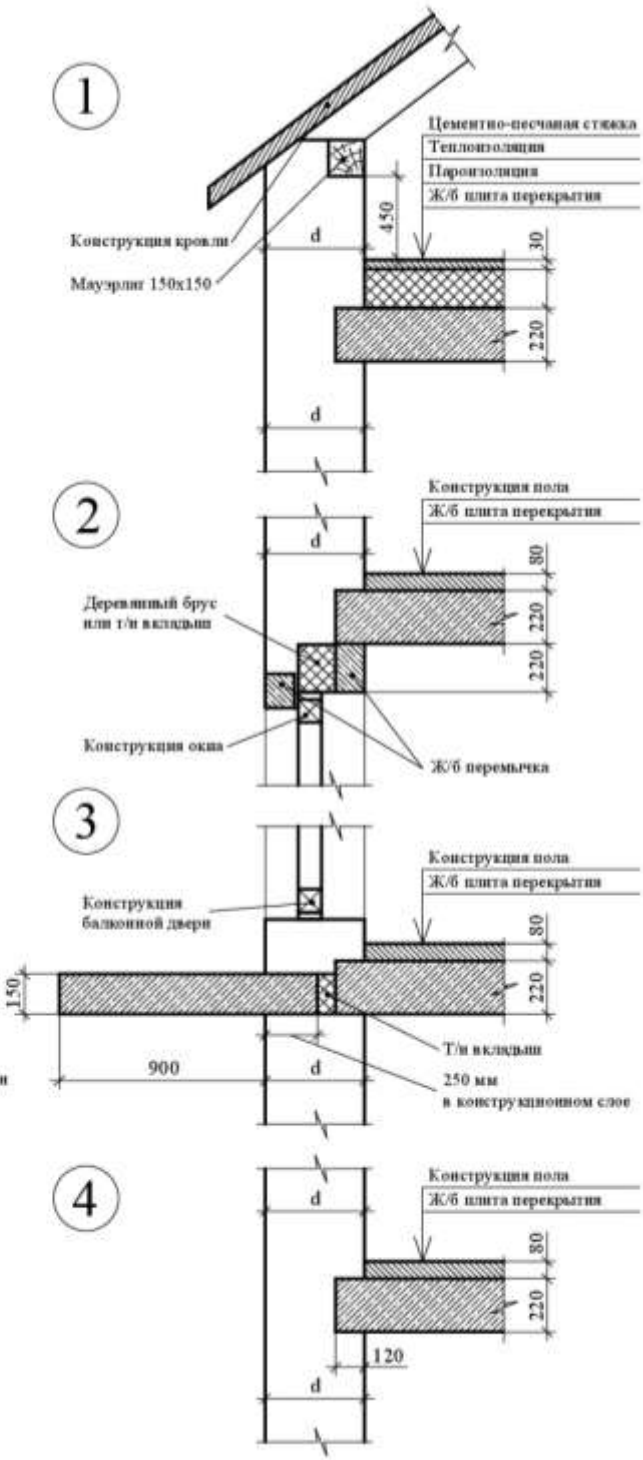
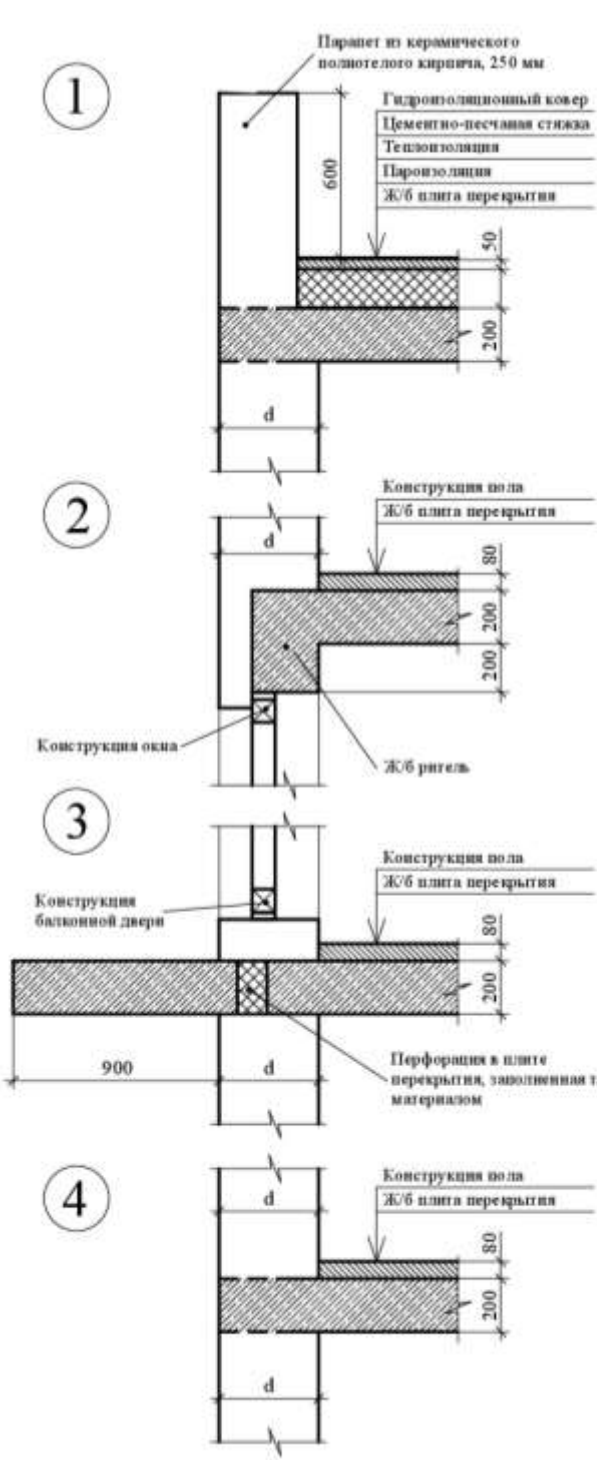
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. ТЕМПЕРАТУРА ТОЧКИ РОСЫ

t _в , °C	t _р , °C, при φ _в , %											
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
-5	-15,3	-14,04	-12,9	-11,84	-10,83	-9,96	-9,11	-8,31	-7,62	-6,89	-6,24	-5,6
-4	-14,4	-13,1	-11,93	-10,84	-9,89	-8,99	-8,11	-7,34	-6,62	-5,89	-5,24	-4,6
-3	-13,42	-12,16	-10,98	-9,91	-8,95	-7,99	-7,16	-6,37	-5,62	-4,9	-4,24	-3,6
-2	-12,58	-11,22	-10,04	-8,98	-7,95	-7,04	-6,21	-5,4	-4,62	-3,9	-3,34	-2,6
-1	-11,61	-10,28	-9,1	-7,98	-7,0	-6,09	-5,21	-4,43	-3,66	-2,94	-2,34	-1,6
0	-10,65	-9,34	-8,16	-7,05	-6,06	-5,14	-4,26	-3,46	-2,7	-1,96	-1,34	-0,62
1	-9,85	-8,52	-7,32	-6,22	-5,21	-4,26	-3,4	-2,58	-1,82	-1,08	-0,41	0,31
2	-9,07	-7,72	-6,52	-5,39	-4,38	-3,44	-2,56	-1,74	-0,97	-0,24	0,52	1,29
3	-8,22	-6,88	-5,66	-4,53	-3,52	-2,57	-1,69	-0,88	-0,08	0,74	1,52	2,29
4	-7,45	-6,07	-4,84	-3,74	-2,7	-1,75	-0,87	-0,01	0,87	1,72	2,5	3,26
5	-6,66	-5,26	-4,03	-2,91	-1,87	-0,92	-0,01	0,94	1,83	2,68	3,49	4,26
6	-5,81	-4,45	-3,22	-2,08	-1,04	-0,08	0,94	1,89	2,8	3,68	4,48	5,25
7	-5,01	-3,64	-2,39	-1,25	-0,21	0,87	1,9	2,85	3,77	4,66	5,47	6,25
8	-4,21	-2,83	-1,56	-0,42	-0,72	1,82	2,86	3,85	4,77	5,64	6,46	7,24
9	-3,41	-2,02	-0,78	0,46	1,66	2,77	3,82	4,81	5,74	6,62	7,45	8,24
10	-2,62	-1,22	0,08	1,39	2,6	3,72	4,78	5,77	6,71	7,6	8,44	9,23
11	-1,83	-0,42	0,98	1,32	3,54	4,68	5,74	6,74	7,68	8,58	9,43	10,23
12	-1,04	0,44	1,9	3,25	4,48	5,63	6,7	7,71	8,65	9,56	10,42	11,22
13	-0,25	1,35	2,82	4,18	5,42	6,58	7,66	8,68	9,62	10,54	11,41	12,21
14	0,63	2,26	3,76	5,11	6,36	7,53	8,62	9,64	10,59	11,52	12,4	13,21
15	1,51	3,17	4,68	6,04	7,3	8,48	9,58	10,6	11,59	12,5	13,38	14,21
16	2,41	4,08	5,6	6,97	8,24	9,43	10,54	11,57	12,56	13,48	14,36	15,2
17	3,31	4,99	6,52	7,9	9,18	10,37	11,5	12,54	13,53	14,46	15,36	16,19
18	4,2	5,9	7,44	8,83	10,12	11,32	12,46	13,51	14,5	15,44	16,34	17,19
19	5,09	6,81	8,36	9,76	11,06	12,27	13,42	14,48	15,47	16,42	17,32	18,19
20	6,0	7,72	9,28	10,69	12,0	13,22	14,38	15,44	16,44	17,4	18,32	19,18
21	6,9	8,62	10,2	11,62	12,94	14,17	15,33	16,4	17,41	18,38	19,3	20,18
22	7,69	9,52	11,12	12,56	13,88	15,12	16,28	17,37	18,38	19,36	20,3	21,6
23	8,68	10,43	12,03	13,48	14,82	16,07	17,23	18,34	19,38	20,34	21,28	22,15
24	9,57	11,34	12,94	14,41	15,76	17,02	18,19	19,3	20,35	21,32	22,26	23,15
25	10,46	12,75	13,86	15,34	16,7	17,97	19,15	20,26	21,32	22,3	23,24	24,14
26	11,35	13,15	14,78	16,27	17,64	18,95	20,11	21,22	22,29	23,28	24,22	25,14
27	12,24	14,05	15,7	17,19	18,57	19,87	21,06	22,18	23,26	24,26	25,22	26,13
28	13,13	14,95	16,61	18,11	19,5	20,81	22,01	23,14	24,23	25,24	26,2	27,12
29	14,02	15,86	17,52	19,04	20,44	21,75	22,96	24,11	25,2	26,22	27,2	28,12
30	14,92	16,77	18,44	19,97	21,38	22,69	23,92	25,08	26,17	27,2	28,18	29,11
31	15,82	17,68	19,36	20,9	22,32	23,64	24,88	26,04	27,14	28,08	29,16	30,1
32	16,71	18,58	20,27	21,83	23,26	24,59	25,83	27,0	28,11	29,16	30,16	31,19
33	17,6	19,48	21,18	22,76	24,2	25,54	26,78	27,97	29,08	30,14	31,14	32,19
34	18,49	20,38	22,1	23,68	25,14	26,49	27,74	28,94	30,05	31,12	32,12	33,08
35	19,38	21,28	23,02	24,6	26,08	27,64	28,7	29,91	31,02	32,1	33,12	34,08

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. УЗЛЫ ДЛЯ ДЕТАЛЬНОЙ ПРОРАБОТКИ

Каркасная
конструктивная система

Бескаркасная
конструктивная система



ЛИТЕРАТУРА

Учебная и научная литература

1. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика. Пер. с нем.— Москва: Техносфера, 2004.— 480 с.
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп.— Москва: Высшая школа, 1982.— 415 с.
3. Ильинский В.М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий): Учебное пособие.— Москва: Высшая школа, 1974.— 320 с.
4. Рахимов Р.З., Шелихов Н.С. Современные теплоизоляционные материалы: Учебное пособие.— Казань: КГАСУ, 2006. — 392 с.
5. Соловьев А.К. Физика среды: Учебник.— Москва: Изд-во АСВ, 2008.— 344 с.
6. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. 4-е, перераб. и доп.— Москва: Стройиздат, 1973.— 287 с.

Нормативная и справочная литература

7. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий
8. СП 131.13330.2020. Строительная климатология
9. СП 345.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты
10. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях
11. ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия
12. ГОСТ 9573-2012. Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем теплоизоляционные. Технические условия
13. ГОСТ 15588-2014. Плиты пенополистирольные теплоизоляционные. Технические условия
14. ГОСТ Р 56707-2015. Системы фасадные теплоизоляционные композиционные с наружными штукатурными слоями. Общие технические условия
15. Руководство по проектированию навесной фасадной системы «ЛИДЕР»
16. Альбом технических решений по устройству системы слоистой кладки с теплоизоляционным слоем из каменной ваты. ООО «ТехноНИКОЛЬ-СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ».— Москва, 2020
17. Альбом технических решений по устройству системы навесного вентилируемого фасада с теплоизоляционным слоем из каменной ваты. ООО «ТехноНИКОЛЬ-СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ».— Москва, 2020
18. Стандарт организации СТО 72746455-4.4.1.1-2020. Система фасадная наружного утепления зданий с отделочным слоем тонкослойной

- штукатурки ТН-ФАСАД ДЕКОР. Техническое описание. Требования к проектированию, материалам, изделиям и конструкциям.— Москва, 2020
19. Стандарт организации СТО 72746455-4.4.1.3–2020. Система фасадная наружного утепления зданий навесная с воздушным зазором ТН-ФАСАД ВЕНТ. Изоляционные системы ТЕХНОНИКОЛЬ. Техническое описание. Требования к проектированию, материалам, изделиям и конструкциям.— Москва, 2020
20. Стандарт организации СТО 72746455-4.4.1.4–2020. Система фасадная наружного утепления зданий с лицевой кладкой ТН-ФАСАД СТАНДАРТ. Изоляционные системы ТЕХНОНИКОЛЬ. Техническое описание. Требования к проектированию, материалам, изделиям и конструкциям.— Москва, 2020

Иванцов Алексей Игоревич
Петров Артем Сергеевич
Куприянов Валерий Николаевич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОЙ ЗАЩИТЫ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Учебно-методическое пособие
для студентов, обучающихся по направлениям подготовки
07.03.01 «Архитектура» и 08.03.01 «Строительство»,
дисциплинам «Архитектурная физика» и «Физика среды и ограждающих
конструкций», а также по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных
зданий и сооружений», дисциплина «Строительная физика»

Дизайн обложки: Иванцов А.И.