

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тихоокеанский государственный университет»

П. П. Осипов, Н. Л. Тишков

**ЭЛЕМЕНТЫ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ЗДАНИЙ:
ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

*Утверждено издательско-библиотечным советом университета
в качестве учебного пособия*

Хабаровск
Издательство ТОГУ
2021

УДК 697.1(075.8)

ББК Н.я7 + Н307.6-022я7 + ч480.281.25я7

О741

Рецензенты:

Кандидат технических наук, директор ООО «Е. Осетров и Партнеры»
Е. П. Осетров; кандидат технических наук, директор ООО Инженерно-консультационная фирма «АЛЬТЕРНАТИВА» О. И. Анцыгин

Научный редактор

Доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ТОГУ А. Д. Ловцов

Осипов, П. П.

О741 Элементы теплозащитной оболочки зданий: основы расчета и проектирования : учеб. пособие / П. П. Осипов, Н. Л. Тишков ; [научный редактор А. Д. Ловцов] ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тихоокеанский государственный университет. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2021. – 75, [1] с.

ISBN 978-5-7389-3432-2

Пособие разработано на кафедре промышленного и гражданского строительства (ПГС) для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» и по направлению подготовки 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Подробно изложены основы расчета и проектирования элементов теплозащитной оболочки зданий: наружных ограждений, отдельных фрагментов и элементов, приведены рекомендации по их конструированию. В приложениях даётся подробный пример расчета, который может быть использован при выполнении курсового проекта по дисциплине «Архитектура промышленных и гражданских зданий» и архитектурно-строительной части ВКР.

УДК 697.1(075.8)

ББК Н.я7 + Н307.6-022я7 + ч480.281.25я7

ISBN 978-5-7389-3432-2

© Тихоокеанский государственный университет, 2021
© Осипов П. П., Тишков Н. Л., 2021

ВВЕДЕНИЕ

Теплозащитной оболочкой здания называют совокупность ограждающих конструкций, таких как наружные стены, светопрозрачные конструкции, покрытия, стены подвалов, полы по грунту и т.п. Ограждающие конструкции как составляющий элемент теплозащитной оболочки не только защищают внутренние помещения от наружной среды, но и обмениваются с ним теплотой и влагой, пропускают воздух сквозь себя как внутрь, так и наружу. В современном строительстве в целях экономии строительных материалов и тепловой энергии широко применяют эффективные утеплители, которые позволили уменьшить толщину стен. Однако при этом усложняется конструкция ограждений, они становятся многослойными, появились различные связи между слоями, сложные примыкания одного ограждения к другому, что привело к возникновению ряда особенностей, которые должны быть учтены в процессе конструирования и расчета.

Пособие включает основы расчетов, которые позволяют обоснованно принимать толщину утеплителя в составе ограждающих конструкций с последующей защитой от переувлажнения в процессе эксплуатации.

Настоящее пособие разработано с целью помощи студентам в курсовом проектировании по дисциплине «Архитектура промышленных и гражданских зданий», разработке архитектурно-строительной части в составе выпускной квалификационной работы (ВКР), а также в приобретении практических навыков в области расчета и конструирования наружных ограждающих конструкций.

Пособие содержит основные рекомендации по расчету и проектированию, конструированию, теплотехническому расчету, расчету на паропроницание, по защите от переувлажнения наружных ограждающих конструкций, а также необходимый справочный материал и примеры решения основных наиболее сложных вопросов.

В работе приведены подробные примеры расчета в соответствии с требованиями СП 50.13330.2012 (актуализированной редакции СНиП 23-02-2003).

1. СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1. Общие положения

Цель данного учебного пособия – научить студентов самостоятельно выполнять теплотехнические расчеты ограждающих конструкций, отдельных фрагментов и элементов с составлением инженерного отчета в виде пояснительной записки.

Проект наружного ограждения и теплотехнические расчеты должны быть выполнены в соответствии с требованиями СП 50.13330.2012 актуализированной редакции СНиП 23-02-2003. В инженерно-проектной практике указанные расчеты выполняются на стадиях предпроектной и проектной документации в составе разделов «КР» (конструктивные решения) и «ЭНЭФ» (энергоэффективность).

1.2. Содержание проекта ограждающей конструкции

Проект ограждающей конструкции должен содержать пояснительную записку с теплотехническими расчетами, детальные чертежи наружных ограждающих конструкций, заключение о соответствии проекта требованиям действующих норм и рекомендации по мероприятиям, направленным на достижение к соответствию нормам в случае необходимости доработки конструкции ограждений.

Пояснительная записка должна содержать:

1. Исходные данные для теплотехнического и расчета на паропроницание, включающие в себя:

- а) общую характеристику здания;
- б) природно-климатические характеристики района строительства;
- в) температурно-влажностный режим здания;
- г) фасад, план типового этажа, разрез здания;

2. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций:

а) определение уровня тепловой защиты для элементов ограждающих конструкций по нормируемым значениям сопротивления теплопередаче

элементов ограждающих конструкций зданий;

б) проектирование ограждающей конструкции (фрагмента выделенного элемента ограждения);

в) расчет сопротивления теплопередаче элементов ограждающих конструкций, сопоставление результата с нормируемым значением;

г) разработка узлов и деталей конструктивных решений по взаимному расположению и примыканию наружных ограждающих конструкций.

3. Расчет сопротивления паропроницанию ограждающих конструкций:

а) расчет нормируемого значения сопротивления паропроницанию;

б) расчет фактического значения сопротивления паропроницанию элемента ограждающей конструкции сопоставление результата с нормируемым значением;

4. Заключение о соответствии нормативным требованиям и рекомендации по мероприятиям направленных на достижение к соответствию нормам в случае необходимости доработки конструкции ограждений.

2. ПОРЯДОК И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

2.1. Сбор исходных данных

2.1.1. Общая характеристика здания

Примерный перечень приводимых сведений:

а) объёмо-планировочные решения – основные размеры здания, количество этажей, компоновочная схема здания (в случае разделения на отдельные блоки или секции), высота типового и технических этажей, высота надземной и подземной частей здания;

б) функциональные назначения помещений;

в) конструктивные решения: конструктивно-технологическая схема возводимого здания, тип фундаментов, характеристика наружных и внутренних ограждающих конструкций, характеристика элементов заполнения проемов, основные сведения по отделке помещений;

г) технико-экономические показатели – площадь застройки, общая площадь здания, строительный объём, проектная мощность при наличии сведений);

д) дополнительные сведения: особенности и отличия (применение инновационных проектных решений и технологий, уникальность и пр.)

2.1.2. Природно-климатические характеристики района строительства

Сбор данных осуществляется по СП50.13330.2012, СП131.13330.2018, как правило, составляются в табличной форме со ссылкой на источник. Рекомендуемый перечень приводимых сведений:

- место строительства;
- климатический район и подрайон строительства;
- зона влажности района;
- средняя температура наружного воздуха по месяцам;
- среднее значение парциального давления водяного пара наружного воздуха по месяцам;
- температура воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,98 и 0,92;
- продолжительность и средняя температура воздуха отопительного периода.

2.1.3. Температурно-влажностный режим здания

В данном пункте приводятся сведения о параметрах внутренней среды:

- температура внутреннего воздуха t_v , °C;
- относительная влажность внутри здания φ , %;
- температура точки росы внутри здания t_p , °C, %;
- условия эксплуатации элементов ограждающих конструкций (А и Б);

Сбор данных производится, используя нормативную и справочную литературу, составляется в табличной форме со ссылкой на источник.

В ГОСТ 30494-2011* приведены расчетные значения параметров внутреннего микроклимата жилых и общественных зданий в оптимальных для пребывания человека и в допустимых диапазонах. Для жилых зданий и зданий детских дошкольных учреждений эти данные выделены в самостоятельные таблицы. Помещения общественных зданий разделены на 6 категорий.

При определении теплозащиты общественных зданий следует определить категорию основных функциональных помещений здания. Например, в административном здании основными являются кабинеты и рабочие комнаты, в школе – классы. Иногда одно здание делится на отдельные функциональные зоны, для которых принимаются свои расчетные параметры.

В теплотехнических расчетах сопротивления теплопередаче элементов ограждений жилых и общественных зданий за расчетную температуру внутреннего воздуха t_v принимается минимальное значение оптимальной температуры.

Расчетную относительную влажность внутреннего воздуха ϕ_v в теплотехнических расчетах принимают для исключения выпадения конденсата в местах теплопроводных включений элементов ограждающих конструкций, в углах и оконных откосах, откосах зенитных фонарей. Эта относительная влажность несколько завышена по отношению к поддерживаемой для комфортного пребывания людей, так как выбирается максимально возможной в расчетном помещении.

Расчетная температура воздуха внутри жилых и общественных зданий t_v для холодного периода года должна быть не ниже минимальных значений оптимальных температур, приведенных в табл. 1 согласно ГОСТ 30494-2011* и СанПиН 2.1.2.2645-10. Для остальных зданий, не указанных в табл. 1, параметры воздуха следует принимать по минимальным значениям оптимальной температуры по ГОСТ 30494-2011* / ГОСТ 12.1.005-88* и нормам проектирования соответствующих зданий СанПиН 2.1.2.2645, ГОСТ 12.1.005 и СанПиН 2.2.4.548, СП 60.13330.

Таблица 1

Оптимальная температура и допустимая относительная влажность воздуха внутри здания для холодного периода года

Тип здания	Температура воздуха внутри здания t_v , °C	Относительная влажность внутри здания φ , %, не более
Жилые	20-22	55
Поликлиники и лечебные учреждения	21-22	55
Дошкольные учреждения	22-23	55

Примечания:

1. Для зданий, не указанных в таблице, температуру воздуха t_v относительную влажность воздуха φ внутри зданий и соответствующую им температуру точки росы следует принимать по прил. 1.

2. Параметры микроклимата специальных общеобразовательных школ-интернатов, детских дошкольных и оздоровительных учреждений следует принимать в соответствии с действующими санитарными правилами и нормами Министерства здравоохранения.

В зависимости от сочетания расчетной температуры и расчетной относительной влажности внутреннего воздуха, влажностный режим помещений режим следует принимать по табл. 2.

Таблица 2

Влажностный режим помещений зданий

Режим	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °C		
	до 12	св. 12 до 24	св. 24
Сухой	До 60	До 50	До 40
Нормальный	Св. 60 до 75	Св. 50 до 60	Св. 40 до 50
Влажный	Св. 75	» 60 » 75	» 50 » 60
Мокрый	-	Св. 75	Св. 60

Примечание: источник СП 50.13330.2012, табл. 1.

Например, при температуре внутреннего воздуха от 12 до 24 °C, то есть для диапазона температур, охватывающего большинство жилых и общественных помещений, влажностный режим считается сухим при относительной влажности 50 % и ниже, то есть сюда попадают административные помещения и другие без скопления людей. При относительной влажности свыше 50 и до 60 % – нормальным, к этой категории относятся все помещения, перечисленные в предыдущем абзаце,

для которых нормируется влажность 55 и 60 %. Помещения с относительной влажностью свыше 60 и до 75 % считаются влажными, а свыше 75 % – мокрыми, к последним относятся производственные помещения с мокрым режимом.

Температура внутренних поверхностей элементов наружных ограждений здания $t_{в}$. При наличии теплопроводных включений (диафрагмы, сквозные включения цементно-песчаного раствора или бетона, межпанельные стыки, жесткие соединения и гибкие связи в многослойных панелях, оконные обрамления и т.д.), а также в углах и на оконных откосах $t_{в}$ не должна быть ниже, чем температура точки росы воздуха внутри здания t_p при расчетной относительной влажности ϕ и расчетной температуре $t_{в}$ внутреннего воздуха. Температуру точки росы принимать по табл. 3 или по прил. 1.

Определение условий эксплуатации А или Б ограждающих конструкций в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности района строительства для выбора теплотехнических показателей материалов наружных ограждений следует устанавливать по табл. 4. Зоны влажности территории России следует принимать по картам зон влажности (см. прил. 2).

Таблица 3

**Температура точки росы воздуха внутри
здания для холодного периода года**

№ п.п.	Тип здания	Температура точки росы t_p , °С
1	Жилые, школьные и другие общественные здания (кроме приведенных в 2 и 3)	10,7
2	Поликлиники и лечебные учреждения	11,6
3	Дошкольные учреждения	12,6

Таблица 4

Условия эксплуатации элементов ограждающих конструкций

Влажностный режим помещений зданий (по табл. 2)	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

Примечание: Источник СП 50.13330.2012, табл. 2.

2.1.4. Фасад, план типового этажа, разрез здания

Графическая часть приводится в четкой и лаконичной форме, без чрезмерной детализации, в составе и объеме, достаточном для обоснования проектных решений по конструкции наружных ограждений. Компоновка и оформление чертежей следует выполнять с соблюдением общих принципов инженерно-строительного черчения. Объемы приводимого графического материала должны включать в себя:

а) фасады, достаточно графического изображения главного фасада с главной входной группой, рекомендуется выполнять в цветовом решении с указанием относительных высотных отметок, условных обозначений отделки фасадов, выполняется в масштабе 1:100, для уникальных объектов, такие как зрелищные, спортивные, культовые сооружения имеющих значительную высоту или ширину допускается выполнять в масштабе 1:200;

б) планы этажей (уровней) зданий должны содержать информацию о назначении помещений (можно представить в виде маркировки и экспликации, допускается подписывать наименование помещений непосредственно на чертеже, экспликация в данном случае не требуется), их площадей, размерах, отметках уровня чистого пола, масштабы принимать 1:100 или 1:200 (для уникальных объектов);

в) разрезы зданий и сооружений выполнять с отображением подземной части, несущих и ограждающих конструкций, указанием относительных высотных отметок уровней конструкций, полов, низа главных балок, ферм, покрытий, описанием состава многослойных конструкций, выполняется также в масштабе 1:100, для уникальных объектов допускается выполнять в масштабе 1:200.

Рекомендации касаются подачи графического материала и оформлению чертежей подробно изложены в справочнике по инженерно-строительному черчению под редакцией Н. Л. Рускевича [3]. В качестве наглядных образцов инженерной графики рекомендуются учебные пособия под редакцией И. А. Шерешевского [8], [9], [10].

Пример оформления графической части приведен в прил. 3.

2.2. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций, отдельных фрагментов и элементов

2.2.1. Определение нормируемого уровня тепловой защиты

Показатели тепловой защиты. В СП 50.13330.2012 установлены три обязательных взаимно увязанных нормируемых показателя по тепловой защите здания, основанных на следующем:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций (или их элементов) 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 «а», «б» и «в».

2.2.2. Поэлементные требования

Сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций (параметр «а»). Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции $R_0^{\text{норм}}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, определяется по формуле

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тп}} \cdot m_p, \quad (1)$$

где $R_0^{\text{тп}}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода, (ГСОП), $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$, региона строительства и определять по табл. 5; m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, принимается равным 1.

Смысл коэффициента m_p – потенциальное снижение требований к отдельным ограждающим конструкциям (по приведенному сопротивлению

теплопередаче) при условии выполнения требований к удельной характеристике расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, т.е. являются заделом для оптимизации теплозащитной оболочки (в части материала или толщины слоя утеплителя). Предельные минимальные значения коэффициента должны быть не менее: 0,63 - для стен, 0,95 - для светопрозрачных конструкций, 0,8 - для остальных ограждающих конструкций.

Таблица 5

Нормируемые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Здания и помещения, коэффициенты a и b	Градусо-сутки отопительного периода, °С·сут	Нормируемые значения сопротивления теплопередаче $R_{0}^{тр}$, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, ограждающих конструкций				
		стен	покрытий и перекрытий над проездами	перекрытий чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами	Окон и балконных дверей, витрин и витражей	Фонарей с вертикальным остеклением
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты, гостиницы и общежития	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, производственные и другие здания и помещения с влажным или мокрым режимом	2000	1,8	2,4	2,0	0,3	0,3
	4000	2,4	3,2	2,7	0,4	0,35
	6000	3,0	4,0	3,4	0,5	0,4
	8000	3,6	4,8	4,1	0,6	0,45
	10000	4,2	5,6	4,8	0,7	0,5
	12000	4,8	6,4	5,5	0,8	0,55
a	-	0,0003	0,0004	0,00035	0,00005	0,000025
b	-	1,2	1,6	1,3	0,2	0,25
3. Производственные с сухим и нормальным режимами	2000	1,4	2,0	1,4	0,25	0,2
	4000	1,8	2,5	1,8	0,3	0,25
	6000	2,2	3,0	2,2	0,35	0,3
	8000	2,6	3,5	2,6	0,4	0,35
	10000	3,0	4,0	3,0	0,45	0,4
	12000	3,4	4,5	3,4	0,5	0,45
a	-	0,0002	0,00025	0,0002	0,000025	0,000025
b	-	1,0	1,5	1,0	0,2	0,15

Примечание: Источник СП 50.13330.2012, табл. 3.

Градусо-сутки отопительного периода ГСОП, °С·сут, определяют по формуле

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) z_{\text{от}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С; $t_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха, °С, $z_{\text{от}}$ – продолжительность, сут, отопительного периода, принимаемые для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 10°С – при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых и не более 8 °С – в остальных случаях.

Значения $R_0^{\text{тр}}$ для величин ГСОП, отличающихся от табличных, следует определять интерполяцией или по формуле

$$R_0^{\text{тр}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (3)$$

где a , b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным табл. 5.

В случаях реконструкции зданий, для которых по архитектурным или историческим причинам невозможно утепление стен снаружи, нормируемое значение сопротивления теплопередаче стен допускается определять по формуле

$$R_0^{\text{тр}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\Delta t_{\text{н}} \alpha_{\text{в}}}, \quad (4)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт /м² ·°С, принимаемый по табл. 5; $\Delta t_{\text{н}}$ – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха $t_{\text{в}}$ и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции $t_{\text{н}}$, °С, принимаемый по табл. 7.

Таблица 6

Коэффициент 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

Примечание: Источник СП 50.13330.2012, табл. 6.

Таблица 7

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

Здания и помещения	Нормируемый температурный перепад $\Delta t_{н}$, °С, 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	$t_{в} - t_{р}$
2. Общественные, кроме указанных в поз. 1, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	4,5	4,0	2,5	$t_{в} - t_{р}$
3. Производственные с сухим и нормальным режимами	$t_{в} - t_{р}$ но не более 7	0,8 ($t_{в} - t_{р}$), но не более 6	2,5	$t_{в} - t_{р}$
4. Производственные и другие помещения с влажным или мокрым режимом	$t_{в} - t_{р}$	0,8 ($t_{в} - t_{р}$)	2,5	-
5. Производственные здания со значительными избытками явной теплоты (более 23 Вт/м ³) и расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха более 50 %	12	12	2,5	$t_{в} - t_{р}$

Примечание: Источник СП 50.13330.2012, табл. 5.

2.2.2. Проектирование ограждающей конструкции отдельных фрагментов и элементов, обеспечивающих необходимую тепловую защиту зданий

Ограждающие конструкции должны быть запроектированы таким образом, чтобы их приведенное сопротивление теплопередаче $R_0^{\text{пр}}$ было не меньше нормируемого значения $R_0^{\text{тр}}$.

Рекомендуемые типы технических решений наружных стен и окон, уровни их теплозащиты для основных селитебных и промышленных зон территории РФ приведены в табл. 8.

Таблица 8

Уровни теплозащиты рекомендуемых ограждающих конструкций наружных стен

Материал стены		Сопротивление теплопередаче ($R_0^{\text{пр}}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$) и область применения (ГСОП, $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$) при конструктивном решении стены			
конструкционный	теплоизоляционный	двух-слойные с наружной теплоизоляцией	трех-слойные с теплоизоляцией посередине	с неветилируемой воздушной прослойкой	с вентилируемой воздушной прослойкой
Кирпичная кладка	Пенополистирол	5,2/10850	4,3/8300	4,5/8850	4,15/7850
	Минеральная вата	4,7/9430	3,9/7150	4,1/7700	3,75/6700
Железобетон (гибкие связи, шпонки)	Пенополистирол	5,0/10300	3,75/6850	4,0/7430	3,6/6300
	Минеральная вата	4,5/8850	3,4/5700	3,6/6300	3,25/5300
Керамзитобетон (гибкие связи, шпонки)	Пенополистирол	5,2/10850	4,0/7300	4,2/8000	3,85/7000
	Минеральная вата	4,7/9430	3,6/6300	3,8/6850	3,45/5850
Дерево (брус)	Пенополистирол	5,7/12280	5,8/12570	-	5,7/12280
	Минеральная вата	5,2/10850	5,3/11140	-	5,2/10850
На деревянном каркасе с тонколистовым и обшивками	Пенополистирол	-	5,8/12570	5,5/11710	5,3/11140
	Минеральная вата	-	5,2/10850	4,9/10000	4,7/9430
Металлические обшивки (сэндвич)	Пенополиуретан	-	5,1/10570	-	-
Блоки из ячеистого бетона с кирпичной облицовкой	Ячеистый бетон	2,4/2850	-	2,6/3430	2,25/2430

Примечания:

1. В числителе (перед чертой) - ориентировочные значения приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены, в знаменателе (за чертой) - предельные значения градусо-суток отопительного периода, при которых может быть применена данная конструкция стены.

При проектировании теплозащиты зданий различного назначения рекомендуется применять типовые технические решения, со стабильными теплоизоляционными свойствами, достигаемыми применением эффективных теплоизоляционных материалов с минимумом теплопроводных включений и стыковых соединений в сочетании с надежной гидроизоляцией, не допускающей проникновения влаги в жидкой фазе и максимально сокращающей проникновение водяных паров в толщу теплоизоляции.

Взаимное расположение отдельных слоев ограждающих конструкций должно способствовать высыханию конструкций и исключать возможность накопления влаги в ограждении в процессе эксплуатации. Ограждающие конструкции должны обладать необходимой прочностью, жесткостью, устойчивостью, долговечностью, удовлетворять общим архитектурным, эксплуатационным, санитарно-гигиеническим требованиям и должны предусматриваться с минимальным количеством типоразмеров изделий и возможностью взаимозаменяемости применяемых элементов.

Для обеспечения лучших эксплуатационных характеристик в многослойных конструкциях зданий с теплой стороны следует располагать слои большей теплопроводности и с большим сопротивлением паропрооницанию, чем наружные слои.

С теплотехнической точки зрения различают три вида наружных стен по числу основных слоев: однослойные, двухслойные и трехслойные.

Однослойные стены выполняют из конструкционно-теплоизоляционных материалов и изделий, совмещающих несущие и теплозащитные функции.

В двухслойных стенах предпочтительно расположение утеплителя снаружи. Используются два варианта наружного утеплителя: системы с наружным покровным слоем без зазора и системы с воздушным зазором между наружным облицовочным слоем и утеплителем.

Не рекомендуется применять теплоизоляцию с внутренней стороны из-за возможного накопления влаги в теплоизоляционном слое, однако в случае необходимости такого применения поверхность со стороны помещения должна иметь сплошной и долговечный пароизоляционный слой.

В трехслойных ограждениях с защитными слоями на точечных (гибких, шпоночных) связях рекомендуется применять утеплитель из минеральной ваты, стекловаты или пенополистирола с толщиной, устанавливаемой по расчету с учетом теплопроводных включений от связей. В этих ограждениях соотношение толщин наружных и внутренних слоев должно быть не менее 1:1,25 при минимальной толщине наружного слоя 50 мм.

При проектировании стен из кирпича и других мелкоштучных материалов следует максимально применять облегченные конструкции в сочетании с плитами из эффективных теплоизоляционных материалов.

Стены зданий из кирпича и керамических камней, за исключением стен с воздушными прослойками, а также стены, облицованные кирпичом, рекомендуется проектировать, как правило, с расшивкой швов кладки по фасаду.

При применении камней из пористой керамики рекомендуется предусматривать облицовочный слой из кирпича с анкерами из нержавеющей стали или из стеклопластика для связки с основной кладкой.

При проектировании стен с невентилируемыми воздушными прослойками следует руководствоваться следующими рекомендациями:

- размер прослойки по высоте должен быть не более высоты этажа и не более 6 м, размер по толщине - не менее 40 мм (10 мм при устройстве отражательной теплоизоляции);

- воздушные прослойки следует разделять глухими диафрагмами из негорючих материалов на участки размером не более 3 м;

- воздушные прослойки рекомендуется располагать ближе к холодной стороне ограждения.

При проектировании стен с вентилируемой воздушной прослойкой (стены с вентилируемым фасадом) следует руководствоваться следующими рекомендациями:

- воздушная прослойка должна быть толщиной не менее 60 и не более 150 мм и ее следует размещать между наружным слоем и теплоизоляцией; следует предусматривать рассечки воздушного потока по высоте каждые три этажа из перфорированных перегородок;

– при расчете приведенного сопротивления теплопередаче следует учитывать все теплопроводные включения, включая крепежные элементы облицовки и теплоизоляции;

– наружный слой стены должен иметь вентиляционные отверстия, суммарная площадь которых определяется из расчета 75 см^2 на 20 м^2 площади стен, включая площадь окон;

– нижние (верхние) вентиляционные отверстия, как правило, следует совмещать с цоколями (карнизами), причем для нижних отверстий предпочтительно совмещение функций вентиляции и отвода влаги;

– применять жесткие теплоизоляционные материалы плотностью не менее $80 - 90 \text{ кг/м}^3$, имеющие на стороне, обращенной к прослойке, ветро-воздухозащитные паропроницаемые пленки (типа «Тайвек», «Тектотен» или аналогичных мембранных пленок) или кашированные стеклотканью, либо предусматривать обязательную защиту поверхности теплоизоляции, обращенной к прослойке, стеклотканью с ячейками не более $4 \times 4 \text{ мм}$ или стеклотканью, прикрепляя ее к теплоизоляции при помощи армирующей массы; не следует применять горючие утеплители; применение мягких теплоизоляционных материалов не рекомендуется;

– при использовании в качестве наружного слоя облицовки из плит искусственных или натуральных камней горизонтальные швы должны быть раскрыты (не должны заполняться уплотняющим материалом).

При наличии в конструкции теплозащиты теплопроводных включений необходимо учитывать следующее:

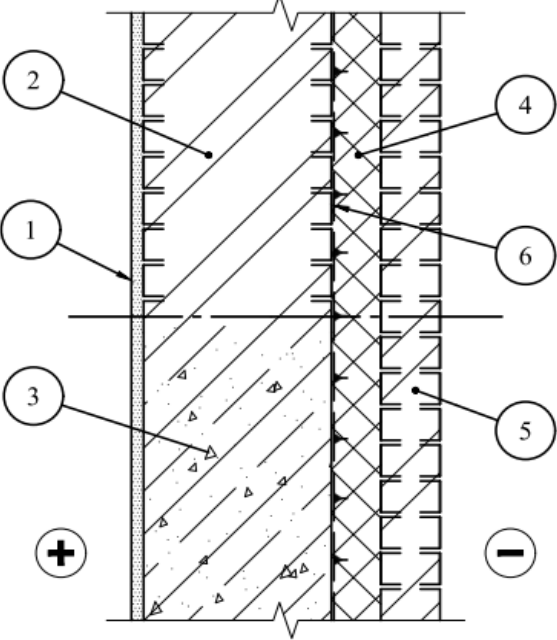
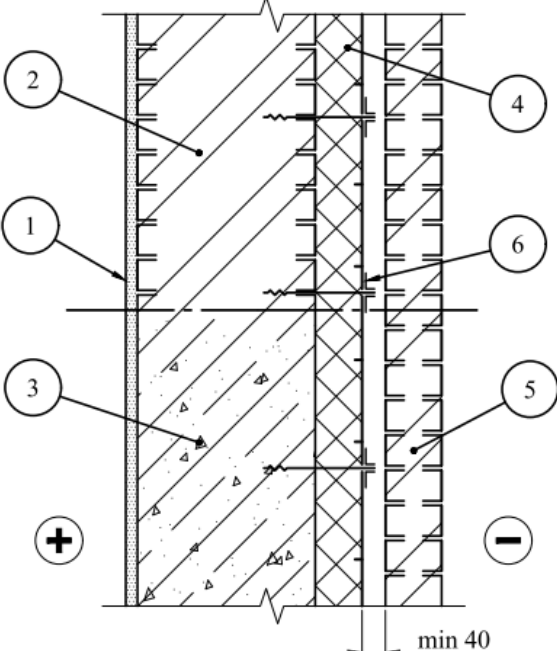
– несквозные включения целесообразно располагать ближе к теплой стороне ограждения;

– в сквозных, главным образом, металлических включениях (профилях, стержнях, болтах, оконных рамах) целесообразно предусматривать вставки (разрывы мостиков холода) и материалов с коэффициентом теплопроводности не выше $0,35 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

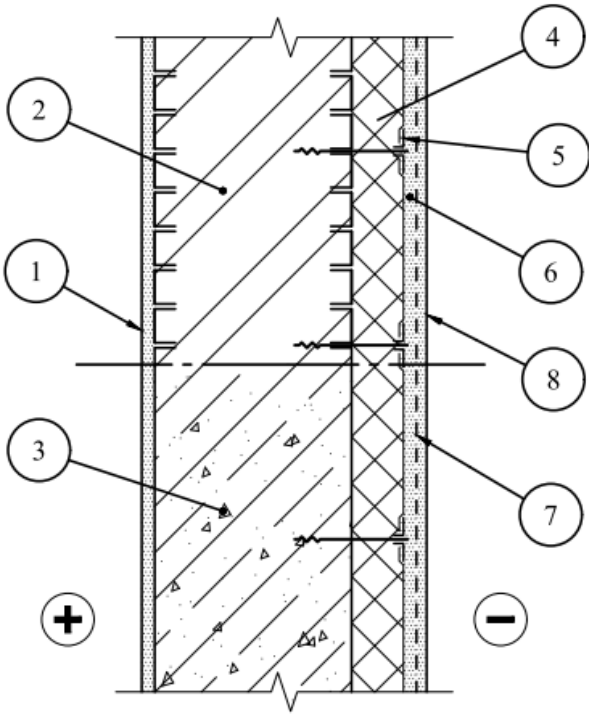
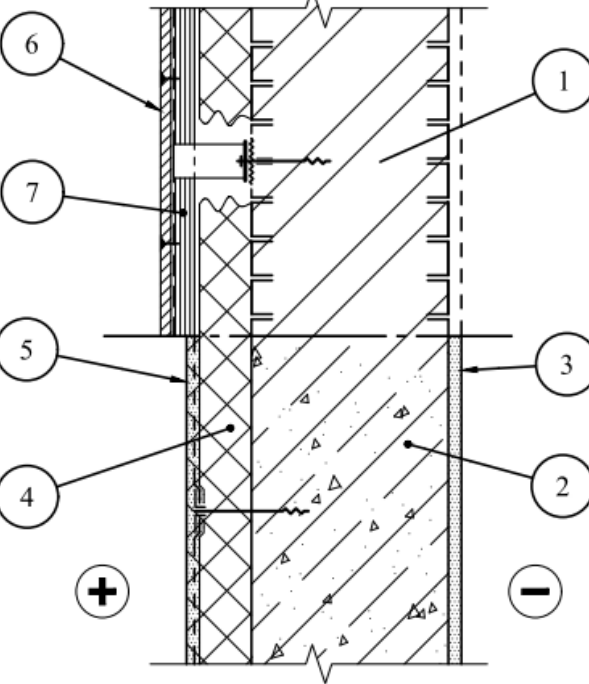
Некоторые примеры наиболее часто применяемых конструкций наружных ограждающих конструкций приведены в табл. 9.

Таблица 9

Многослойные конструкции наружных ограждений с применением эффективных утеплителей

Эскиз	Примечания
	Многослойная ограждающая конструкция с эффективным утеплителем под слоем лицевой кладки без воздушных прослоек: 1 – внутренний штукатурно-отделочный слой; конструкционный слой: 2 – каменная кладка; 3 – бетон, железобетон; 4 – слой утеплителя (из гидрофобизированных влагостойких материалов); 5 – лицевая кладка; 6 – пароизоляция мастиками по внутренней стороне утеплителя (при обосновании расчетом)
	Многослойная ограждающая конструкция с эффективным утеплителем под слоем лицевой кладки с неventилируемой воздушной прослойкой не менее 40 мм: 1 – внутренний штукатурно-отделочный слой; конструкционный слой: 2 – каменная кладка; 3 – бетон, железобетон; 4 – слой утеплителя (из гидрофобизированных влагостойких материалов); 5 – лицевая кладка; 6 – крепежные элементы (тарельчатые неметаллические дюбели)

Эскиз	Примечания
	Многослойная ограждающая конструкция с эффективным утеплителем под слоем лицевой кладки с вентилируемой воздушной прослойкой не менее 60 мм: 1 – внутренний штукатурно-отделочный слой; конструкционный слой: 2 – каменная кладка; 3 – бетон, железобетон; 4 – слой утеплителя (на основе негорючего минерального волокна); 5 – лицевая кладка; 6 – крепежные элементы (тарельчатые неметаллические дюбели); 7 – влагозащитная паропроницаемая мембрана
	Многослойная ограждающая конструкция с эффективным утеплителем с навесной фасадной системой с вентилируемой воздушной прослойкой не менее 60 мм: 1 – внутренний штукатурно-отделочный слой; конструкционный слой: 2 – каменная кладка; 3 – бетон, железобетон; 4 – слой утеплителя (на основе негорючего минерального волокна); 5 – влагозащитная паропроницаемая мембрана; 6 – крепежные элементы. (тарельчатые неметаллические дюбели); 7 – несущие кронштейны; 8 – паронепроницаемые подкладки; 9 – подсистема горизонтальных и вертикальных направляющих профилей; 10 – наружные декоративные панели (композитные панели, керамогранитные, фиброцементные плиты и пр.)

Эскиз	Примечания
	Многослойная ограждающая конструкция с эффективным утеплителем под слоем фасадной паропроницаемой штукатурки: 1 – внутренний штукатурно-отделочный слой; конструкционный слой: 2 - каменная кладка; 3 – бетон, железобетон; 4 – слой утеплителя (на основе негорючего минерального волокна); 5 – крепежные элементы (тарельчатые неметаллические дюбели); 6 – паропроницаемый слой штукатурно-клеевого состава; 7 – армирующая сетка из стекловолокна; 8 – фактурный паропроницаемый слой декоративной штукатурки с окраской
	Многослойная ограждающая конструкция с эффективным утеплителем и облицовкой с внутренней стороны: конструкционный слой: 1 - каменная кладка; 2 – бетон, железобетон; 3 – наружный штукатурно-отделочный слой; 4 – слой утеплителя; 5 – внутренний штукатурно-отделочный слой по сетке; 6 – «сухая» штукатурка из гипсокартонных или гипсоволокнистых листов; 7 – каркас из тонкостенных оцинкованных металлических профилей

2.2.3. Определение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции фрагмента или отдельного элемента

Для установления требуемой толщины теплоизоляционного слоя при проектировании наружных стен, панелей покрытий и перекрытий определяют условное сопротивление теплопередаче.

Условное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции - физическая величина, численно равная приведенному сопротивлению теплопередаче условной ограждающей конструкции, в которой отсутствуют теплотехнические неоднородности.

Условное сопротивление теплопередаче $R_{0,i}^{ysl}$, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, однородной части фрагмента теплозащитной оболочки i -го вида (отдельного вида ограждающей конструкции) следует определять по формуле

$$R_{0,i}^{ysl} = 1/\alpha_v + \sum R_s + 1/\alpha_n, \quad (5)$$

где α_v , α_n - коэффициент теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкций соответственно, $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$, принимаемый по табл. 6 и 10; $\sum R_s$ - сумма термических сопротивлений отдельных слоев ограждающей конструкции.

Таблица 10

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности α_n для условий холодного периода

Наружная поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи α_n Вт/($m^2 \cdot ^\circ C$)
1. Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной климатической зоне	23
2. Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной климатической зоне	17
3. Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	12
4. Перекрытий над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6

Примечание: Источник СП 50.13330.2012, табл. 5.

Термическое сопротивление R_s , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, однородного слоя многослойной ограждающей конструкции, а также однослойной ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$R_s = \delta_s / \lambda_s, \quad (6)$$

где δ_s – толщина слоя, м; λ_s – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек следует принимать по табл. 11.

Таблица 11

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек

Толщина воздушной прослойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, м ² ·°C/Вт			
	горизонтальной при потоке теплоты снизу вверх и вертикальной		горизонтальной при потоке теплоты сверху вниз	
	при температуре воздуха в прослойке			
	положительной	отрицательной	положительной	отрицательной
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,2 – 0,3	0,15	0,19	0,19	0,24

Примечания:

1. При наличии на одной или обеих поверхностях воздушной прослойки теплоотражающей алюминиевой фольги термическое сопротивление следует увеличивать в два раза.
2. Источник СП 50.13330.2012, табл. Е.1.

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции – физическая величина, характеризующая усредненную по площади плотность потока теплоты через фрагмент теплозащитной оболочки здания в стационарных условиях теплопередачи, численно равная отношению разности температур по разные стороны фрагмента к усредненной по площади плотности потока теплоты через фрагмент.

Приведенное сопротивление теплопередачи участка (или её элемента) ограждающей конструкции, содержащего теплопроводные включения (стыки, обрамляющие ребра, гибкие связи и пр.), определяется поэлементным расчетом участков ограждающей конструкции в местах расположения теплопроводных включений и неоднородностей в зависимости от типа и вида включений. Методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, отдельного фрагмента или её отдельного элемента приведена в СП 50.13330.2012, прил. Е. В общем виде можно представить формулой

$$R_{0,i}^{np} = R_{0,i}^{ysl} \cdot r, \quad (7)$$

где r – коэффициент теплотехнической однородности наружных ограждений, определяется расчетом по температурным полям или экспериментальным способом.

Для определения ориентировочного значения R_0^{np} наружного ограждения в качестве первого варианта практических расчетов, а также в рамках учебного проектирования, значения r допускается принимать по табл. 12.

Таблица 12

Значения коэффициента теплотехнической однородности r для различных конструкций наружных ограждений

Конструкции наружных ограждений	r
Сплошная кладка из крупноформатных пустотелых пористых керамических камней	0,98
Сплошная кладка из пустотелого керамического, силикатного камня	0,97
Сплошная кладка из полнотелого и пустотелого керамического, силикатного обыкновенного и утолщенного кирпича	0,95
Сплошная кладка из полнотелого и пустотелого керамического, силикатного обыкновенного и утолщенного кирпича и камня, утепленная пенополиуретаном, напыляемым толщиной 30-35 мм	0,95
Облегченная кладка из полнотелого, пустотелого керамического силикатного кирпича или камня с внутренним слоем из плитного эффективного утеплителя с гибкими стальными связями или сетками	0,75
Облегченная кладка из полнотелого, пустотелого керамического кирпича или камня с внутренним слоем из плитного эффективного утеплителя с поперечными связями	0,50
Кладка из полистиролбетонных блоков с арматурой в растворных швах, оштукатуренная по металлической сетке с обеих сторон	0,87

Продолжение табл. 12

Конструкции наружных ограждений	<i>r</i>
Кладка полистиролбетонных блоков, облицованная с наружной стороны в полкирпича с поперечными металлическими сетками в растворных швах	0,85
Однослойные легкобетонные панели с монтажной арматурой	0,90
Легкобетонные панели с термовкладышами и монтажной арматурой	0,75
Трехслойные железобетонные панели с эффективным утеплителем и гибкими стальными связями	0,70
Трехслойные железобетонные панели с эффективным утеплителем и железобетонными шпонками или поперечными ребрами из керамзитобетона	0,60
Трехслойные железобетонные панели с эффективным утеплителем и поперечными железобетонными ребрами	0,50
Трехслойные металлические панели с эффективным утеплителем	0,75
Трехслойные асбоцементные панели с эффективным утеплителем	0,70
Железобетонные, кирпичные конструкции с плитным утеплителем, закрепленным дюбелями, оштукатуренные по капроновой или металлической сетке (термофасад)	0,90
Железобетонные и кирпичные конструкции ($\delta = 20\text{--}25$ см) с плитным эффективным утеплителем, с вентилируемой воздушной прослойкой и облицовочным слоем (массой не более 20 кг/м^2) на подконструкции, прикрепленной к стене двумя (на 1 м^2 стены) стальными кронштейнами (вентилируемый фасад здания)	0,85
Железобетонные и кирпичные конструкции ($\delta = 20\text{--}25$ см) с плитным эффективным утеплителем, с вентилируемой воздушной прослойкой и облицовочным слоем (массой не более 20 кг/м^2) на подконструкции, прикрепленной к стене двумя (на 1 м^2 стены) алюминиевыми кронштейнами с термической прокладкой (вентилируемый фасад здания)	0,70
Железобетонные и кирпичные конструкции ($\delta = 20\text{--}25$ см) с плитным эффективным утеплителем, с вентилируемой воздушной прослойкой и облицовочным слоем (массой не более 30 кг/м^2) на подконструкции, прикрепленной к стене тремя (на 1 м^2 стены) стальными кронштейнами (вентилируемый фасад здания)	0,80
Железобетонные и кирпичные конструкции ($\delta = 20\text{--}25$ см) с плитным эффективным утеплителем, с вентилируемой воздушной прослойкой и облицовочным слоем (массой не более 30 кг/м^2) на подконструкции, прикрепленной к стене тремя (на 1 м^2 стены) алюминиевыми кронштейнами (вентилируемый фасад здания)	0,60
Железобетонные и кирпичные конструкции ($\delta = 20\text{--}25$ см) с плитным эффективным утеплителем, с вентилируемой воздушной прослойкой и облицовочным слоем (массой не более 30 кг/м^2) на подконструкции, прикрепленной к стене металлическими кронштейнами (≥ 4 шт/ м^2 стены) (вентилируемый фасад здания)	От 0,55 до 0,30
Конструкции чердачных перекрытий и над подвалами:	
а) из железобетонных панелей с плитным эффективным утеплителем	0,80
б) из железобетонных плит по металлическим балкам с плитным эффективным утеплителем	0,50

Конструкции наружных ограждений	r
в) из деревянных элементов (балок, брусьев) с плитным эффективным утеплителем	0,90

Примечание: источник СТО 00044807-001-2006, табл. 8.

Обязательным условием при теплотехническом расчете элементов ограждающих конструкций является:

$$R_0^{\text{пр}} \geq R_0^{\text{тр}}, \quad (8)$$

2.2.4. Ограничение температуры и конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающей конструкции

Ограничение температуры и конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающей конструкции (параметр «в»). Расчетный температурный перепад Δt_0 , °C, между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции не должен превышать нормируемых величин Δt_n , °C, установленных в табл. 7, и определяется по формуле

$$\Delta t_0 = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{R_0^{\text{пр}} \alpha_{\text{в}}}, \quad (9)$$

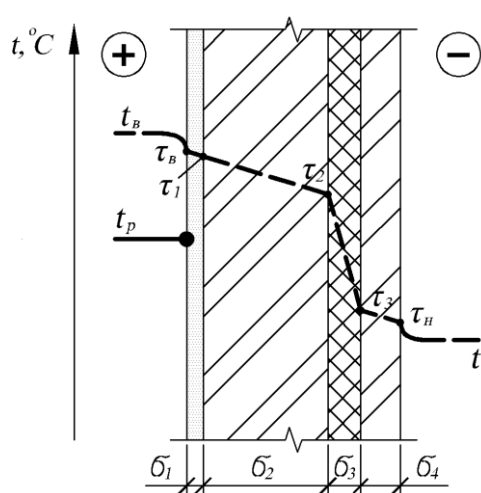
где $t_{\text{в}}$ – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °C; $t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, для всех зданий, кроме производственных зданий, предназначенных для сезонной эксплуатации, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, °C; $R_0^{\text{пр}}$ – приведенное сопротивление теплопередаче участка ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

2.2.5. Расчет распределения температуры по сечению ограждения

Важной практической задачей является расчет распределения температуры по сечению ограждения и графическое построение одномерного температурного поля в отдельно взятой многослойной ограждающей конструкции, температуру τ_i в любом сечении ограждения можно выразить по формуле 10

$$\tau_i = t_{\text{в}} - \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{R_{0,i}^{\text{усл}}} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \Sigma R_s \right), \quad (10)$$

где $t_{\text{в}}$, $t_{\text{н}}$ – расчетные температуры соответственно внутреннего и наружного воздуха, °C; $R_{0,i}^{\text{усл}}$ – условное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции i -го вида, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; $1/\alpha_{\text{в}}$ – сопротивление теплопередачи внутренней поверхности соответственно ограждающей конструкции; ΣR_s – сумма термических сопротивлений слоев конструкции,



расположенных от плоскости внутренней поверхности, и плоскости, в сечении которой рассчитывается τ_i .

Рис. 1. Одномерное температурное поле в многослойной ограждающей конструкции

$t_{\text{в}}$, $t_{\text{н}}$ – температура внутреннего и наружного воздуха, °C; $\tau_{\text{в}}$, $\tau_{\text{н}}$ – температура на внутренней и наружной поверхности ограждающей конструкции, °C; $t_{\text{р}}$ – температура точки росы, °C.

2.3. Расчет сопротивления паропроницанию элементов ограждающих конструкций (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, определяемого расчетом одномерного влагопереноса осуществляемому по механизму паропроницаемости.

Сопротивление паропроницанию $R_{\text{п}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, ограждающей

конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения) должно быть не менее наибольшего из следующих нормируемых сопротивлений паропроницанию:

а) нормируемого сопротивления паропроницанию $R_{п1}^{тр}$, $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации), определяемого по формуле

$$R_{п2}^{тр} = (e_b - E) R_{пн} / (E - e_n); \quad (11)$$

б) нормируемого сопротивления паропроницанию $R_{п2}^{тр}$, $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха), определяемого по формуле

$$R_{п2}^{тр} = \frac{0,0024 z_0 (e_b - E_0)}{\rho_w \delta_w \Delta w + \eta}, \quad (12)$$

где e_b – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле

$$e_b = (\varphi_b / 100) E_b, \quad (13)$$

где E_b – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре t_b , по формуле (22); φ_b – относительная влажность внутреннего воздуха, принимаемая для различных зданий, %; $R_{пн}$ – сопротивление паропроницанию, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью максимального увлажнения, $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$; e_n – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, за годовой период, Па; z_0 – продолжительность, периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха, сут; E_0 – парциальное давление водяного пара, в плоскости максимального увлажнения, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами согласно указаниям примечаний к этому пункту, Па; ρ_w – плотность материала увлажняемого

слоя, кг/м^3 ; δ_w – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, принимаемая равной $2/3$ толщины однородной (однослойной) стены или толщине теплоизоляционного слоя (утеплителя) многослойной ограждающей конструкции, м; Δw – предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, за период влагонакопления z_0 , принимаемое по табл. 13, %.

Таблица 13

Предельно допустимые значения коэффициента Δw

Материал ограждающей конструкции	Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале Δw , %
Кладка из глиняного кирпича и керамических блоков	1,5
Кладка из силикатного кирпича	2,0
Легкие бетоны на пористых заполнителях (керамзитобетон, шугизитобетон, перлитобетон, шлакопемзобетон)	5
Ячеистые бетоны (газобетон, пенобетон, газосиликат и др.)	6
Пеногазостекло	1,5
Фибролит и арболит цементные	7,5
Минераловатные плиты и маты	3
Пенополистирол и пенополиуретан	25
Фенольно-резольный пенопласт	50
Теплоизоляционные засыпки из керамзита, шунгизита, шлака	3
Тяжелый бетон, цементно-песчаный раствор	2

Примечание: Источник СП 50.13330.2012, табл. 10.

Расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий допускается принимать по прил. С СП 50.13330.2012.

Парциальное давление водяного пара E , Па, в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации, определяемое по формуле

$$E = (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3)/12, \quad (14)$$

где E_1, E_2, E_3 – парциальное давление водяного пара, принимаемое по температуре в плоскости максимального увлажнения, устанавливаемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемое согласно указаниям примечаний к этому пункту, Па; z_1, z_2, z_3 – продолжительность, мес, зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, определяемая с

учетом следующих условий: а) к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус 5 °С; б) к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус 5 до плюс 5 °С; в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами воздуха выше плюс 5 °С, мес.; η – коэффициент, определяемый по формуле

$$\eta = 0,0024 (E_0 - e_{н.отр})z_0/R_{пн}, \quad (15)$$

где $e_{н.отр}$ – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, определяемыми согласно своду правил СП 131.13330, Па.

Примечание: при определении парциального давления E_3 для летнего периода температуру в плоскости максимального увлажнения во всех случаях следует принимать не ниже средней температуры наружного воздуха летнего периода, парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха e_v – не ниже среднего парциального давления водяного пара наружного воздуха за этот период.

Сопротивление паропроницанию $R_{пн}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, чердачного перекрытия или части конструкции вентилируемого покрытия, расположенной между внутренней поверхностью покрытия и воздушной прослойкой, в зданиях со скатными кровлями должно быть не менее требуемого сопротивления паропроницанию $R_{пн}^{тр}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, определяемого по формуле

$$R_{пн}^{тр} = 0,0012 (e_v - e_{н.отр}). \quad (16)$$

Для защиты от увлажнения теплоизоляционного слоя (утеплителя) в покрытиях зданий с влажным или мокрым режимом следует предусматривать пароизоляцию ниже теплоизоляционного слоя, которую следует учитывать при определении сопротивления паропроницанию покрытия.

Сопротивление паропроницанию $R_{пи}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, однослойной или

отдельного слоя многослойной ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$R_{ni} = \delta_i / \mu_i, \quad (17)$$

где δ_i – толщина слоя ограждающей конструкции, м; μ_i – расчетный коэффициент паропроницаемости материала слоя ограждающей конструкции, мг/(м·ч·Па).

Сопротивление паропроницанию многослойной ограждающей конструкции (или ее части) равно сумме сопротивлений паропроницанию составляющих ее слоев

$$R_{no} = \sum R_{ni}. \quad (18)$$

Примечания:

1. Сопротивление паропроницанию замкнутых воздушных прослоек в ограждающих конструкциях следует принимать равным нулю, независимо от расположения и толщины этих прослоек.

2. Для обеспечения требуемого сопротивления паропроницанию R_{no}^{tr} ограждающей конструкции следует определять сопротивление паропроницанию R_n конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения.

3. В помещениях с влажным или мокрым режимом следует предусматривать пароизоляцию теплоизолирующих уплотнителей сопряжений элементов ограждающих конструкций (мест примыкания заполнений проемов к стенам и т.п.) со стороны помещений; сопротивление паропроницанию в местах таких сопряжений проверяется из условия ограничения накопления влаги в сопряжениях за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха на основании расчетов распределения температуры и парциального давления водяного пара по сечению ограждения.

Сопротивление паропроницанию $R_{п.о}$ листовых материалов и тонких слоев пароизоляции следует принимать по табл. 14.

Таблица 14

Сопротивление паропроницанию листовых материалов и тонких слоев пароизоляции

Материал	δ , мм	$R_{п.о}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$
Картон обыкновенный	1,3	0,016
Листы асбестоцементные	6	0,3
Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	10	0,12
Листы древесно-волокнистые жесткие	10	0,11
Листы древесно-волокнистые мягкие	12,5	0,05
Окраска горячим битумом за один раз	2	0,3
Окраска горячим битумом за два раза	4	0,48
Окраска масляная за два раза с предварительной шпатлевкой и грунтовкой	-	0,64
Окраска эмалевой краской	-	0,48
Покрытие изольной мастикой за один раз	2	0,60
Покрытие битумно-кукерсольной мастикой за один раз	1	0,64
Покрытие битумно-кукерсольной мастикой за два раза	2	1,1
Пергамин кровельный	0,4	0,33
Полиэтиленовая пленка	0,16	7,3
Рубероид	1,5	1,1
Толь кровельный	1,9	0,4
Фанера клееная трехслойная	3	0,15

Плоскость максимального увлажнения определяется для периода с отрицательными среднемесячными температурами следующим образом:

– для каждого слоя многослойной конструкции вычисляется значение комплекса $f_i(t_{м.у.})$, характеризующего температуру в плоскости максимального увлажнения по формуле

$$f_i(t_{м.у.}) = 5300 \frac{R_{о.п}(t_{в} - t_{н.отр})}{R_0^{np}(e_{в} - e_{н.отр})} \cdot \frac{\mu_i}{\lambda_i}, \quad (19)$$

где $R_{о.п}$ – общее сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции, при многослойной ограждающей конструкции оно равно сумме сопротивлений паропроницанию составляющих ее слоев, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$; R_0^{np} – приведенное сопротивление теплопередачи, определяемое по формулам (5), (6), (7); $t_{н.отр}$ – средняя температура

наружного воздуха для периода с отрицательными среднемесячными температурами, °С; e_v – то же, что и в формуле (13); $e_{н.отр}$ – то же, что и в формуле (15); λ_i , μ_i – расчетные коэффициенты теплопроводности, Вт/(м²·°С), и паропроницаемости, м²·ч·Па/мг, материала соответствующего слоя;

– по полученным значениям комплекса $f_i(t_{м.у})$, по табл. 15 определяются значения температур в плоскости максимального увлажнения, $t_{м.у}$, для каждого слоя многослойной конструкции. Составляется таблица, содержащая: номер слоя, $t_{м.у}$ для этого слоя, температуры на границах слоя, полученные расчетом по (10) (при средней температуре наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами).

Для определения слоя, в котором находится плоскость максимального увлажнения, производится сравнение полученных значений $t_{м.у}$ с температурами на границах слоев конструкции. Если температура $t_{м.у}$ в каком-то из слоев расположена в интервале температур на границах этого слоя, то делается вывод о наличии в данном слое плоскости максимального увлажнения и определяется координата плоскости – $x_{м.у}$ (в предположении линейного распределения температуры внутри слоя).

Если в каждом из двух соседних слоев конструкции отсутствует плоскость с температурой $t_{м.у}$, при этом у более холодного слоя $t_{м.у}$ выше его температуры, а у более теплого слоя $t_{м.у}$ ниже его температуры, то плоскость максимального увлажнения находится на границе этих слоев.

Если внутри конструкции плоскость максимального увлажнения отсутствует, то она расположена на наружной поверхности конструкции.

Если при расчете обнаружилось две плоскости с $t_{м.у}$ в конструкции, то за плоскость максимального увлажнения принимается плоскость, расположенная в слое утеплителя.

Для многослойных ограждающих конструкций с выраженным теплоизоляционным слоем (термическое сопротивление теплоизоляционного слоя больше $2/3 R_0^{пр}$) и наружным защитным слоем, коэффициент паропроницаемости материала которого меньше, чем у материала теплоизоляционного слоя, допускается принимать плоскость

максимального увлажнения на наружной границе утеплителя при условии выполнения неравенства

$$\frac{\mu_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} > 2, \quad (20)$$

где $\lambda_{\text{ут}}$, $\mu_{\text{ут}}$ - расчетный коэффициент теплопроводности, Вт/(м²·°C), и паропроницаемости, м²·ч·Па/мг, материала теплоизоляционного слоя.

Таблица 15

**Зависимость комплекса $f_i(t_{\text{м.у.}})$ от температуры в плоскости
максимального увлажнения**

$t_{\text{м.у.}}, ^\circ\text{C}$	$f_i(t_{\text{м.у.}}),$ (°C) ² /Па	$t_{\text{м.у.}}, ^\circ\text{C}$	$f_i(t_{\text{м.у.}}),$ (°C) ² /Па	$t_{\text{м.у.}}, ^\circ\text{C}$	$f_i(t_{\text{м.у.}}),$ (°C) ² /Па	$t_{\text{м.у.}}, ^\circ\text{C}$	$f_i(t_{\text{м.у.}}),$ (°C) ² /Па
-25	712,5	-14	312,3	-3	146,9	8	73,51
-24	658,9	-13	290,8	-2	137,6	9	69,22
-23	609,8	-12	270,9	-1	128,9	10	65,22
-22	564,7	-11	252,5	0	120,9	11	61,47
-21	523,2	-10	235,5	1	113,4	12	57,96
-20	485,2	-9	219,8	2	106,5	13	54,68
-19	450,1	-8	205,2	3	100,0	14	51,6
-18	417,9	-7	191,8	4	93,91	15	48,72
-17	388,2	-6	179,2	5	88,27	16	46,02
-16	360,8	-5	167,6	6	83,01	17	43,48
-15	335,6	-4	156,9	7	78,1	18	41,11

Расчет распределения парциального давления водяного пара по толще стены и определение возможности образования конденсата в толще стены. Для проверки конструкции на наличие зоны конденсации внутри стены по температурам на границах слоев ограждающей конструкции, необходимо сравнить значения максимального давления водяного пара E_i и действительные парциальные давления e_i . Должно соблюдаться условие

$$E_i > e_i. \quad (21)$$

Значения максимального давления водяного пара определяются по температурам на границах слоев ограждающей конструкции, на основании данных одномерного температурного поля в многослойной ограждающей конструкции.

Парциальное давление насыщенного водяного пара E , Па, при температуре t , °C, от минус 40 °C до плюс 45 °C определяется по формуле

$$E = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(\frac{-5330}{273 + t}\right). \quad (22)$$

Действительные парциальные давления e_i водяного пара на границах слоев определяется по формуле

$$e_i = e_b - \frac{(e_b - e_n)}{R_{\pi}} \cdot \sum R_{\pi i}, \quad (23)$$

где e_n – значение парциального давления водяного пара наружного воздуха соответствующего расчетного периода года; $\sum R_{\pi i}$ – сумма значений сопротивлений паропроницанию слоев, считая от внутренней поверхности.

Для наглядности расчета выполняется построение графика распределения максимального парциального давления E_i водяного пара и график изменения действительного парциального давления e_i водяного пара по толще стены в масштабе сопротивлений паропроницанию его слоев (рис. 2, 3, 4, 5).

Анализ одномерного поля распределения максимального парциального давления E_i водяного пара и действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев заключается в проверке соблюдения условия (21).

При соблюдении данного условия одномерное поле имеет вид, представленный на рис. 2, в противоположном случае наблюдается такое пересечение кривых, как показано на рис. 3.

При подобном положении вещей образуется область, в которой возможен выпад конденсата, что является недопустимым с точки зрения проектировании тепловой защиты.

В целях исключения возможности конденсации влаги, необходимо устройство пароизоляции из тонкослойных материалов с внутренней стороны утепляющего слоя или с внутренней стороны ограждающей конструкции, как показано на рис. 5 и 6.

Рис. 2. Одномерное поле распределения парциального давления водяного пара в ограждающей конструкции при соблюдении условия $E_i > e_i$

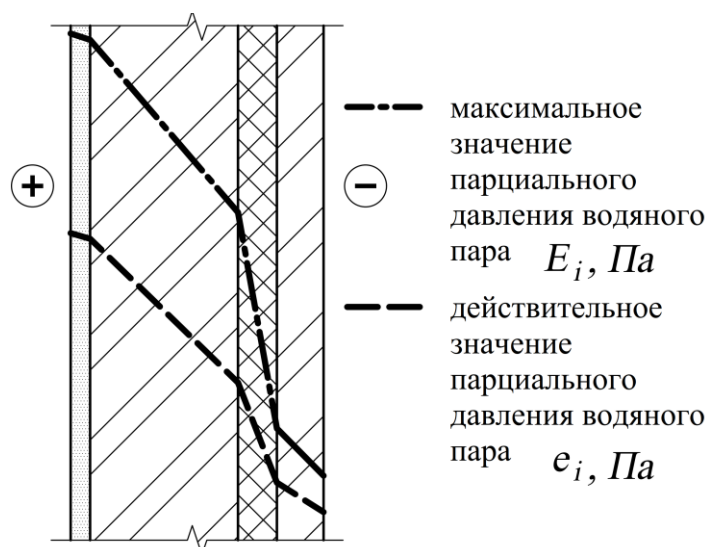


Рис. 3. Одномерное поле распределения парциального давления водяного пара в ограждающей конструкции при несоблюдении условия $E_i > e_i$

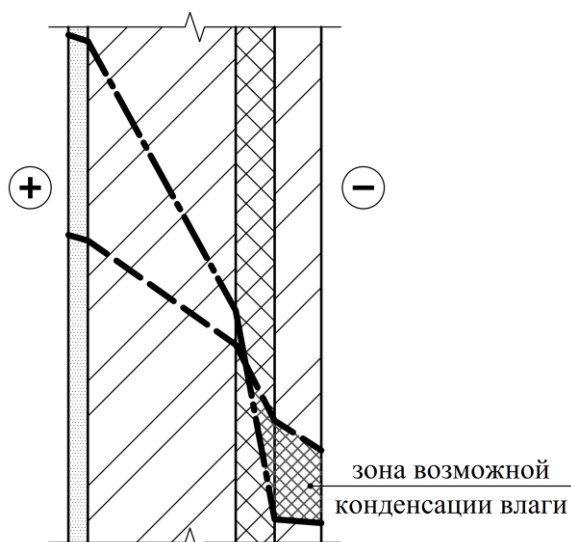
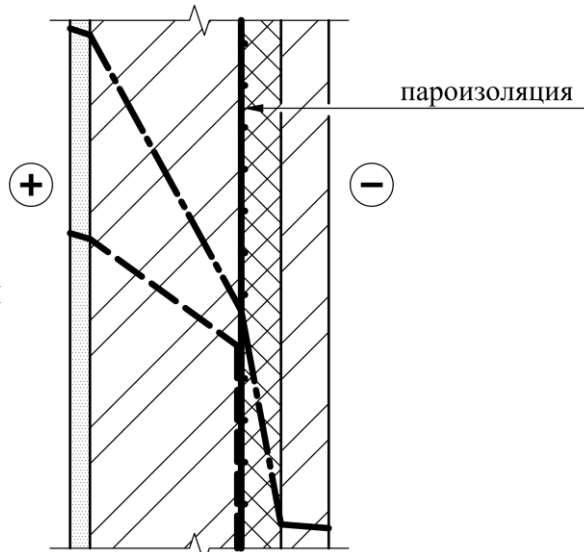


Рис. 4. Одномерное поле распределения парциального давления водяного пара в ограждающей конструкции при устройстве пароизоляции с внутренней стороны утеплителя



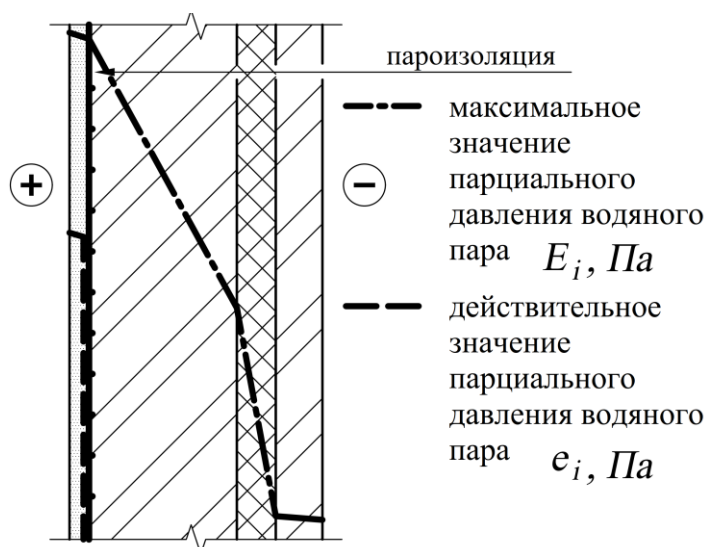


Рис. 5. Одномерное поле распределения парциального давления водяного пара в ограждающей конструкции при устройстве пароизоляции в толще штукатурно-отделочного слоя

Подробный пример выполнения теплотехнического и расчета на паропроницание фрагмента ограждающей конструкции и оформления пояснительной записки к расчетам приведены в прил. 4.

2.4. Удельная теплозащитная характеристика здания (комплексное требование)

После проектирования и расчета отдельных наружных ограждающих конструкций, первым шагом по оценке эффективности и оптимизации принятых решений необходимо провести их первичную комплексную оценку. Одним из основных показателей является - удельная теплозащитная характеристика здания $k_{об}$.

Удельная теплозащитная характеристика здания - количество теплоты, равное потерям тепловой энергии через теплозащитную оболочку здания единицы отапливаемого объема в единицу времени при перепаде температуры в 1°C . $k_{об}$ Вт/(м³·°C).

Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитывается по формуле

$$k_{об} = \frac{1}{V_{ом}} \sum_i n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{np}}, \quad (24)$$

где V_{om} – отапливаемый объем, $R_{o,i}^{np}$ – приведенное сопротивление теплопередаче i -го фрагмента теплозащитной оболочки здания, $(m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$, $A_{\phi,i}$ – площадь соответствующего фрагмента теплозащитной оболочки здания, m^2 ; $n_{t,i}$ – коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчете ГСОП, определяется по формуле:

$$n_t = \frac{t_{\phi}^* - t_{om}^*}{t_{\phi} - t_{om}}, \quad (25)$$

где t_{ϕ}^* , $t_{от}^*$ – средняя температура внутреннего и наружного воздуха для данного помещения, $^\circ C$, t_{ϕ} , $t_{от}$, – то же что и в формуле 2.

При расчете учесть обязательное условие – совокупность фрагментов теплозащитной оболочки здания, характеристики которых используются в формуле 24 должна полностью замыкать оболочку отапливаемой части здания.

Обязательным условием комплексного требования (параметр «б») является:

$$k_{об}^{mp} \geq k_{об}. \quad (26)$$

Нормируемые значения $k_{об}^{mp}$ в зависимости от отапливаемого объема здания и определяется по формулам:

$$k_{об}^{тр} = \begin{cases} \frac{4,74}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{V_{от}}} & V_{от} \leq 960 \\ \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{от}}}}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} & V_{от} > 960 \end{cases} \quad (27)$$

$$k_{об}^{тр} = \frac{8,5}{\sqrt{\text{ГСОП}}} \quad (28)$$

При достижении величиной $k_{об}^{mp}$, вычисленной по 26, значений меньших, чем определенных по формуле 27, следует принимать значения $k_{об}^{mp}$, определенные по формуле 28.

Методический пример расчёта удельной теплозащитной характеристики здания приведен в прил. 5.

2.5. Заключение о соответствии нормативным требованиям рекомендации по мероприятиям, направленным на достижение соответствия нормам в случае необходимости доработки конструкции ограждений

По результатам выполненных расчетов в конце пояснительной записки специалистом выдается заключение о соответствии или несоответствии нормативным требованиям. Текст заключения составляется технически грамотным языком в лаконичной форме и должен содержать:

а) В случае соответствия нормативным требованиям – запись о соответствии разработанной ограждающей конструкции либо её фрагмента нормативным требованиям со ссылкой на нормативный документ (или пункты или статьи нормативного документа о соответствии с которыми выполнены расчеты), а также рекомендации направленные на повышение эксплуатационных или иных характеристик конструкции (или об их отсутствии вовсе). Далее приводится графически оформленный проект ограждения, отображающий основные конструктивные решения.

б) В случае несоответствия нормативным требованиям – запись о несоответствии ограждающей конструкции либо её фрагмента нормативным требованиям со ссылкой на пункты или статьи нормативного документа о несоответствии которым, рассмотренная конструкция, не отвечает, ниже должны быть приведены четкие рекомендации о мероприятиях направленных на доработку конструкции ограждения или повышение её характеристик до требуемых показателей. Рекомендации и предложения должны быть подкреплены дополнительными расчетами подтверждающими о технической пригодности разработанных мероприятий и рекомендаций. Далее приводится графически оформленный проект ограждения, отображающий основные конструктивные решения с учетом вышеуказанных мероприятий и рекомендаций.

Пример записи:

Заключение. Проведенные исследования и расчеты подтверждают соответствие многослойной конструкции кровли требованиям, предъявляемым отдельным ограждающим конструкциям входящих в состав теплозащитной оболочки здания регламентированных СП 50.13330.2012 "СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий" раздела 5 пункты 5.1: поэлементные требования по параметрам «а»; «в», 5.2, 5.4, 5.7, дальнейшая эксплуатация конструкции возможна без ограничений.

Проект наружных ограждений включает в себя разработку серии основных узлов отображающих состав конструкции ограждений, и узлов примыканий. Наиболее наглядный прием демонстрация конструктивных решений являются типовые сечения по стене от карниза до фундаментов выполняемые в масштабе 1:10. Типовые сечения должны включать в себя все типы элементов теплозащитной оболочки (стены подземной и надземной части, покрытия, полы по грунту, светопрозрачные конструкции и пр.) пример графического оформления проекта наружных ограждений приведено в прил. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное учебное пособие поможет будущим специалистам, обучающимся по направлениям 08.03.01 «Строительство» и 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» освоить один из наиболее важных и сложных разделов проектирования ограждающих конструкций как элемента теплозащитной оболочки.

В работе изложены основные требования к теплотехническим расчетам и составу проекта наружного ограждения. Приведены указания по выбору типа и состава конструкции ограждения, приведены указания по расчетам и определению основных параметров, разработке мероприятий по повышению нормируемых и эксплуатационных характеристик.

Даны необходимые справочные и нормативные материалы, а также список рекомендуемых источников литературы, что представляет ценность для студентов заочной (в том числе дистанционной) форм обучения.

Учебное пособие позволит обучающимся одновременно с изучением теоретического материала получить практические навыки в проектировании наружных отдельных фрагментов и элементов ограждающих конструкций. Оно может быть использовано в курсовом проектировании по дисциплине «Архитектура промышленных и гражданских зданий», а также в дипломном проектировании при разработке архитектурно-строительного раздела в составе ВКР.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

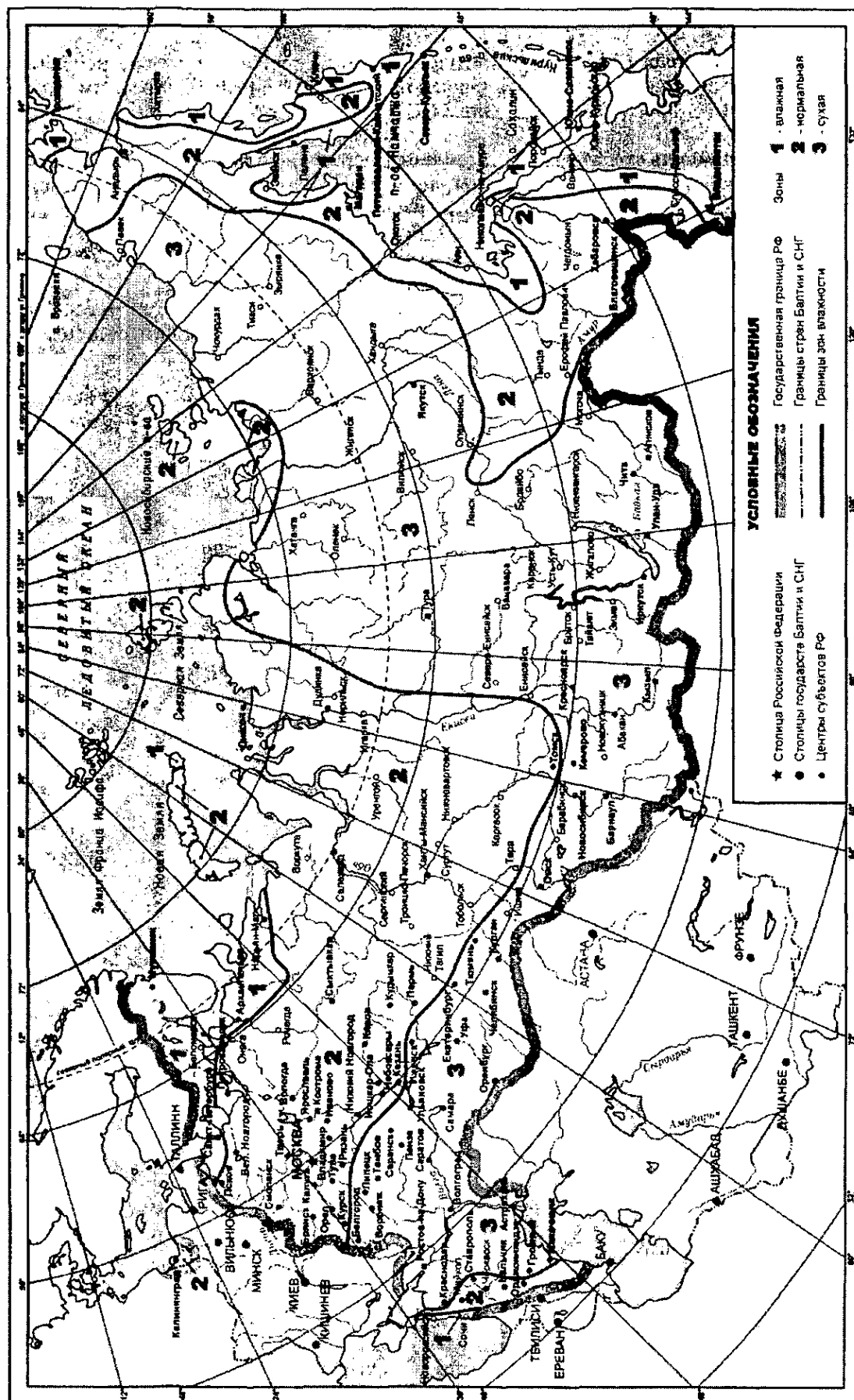
1. *ГОСТ 21.1101–2013*. Основные требования к рабочей документации. – М., 2013. – 47 с.
2. *ГОСТ 21.508–93(2002)*. Правила выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов. – М., 2002. – 27 с.
3. *Русскевич, Н. Л.* Справочник по инженерно-строительному черчению. – 2-е изд., перераб. и доп / Н. Л. Русскевич. – Киев: Будівельник, 1987. – 264 с.
4. *СП 50.13330.2012*. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М., 2013. – 118 с.
5. *СП 131.13330.2018*. Строительная климатология Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. – М., 2018. – 111 с.
6. *СТО 00044807–001–2006*. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий. – М., 2006. – 61 с.
7. *СТО 02067971.106–2015*. Стандарт организации. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – 115 с.
8. *Шерешевский, И. А.* Конструирование гражданских зданий : учеб. пособие для техникумов / И. А. Шерешевский. – М. : Архитектура – С, 2005. – 170 с.
9. *Шерешевский, И. А.* Жилые здания. Конструктивные системы и элементы для индустриального строительства : учеб. пособие для учебного проектирования / И. А. Шерешевский. – М. : Архитектура – С, 2005. – 123 с.
10. *Шерешевский, И. А.* Конструирование промышленных зданий и сооружений : учеб. пособие для студентов строительных специальностей / И. А. Шерешевский. – М. : Архитектура – С, 2005. – 168 с.

Приложение 1

Расчетные параметры воздуха в помещениях зданий

Здания, помещения	Температура воздуха, °С			Относительная влажность воздуха, %		Расчетная температура точки росы на внутренней поверхности ограждающей
	оптимальная	допустимая	предлагаемая расчетная	допустимая	расчетная для температуры точки росы	
Жилые здания (жилые помещения)	20–22	18–24	20	35–60	55	8,8
То же, в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31 °С и ниже	21–23	20–24	22	35–60	55	10,7
Детские дошкольные учреждения (раздевальная, спальня, туалет)	21–23	20–24	24	35–60	55	12,6
То же, в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92), минус 31 °С и ниже	22–24	21–25	25	35–60	55	13,5
Общественные здания, кроме указанных выше, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным и мокрым режимами:						
а) помещения, в которых люди в положении лежа или сидя находятся в состоянии покоя и отдыха;	20–22	18–24	23	35–60	55	11,6
б) помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебой	19–21	18–23	22	35–60	55	10,7
в) помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды	20–21	19–23	20	35–60	55	8,8
г) помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя в уличной одежде	14–16	12–17	15	35–60	55	5,1
д) помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении стоя без уличной одежды	18–20	16–22	17	35–60	55	7,0
е) помещения для занятия подвижными видами спорта	17–19	15–21	15	35–60	55	5,1

Карта зон влажности

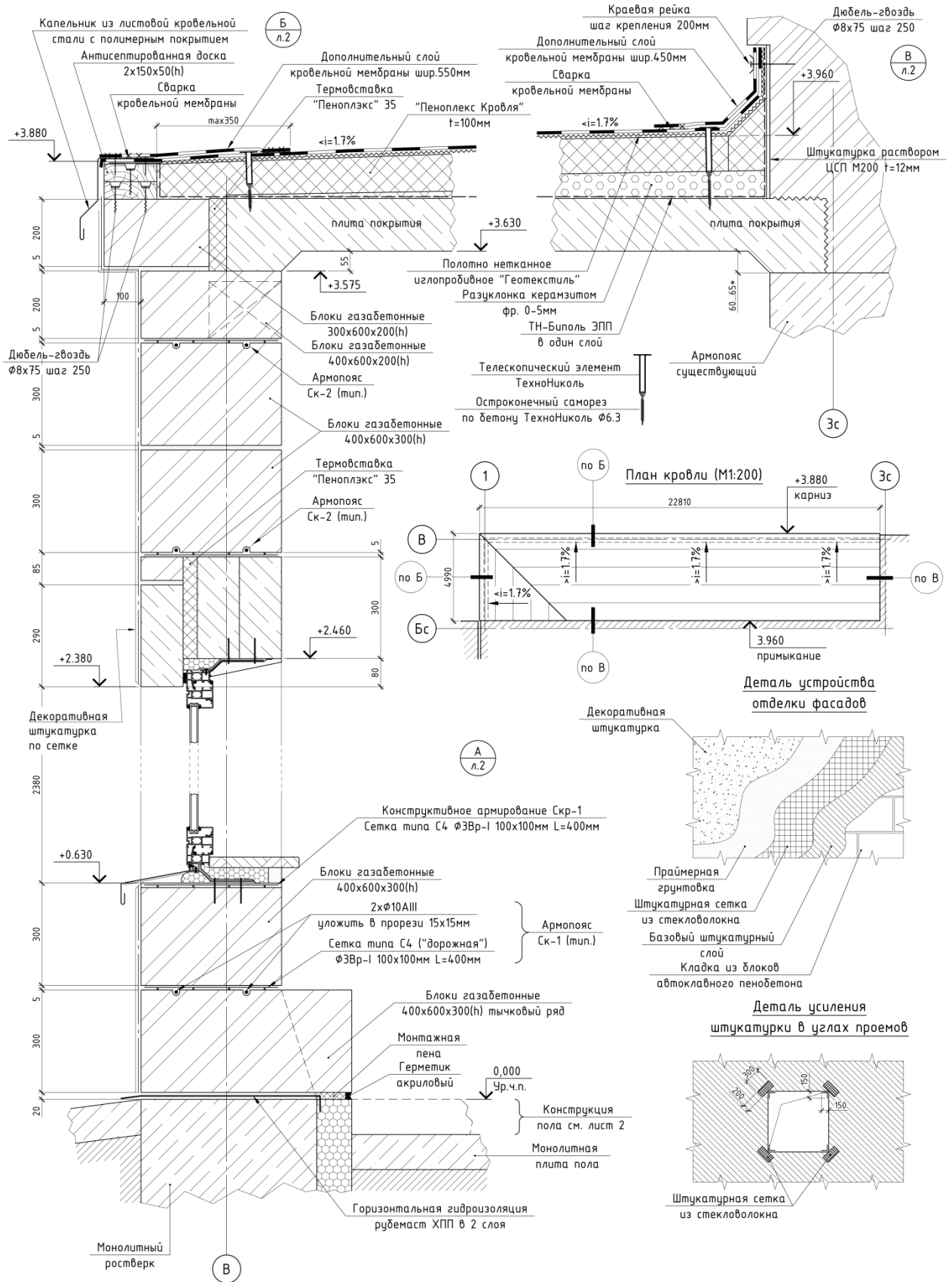


Источник: 1. СП 50.13330.2012, прил. В

Пример оформления графической части (план, фасад, разрез, многослойные конструкции полов и покрытия)



Пример оформления графической части (конструктивные решения наружных ограждений)



Примеры расчетов сопротивления теплопередаче и сопротивления паропроницанию отдельного фрагмента ограждающей конструкции и оформления* пояснительной записки к теплотехническим расчетам

1 Общая характеристика здания

Здание жилое предназначено для отдыха локомотивных бригад. На первом этаже размещены хозяйственно бытовые помещения, помещения персонала и комната отдыха, второй и третий этаж занимают жилые комнаты. В подвальном этаже размещены кладовые и подсобные помещения и узлы инженерных сетей.

Здание прямоугольное в плане с размерами 18.0х35.0м, в три этажа с подвалом и эксплуатируемым чердаком. Высота этажа – 3.0м, высота подвального этажа – 2.20м, полная высота здания от планировочной отметки 11,25м.

По пожарно-технической классификации Федерального закона №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и СНиП 21-01-97* "Пожарная безопасность зданий и сооружений", проектируемое здание относится к следующим классам и категориям:

- класс по функциональной пожарной опасности: Ф1.2;
- класс конструктивной пожарной опасности: СО;
- класс пожарной опасности строительных конструкций: КО;
- степень огнестойкости зданий (сооружений): II.

В соответствии с Федеральным законом №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»:

- уровень ответственности зданий и сооружений: КС-2;
- коэффициент надежности по ответственности: 1,0.

Конструктивные решения здания – бескаркасное здание с несущими наружными и продольными внутренними стенами. Фундамент ленточный монолитный железобетонный шириной 600 мм, ширина подошвы 1400 мм, глубина заложения фундамента – 3,25 м от отметки планировки земли.

* Примечание: в данном приложении приведен пример оформления пояснительной записки в рамках учебного проектирования в соответствии с требованиями [7].

Продолжение прил. 4

Несущие стены выше отм. 0,000 из полнотелого керамического кирпича толщиной 380 мм, ниже отм. 0,000 из бетонных фундаментных стеновых блоков толщиной 400мм. Межэтажные перекрытия из многопустотных ж/б плит толщиной 200мм. Крыша чердачного типа, двускатная с уклоном 25° выполнена из пиломатериалов II сорта. Покрытие кровли фальцевое по сплошной обрешетке. Внутренние перегородки из полнотелого керамического кирпича толщиной 120мм и из гипсоволоконных листов толщиной 146 мм.

Заполнение проемов: оконных – оконными блоками из ПВХ-профилей с двухкамерными стеклопакетами; дверных (наружных) – дверными блоками с глухим деревянным полотном.

Площадь застройки 630м², общая площадь – 2487м², строительный объем - 8977,5м³, в том числе подземная часть – 1965,6м³.

2 Природно-климатические характеристики района строительства

Природно-климатические условия района строительства приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Природно-климатические характеристики района строительства

№ п/п	Наименование характеристики	Характеристика	Источник
1	Место строительства	г. Н.	по заданию
2	Климатический район и подрайон строительства	1В	СП 131.13330.2012 прил. А
3	Зона влажности района	влажная	СП 50.13330.2012 прил. В
4	Средняя температура наружного воздуха °С по месяцам: январь февраль март апрель май июнь июль август сентябрь октябрь ноябрь декабрь год (среднее)	- 22,4 - 17,4 - 8,1 +4,1 +11,7 +17,4 +21,0 +19,9 +13,3 +4,5 - 7,6 - 18,3 +1,5	СП 50.13330.2012 Табл. 5.1

Продолжение прил. 4

Окончание табл. 1

№ п/п	Наименование характеристики	Характерис- тика	Источник
1	Место строительства	г. Н.	по заданию
2	Климатический район и подрайон строительства	1В	СП 131.13330.2012 прил. А
3	Зона влажности района	влажная	СП 50.13330.2012 прил. В
4	Средняя температура наружного воздуха °С по месяцам: январь февраль март апрель май июнь июль август сентябрь октябрь ноябрь декабрь год (среднее)	- 22,4 - 17,4 - 8,1 +4,1 +11,7 +17,4 +21,0 +19,9 +13,3 +4,5 - 7,6 - 18,3 +1,5	СП 131.13330.2018 Табл. 5.1
5	Среднее значение парциального давления водяного пара наружного воздуха, Па по месяцам: январь февраль март апрель май июнь июль август сентябрь октябрь ноябрь декабрь год (среднее)	90 130 270 510 860 1470 2000 1910 1200 600 280 130 790	СП 131.13330.2018 Табл. 7.1
7	Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С, с обеспеченностью: - 0,98 - 0,92	- 31 - 27,2	СП 131.13330.2018 Табл. 3.1
8	Продолжительность и средняя температура воздуха, периода со средней суточной температурой воздуха < 8 °С	208 суток -9,1 оС	СП 131.13330.2018 Табл. 3.1
9	Продолжительность и средняя температура воздуха, периода со средней суточной температурой воздуха < 10 °С	223 суток -7,8 оС	СП 131.13330.2018 Табл. 3.1

3 Температурно-влажностный режим здания

В соответствии с назначением помещений параметры внутреннего микроклимата приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Температурно-влажностный режим здания

№ п/п	Наименование помещений / групп помещений	Параметры внутреннего микроклимата			Влажностный режим помещений зданий	Условия эксплуатации ограждающей конструкции и её элементов
		температура внутр. воздуха $t_{в}$, °C	относительная влажность внутр. воздуха $\phi_{в}$, °C	точка росы, t_p , °C		
1	Жилые и хозяйственно-бытовые помещения	20	55	10,7	нормальный	Б
2	Кладовые и подсобные помещения (подв.)	18	35	11,6	сухой	Б
3	Технические помещения узлов инженерных сетей	17	35	5,1	сухой	Б

4 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций, отдельных фрагментов и элементов

4.1 Теплотехнический расчет стены выше отм. 0.000

4.1.1 Определение уровня тепловой защиты

Определение уровня тепловой защиты здания по показателю «а» (по приведенному сопротивлению теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания).

Требуемое сопротивление теплопередачи $R_{тр}$, ограждающих конструкций, исходя из условий энергосбережения, следует определять по [4] в зависимости от показателя градусо-суток отопительного периода, определяемого по формуле

$$ГСОП = (t_g - t_{от}) Z_{от}, \quad (1)$$

где $Z_{от}$ – средняя продолжительность относительного периода, со среднесуточной температурой воздуха ниже или равной 8⁰C, $Z_{от} = 208$ сут.;

$t_{от}$ – средняя температура отопительного периода, °C $t_{от} = -9,1$ °C;

$$ГСОП = (20 + 9,1) \cdot 208 = 6053 \text{ } ^\circ\text{C-сут.}$$

Расчет нормируемого сопротивления теплопередаче элементов ограждающих конструкций также можно определить по формуле

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

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

a , b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным табл. 3 СП 50.13330.2012 (табл. 5 данной работы) для соответствующих групп зданий.

$$R_{0,cm}^{mp} = 0,00035 \cdot 6053 + 1,4 = 3,52 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}.$$

4.1.2 Проектирование конструкции наружной стены

Несущий конструкционный слой наружной стены проектируемого здания из полнотелого керамического кирпича толщиной 380 мм, для обеспечения сопротивления теплопередачи не ниже нормируемого необходимо предусмотреть дополнительные теплоизоляционный и отделочно-лицевой слои.

Исходя из расчетных значений ГСОП и нормируемого сопротивления теплопередаче принимаем конструктивное решение наружной стены – трехслойная с теплоизоляцией посередине, в качестве теплоизоляционного материала – пенополистирол и облицовкой кладкой пустотелым лицевым кирпичом с расшивкой швов.

Конструкция стены показана на рисунке 1. Связь лицевой кладки с несущим слоем посредством установки стеклопластиковых анкеров с шагом 380х375(н)мм (поз. 5 на рисунке 1)

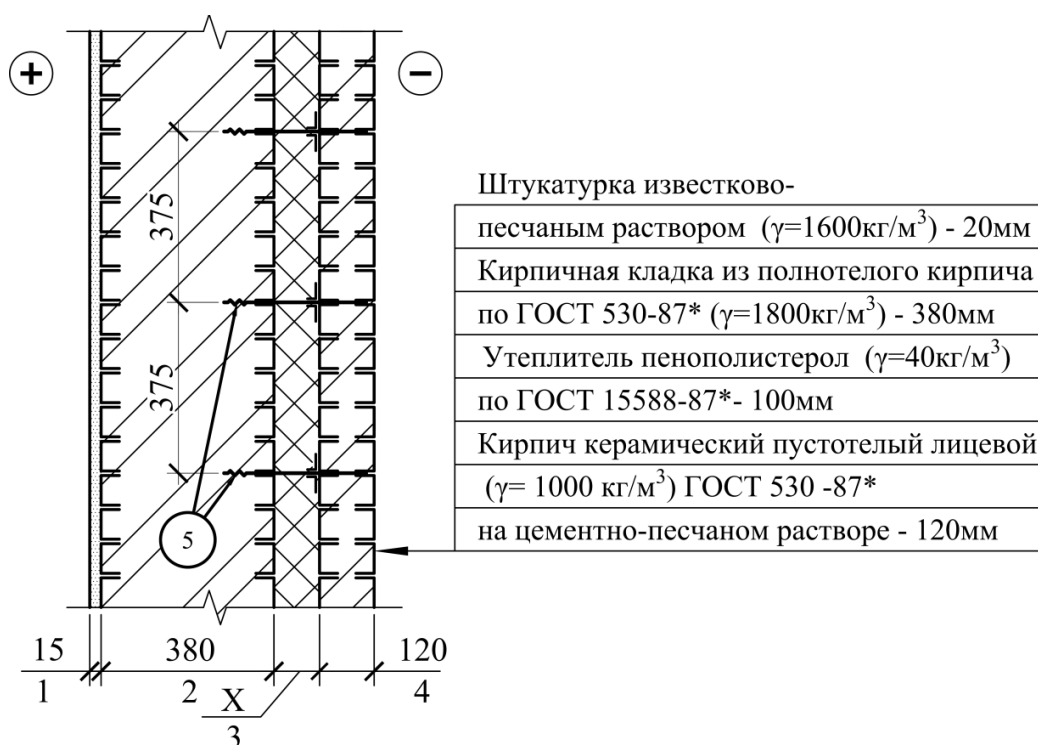


Рисунок 1 – Конструкция наружной стены

Теплотехнические характеристики материалов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Теплотехнические характеристики материалов при условии эксплуатации ограждающей конструкции «Б»

№ слоя	Наименование материала	Удельный вес γ_0 , кг/м ³	Толщина слоя δ , мм	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м ⁰ С	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/м ² ·ч·Па
1	Внутренняя известково-песчаная штукатурка	1600	15	0,88	0,11
2	Кирпич глиняный (ГОСТ 530-87*) на цементно-песчаном растворе.	1800	250	0,81	0,11
3	Пенополистирол (ГОСТ 15588-87*)	40	x	0,04	0,05
4	Кирпич керамический пустотелый лицевой плотностью 1000 кг/м ³ (ГОСТ 530-87*) на цементно-песчаном растворе	1200	120	0,52	0,17

Продолжение прил. 4

Далее расчетом определяется требуемая толщина теплоизоляционного материала. Условное сопротивление теплопередаче $R_0^{усл}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, однородной однослойной или многослойной ограждающей конструкции с однородными слоями или ограждающей конструкции в удалении от теплотехнических неоднородностей не менее чем на две толщины ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$R_0^{усл} = 1/\alpha_{\text{в}} + \sum R_i + 1/\alpha_{\text{н}}, \quad (3)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, принимаемый по табл. 6 СП 50.13330.2012 (табл. 8 данной работы);

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкций для условий холодного периода, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ принимаемый по табл. 6 СП 50.13330.2012 (табл. 10 данной работы).

Термическое сопротивление слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, с последовательно расположенными однородными слоями следует определять как сумму термических сопротивлений отдельных слоев.

Термическое сопротивление R_i , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, однородного слоя многослойной ограждающей конструкции, а также однослойной ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$R = \delta/\lambda, \quad (4)$$

где δ – толщина слоя, м;

λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

Из условия $R_0 \geq R_{\text{тр}}$ минимальное значение толщины утеплителя можно выразить формулой

$$\delta_{\text{ут}} = \frac{\lambda_{\text{ут}}(R_0^{мп} - 1/\alpha_{\text{в}} - 1/\alpha_{\text{н}} - \sum R_i)}{r}, \quad (5)$$

где $\delta_{\text{ут}}$ – толщина слоя утеплителя, м;

$\lambda_{\text{ут}}$ – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя утеплителя, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$;

$\sum R_i$ – сумма значений термических сопротивлений слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$

r – коэффициент теплотехнической неоднородности (для сплошной кладки из полнотелого керамического кирпича с эффективным утеплителем посередине с неметаллическими связями принимаем равным 0,95).

$$\sum R_i = 0,015/0,88 + 0,38/0,81 + 0,12/0,52 = 0,717 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$\delta_{yt} = \frac{0,04(3,52 - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} - 0,717)}{0,95} = 0,111.$$

В целях унификации принимаем толщину слоя утеплителя 0,12м, таким образом

$$R_{ym} = 0,12/0,04 = 3,0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

$$\sum R_i = 0,717 + 3,0 = 3,72 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

$$R_{0,cm}^{ycl} = 1/8,7 + 3,72 + 1/23 = 3,875 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче проектируемой стены

$$R_{0,ст}^{np} = R_{0,cm}^{ycl} r, \quad (6)$$

$$R_{0,cm}^{np} = 3,875 \cdot 0,95 = 3,68 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}. > R_{тр} = 3,52 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

На основании выполненных расчетов устанавливаем, что ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям в отношении сопротивления теплопередачи по показателю «а».

Уровень тепловой защиты здания по показателю «в» (санитарно-гигиенический, включающий температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающих конструкций и температуру на внутренней поверхности выше температуры точки росы).

Расчетный температурный перепад Δt_0 , $^\circ\text{C}$, между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции не должен превышать нормируемых величин $\Delta t_{н}$, $^\circ\text{C}$,

установленных табл. 5 СП 50.13330.2012 (табл. 7 данной работы) ($\Delta t_{\text{н}} = 4,0^{\circ}\text{C}$), и определяется по формуле

$$\Delta t_0 = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{R_0^{np} \alpha_{\text{в}}}, \quad (7)$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха;

$t_{\text{н}}$ – расчетная зимняя температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, $^{\circ}\text{C}$;

R_0^{np} – приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;

$\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций.

$$\Delta t_0 = \frac{(20 + 27,2)}{3,68 \cdot 8,7} = 1,47 < \Delta t_{\text{н}} = 4,0^{\circ}\text{C}$$

На основании выполненных расчетов устанавливаем, что ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям СП 50.13330.2012 в отношении сопротивления теплопередаче по показателю «в».

4.1.3 Расчет распределения температуры по сечению ограждения

Расчет распределения температуры по сечению проектируемой стены и температуру τ_i в любом сечении можно выразить по формуле

$$\tau_i = t_{\text{в}} - \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{R_{0,cm}^{ysl}} \cdot (\Sigma R_i), \quad (8)$$

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

$R_{0,cm}^{ysl}$ – условное сопротивление теплопередаче проектируемой стены, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;

ΣR_i – сумма термических сопротивлений слоев конструкции, расположенных от плоскости внутренней поверхности и плоскости, в сечении которой рассчитывается τ_i , $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Расчет распределения температуры в многослойной ограждающей конструкции сводим в таблицу.

Таблица 4 - Расчет распределения температуры в многослойной ограждающей конструкции в характерных точках сечения

№ сеч.	$t_b, ^\circ\text{C}$	$t_n, ^\circ\text{C}$	$R_{0,cm}^{уст}, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$\sum R_i, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$t_d, ^\circ\text{C}$	$\tau_i, ^\circ\text{C}$
1	2	3	4	5	6	7
X 1-1	20,00	-27,20	3,88	0,00	10,70	$\tau_b = 18,60$
X 2-2				0,02		$\tau_1 = 18,39$
X 3-3				0,49		$\tau_2 = 12,67$
X 4-4				3,49		$\tau_3 = -23,87$
X 5-5				3,72		$\tau_n = -26,68$

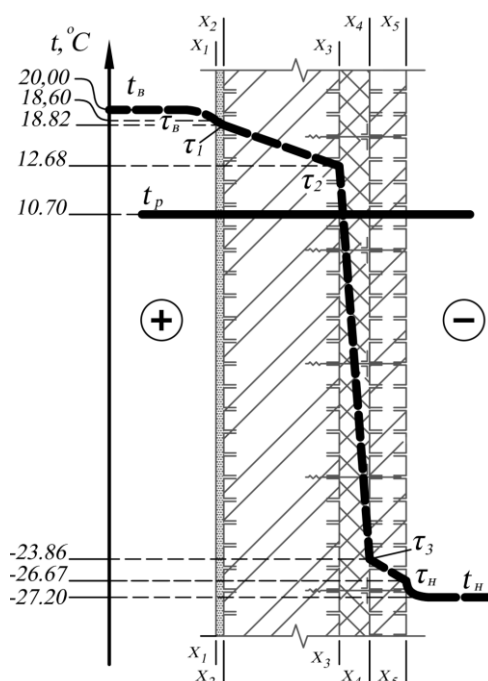


Рисунок 2 - Одномерное поле распределения температуры по сечению стены.

5 Расчет сопротивления паропроницанию

5.1 Определения плоскости максимального увлажнения

Для многослойных ограждающих конструкций с выраженным теплоизоляционным слоем (термическое сопротивление теплоизоляционного слоя больше $2/3 R_0^{np}$ в данном случае слой пенополистерола) и наружным защитным слоем, коэффициент паропроницаемости материала которого меньше, чем у материала теплоизоляционного слоя, допускается принимать

плоскость максимального увлажнения на наружной границе утеплителя при условии выполнения неравенства

$$\frac{\mu_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} > 2, \quad (9)$$

$$\frac{\mu_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} = \frac{0,05}{0,04} = 1,25 < 2$$

Таким образом, определение плоскости максимального увлажнения следует определять в соответствии с [1]. Для каждого слоя многослойной конструкции вычисляется значение комплекса $f_i(t_{\text{м.у.}})$, характеризующего температуру в плоскости максимального увлажнения по формуле

$$f_i(t_{\text{м.у.}}) = 5300 \frac{R_{\text{о.п}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н.отр}})}{R_{\text{о}}^{\text{пр}}(e_{\text{в}} - e_{\text{н.отр}})} \cdot \frac{\mu_i}{\lambda_i}, \quad (10)$$

где $R_{\text{о.п}}$ – общее сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции многослойной ограждающей конструкции равно сумме сопротивлений паропроницанию составляющих ее слоев, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$;

$t_{\text{н.отр}}$ – средняя температура наружного воздуха для периода с отрицательными среднемесячными температурами, $^{\circ}\text{C}$;

$e_{\text{н.отр}}$ – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, Па .

Сопротивление паропроницанию $R_{\text{пи}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, однослойной или отдельного слоя многослойной ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$R_{\text{пи}} = \delta_i / \mu_i, \quad (11)$$

где δ_i – толщина слоя ограждающей конструкции, м ;

μ_i – расчетный коэффициент паропроницаемости материала слоя ограждающей конструкции, $\text{мг} / (\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$.

Сопротивление паропроницанию многослойной ограждающей конструкции (или ее части) равно сумме сопротивлений паропроницанию составляющих ее слоев.

Продолжение прил. 4

$$R_{o,n} = 0,015/0,11+0,38/0,11+0,12/0,05+0,12/0,17 = 6,70 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{Вт};$$

$$e_{n,omp} = (90+130+270+280+130) / 5 = 180 \text{ Па};$$

$$t_{n,omp} = (-22,4-17,4-8,1-7,6-18,3)/5 = -14,76 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$f_i(t_{m,y}) = 5300 \frac{6,70(22 - (-14,76))}{3,68(1286 - 180)} \cdot \frac{\mu_i}{\lambda_i} = 320 \cdot \frac{\mu_i}{\lambda_i}$$

Рассчитываем значение комплекса $f_i(t_{m,y})$ для каждого слоя результаты сводим в таблицу 5.

Производим расчет температуры на границах слоев по формуле (8) при средней температуре наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами (-14,76 °C), результаты сводим в таблицу 6

Таблица 5 – Расчет распределения температуры в многослойной ограждающей конструкции в характерных точках сечения

№ сеч.	$t_b, ^\circ\text{C}$	$t_n, ^\circ\text{C}$	$R_{0,cm}^{усл}, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$\sum R_i, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$t_p, ^\circ\text{C}$	$\tau_i, ^\circ\text{C}$
1	2	3	4	5	6	7
X 1-1	20,00	-14,76	3,88	0,00	10,70	$\tau_0 =$ 18.97
X 2-2				0,02		$\tau_1 =$ 18.82
X 3-3				0,49		$\tau_2 =$ 14.61
X 4-4				3,49		$\tau_3 =$ -12.30
X 5-5				3,72		$\tau_n =$ -14.37

Таблица 6 – Сравнения значений $t_{m,y}$ в плоскости максимального увлажнения с температурами на границах слоев ограждающей конструкции

№ слоя	Наименование материала	$f_i(t_{m,y})$	$t_{m,y}$	Температура на границах слоев	
1	Внутренняя известково-песчаная штукатурка	40	18	$\tau_b = 18,97$	$\tau_1 = 18,82$
2	Кирпич глиняный (ГОСТ 530-87*) на цементно-песчаном растворе.	43	17	$\tau_1 = 18,82$	$\tau_2 = 14,61$
3	Пенополистирол (ГОСТ 15588-87*)	400	-18	$\tau_2 = 14,61$	$\tau_3 = -12,30$
4	Кирпич керамический пустотелый лицевой плотностью 1000 кг/м ³ (ГОСТ 530-87*) на цементно-песчаном растворе	104	2	$\tau_3 = -12,30$	$\tau_n = -14,37$

На основании результатов расчетов по таблицам 5, 6 строим одномерное поле распределения температуры на границах слоев и $t_{м.у}$. По построениям на рисунке 3 видно что $t_{м.у}$ находится в интервале температур на границах конструкционного слоя кирпичной кладки, что свидетельствует о наличии плоскости максимального увлажнения в данном слое. При этом в сечении x_{4-4} у более холодного слоя (кладка их лицевого кирпича) $t_{м.у4}$ выше его температуры τ_3 ($t_{м.у4} > \tau_3$), а у более теплого слоя (слой утеплителя) $t_{м.у3}$ ниже его температуры τ_3 ($t_{м.у3} < \tau_3$), что также свидетельствует о наличии плоскости максимального увлажнения на границе этих слоев. Таким образом при расчете обнаружилось две плоскости максимального увлажнения, согласно указаниям СП 50.13330 за расчетную принимается та что расположена на границе слоя утеплителя.

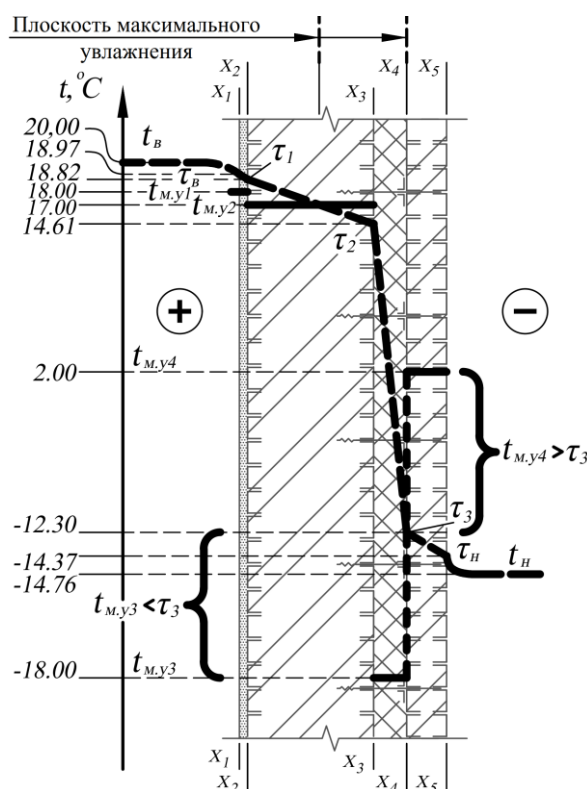


Рисунок 3 - Одномерное поле распределения температур на границах слоев и $t_{м.у}$ в многослойной ограждающей конструкции.

5.2 Определения нормируемого сопротивления паропроницанию

Сопротивление паропроницанию $R_{п}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения) должно быть не менее нормируемых сопротивления паропроницанию $R_{п}^{\text{нр}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, определяемых по формулам (12) и (13)

$$R_{п1}^{тп} = (e_{в} - E)R_{п.н}/(E - e_{н}), \quad (12)$$

$$R_{п2}^{тп} = 0,0024z_0(e_{в} - E_0)/(\rho_w \delta_w \Delta w + \eta), \quad (13)$$

где $e_{в}$ – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле

$$e_{в} = (\varphi_{в}/100)E_{в}, \quad (14)$$

где $E_{в}$ – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре $t_{в}$, определяется по формуле

$$E = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(\frac{-5330}{273 + t}\right), \quad (15)$$

$$E_{в} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(\frac{-5330}{273 + 20}\right) = 2338 \text{ Па};$$

$\varphi_{в}$ – относительная влажность внутреннего воздуха (55 %);

$$e_{в} = (55/100) \cdot 2338 = 1286 \text{ Па};$$

$R_{п.н}$ – сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью максимального увлажнения, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$;

$e_{н}$ – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период, Па;

z_0 – продолжительность периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха, сут;

E_0 – парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами, Па;

ρ_w – плотность материала увлажняемого слоя, принимаемая равной ρ_0 , $\text{кг} / \text{м}^3$;

δ_w – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, принимаемая равной $2/3$ толщины однородной (однослойной) стены или

толщине теплоизоляционного слоя (утеплителя) многослойной ограждающей конструкции, м;

Δw – предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя за период влагонакопления z_0 , принимаемое по табл. 10 СП 50.13330.2012 (табл. 13 данной работы), %;

E – парциальное давление водяного пара, в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации, Па определяемое по формуле

$$E = (E_1 \cdot z_1 + E_2 \cdot z_2 + E_3 \cdot z_3) / 12, \quad (16)$$

где E_1, E_2, E_3 – парциальное давление водяного пара, Па, принимаемое по температуре в плоскости максимального увлажнения, устанавливаемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемое согласно указаниям примечаний к этому пункту; z_1, z_2, z_3 – продолжительность, мес, зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, определяемая с учетом следующих условий: а) к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус 5 °С; б) к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус 5 до плюс 5 °С; в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами воздуха выше плюс 5 °С;

η – коэффициент, определяемый по формуле

$$\eta = 0,0024 (E_0 - e_{н.отр}) z_0 / R_{п.н}, \quad (17)$$

где $e_{н.отр}$ – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, по таблице 1.

Продолжительность периодов и их средняя температура определяются по таблице 1, а значения температур в плоскости максимального увлажнения τ_i , соответствующие этим периодам, по формуле

$$\tau_i = t_b - (t_b - t_i) \sum R_i / R_0, \quad (18)$$

где t_b – расчетная температура внутреннего воздуха °С, принимаемая для жилого здания равной 20 °С;

t_i – расчетная температура наружного воздуха i -го периода принимаемая равной средней температуре соответствующего периода, °C;

$\sum R_i$ – термическое сопротивление слоя ограждения в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Термическое сопротивление слоя ограждения в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения принимаем по результатам расчета по таблице 3

$$\sum R = 3,49 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Установим для периодов их продолжительность z_i , сут, среднюю температуру, °C, и рассчитаем соответствующую температуру в плоскости максимального увлажнения τ_i , °C, по формуле (8) для климатических условий:

зима (январь, февраль, март, ноябрь, декабрь):

$$z_1 = 5 \text{ мес};$$

$$t_1 = [(-22,4) + (-17,4) + (-8,1) + (-7,6) + (-18,3)]/5 = -14,76 \text{ °C};$$

$$\tau_1 = 20 - (20 + 14,76)(0,115 + 3,49)/3,88 = -12,30 \text{ °C};$$

весна - осень (апрель, октябрь):

$$z_2 = 2 \text{ мес};$$

$$t_2 = [(4,1 + 4,5)]/2 = 4,3 \text{ °C};$$

$$\tau_2 = 20 - (20 - 4,3)(0,115 + 3,49)/3,88 = 5,41 \text{ °C};$$

лето (май - сентябрь):

$$z_3 = 5 \text{ мес};$$

$$t_3 = (11,7 + 17,4 + 21 + 19,9 + 13,3)/5 = 16,66 \text{ °C};$$

$$\tau_3 = 20 - (20 - 16,66)(0,115 + 3,49)/3,88 = 16,90 \text{ °C}.$$

По температурам (τ_1 , τ_2 , τ_3) для соответствующих периодов определяем парциальные давления (E_1 , E_2 , E_3) водяного пара по формуле (15)

$$E_1 = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(\frac{-5330}{273 - 12,3}\right) = 243 \text{ Па};$$

$$E_2 = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(\frac{-5330}{273 + 5,41}\right) = 892 \text{ Па};$$

$$E_3 = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(\frac{-5330}{273 + 16,9}\right) = 1905 \text{ Па};$$

по формуле (12) определим парциальное давление водяного пара E , Па, в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации ограждающей конструкции для соответствующих продолжительностей периодов z_1, z_2, z_3 .

$$E = (243 \cdot 5 + 892 \cdot 2 + 1905 \cdot 5) / 12 = 1043.67 \approx 1044 \text{ Па}.$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного за годовой период по таблице 1

$$e_{\text{сод}} = 790 \text{ Па}.$$

Сопротивление паропроницанию многослойной ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения

$$R_{\Pi} = 0,015/0,11 + 0,38/0,11 + 0,12/0,05 = 5,99 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Сопротивление части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью максимального увлажнения

$$R_{\Pi.н} = 0,12/0,17 = 0,71 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

По формуле (16) определяем нормируемое сопротивление паропроницанию из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации

$$R_{\Pi 1}^{\text{нр}} = (1286 - 1044) \cdot 0,71 / (1044 - 790) = 0,67 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Для расчета нормируемого сопротивления паропроницанию $R_{\Pi 2}^{\text{нр}}$ из условия ограничения влаги за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха берут определенную ранее продолжительность этого периода z_0 , сут, среднюю температуру этого периода t_0 , °C: $z_0 = 152$ сут, $t_0 = -14,76$ °C.

Температуру в плоскости максимального увлажнения для этого периода принимаем по таблице 4 для сечения x_{4-4} $\tau_0 = -12,30^\circ\text{C}$. Парциальное давление водяного пара E_0 , Па, в плоскости максимального увлажнения при $\tau_0 = -12,29^\circ\text{C}$ равным $E_0 = 243$ Па.

В многослойной ограждающей конструкции увлажняемым слоем является утеплитель, плотностью $\rho_w = \rho_0 = 40 \text{ кг/м}^3$ при толщине $\delta_w = 0,12 \text{ м}$.

Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в этом материале $\Delta w = 25 \%$. Средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами равна

$$e_{н.отр} = (900+130+270+130+280)/5 = 180 \text{ Па}.$$

Определяем значение коэффициента η

$$\eta = 0,0024(243 - 180)159/0,71 = 33,86$$

Определим $R_{n2}^{тп}$ по формуле (13)

$$R_{n2}^{тп} = 0,0024 \cdot 159(1286 - 243)/(40 \cdot 0,12 \cdot 25 + 33,86) = 2,59 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}.$$

При сравнении полученного значения R_n с нормируемым устанавливаем, что $R_n = 5,99 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг} > (R_{n2}^{тп} = 2,59; R_{n1}^{тп} = 0,67 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг})$ следовательно, ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям в отношении сопротивления паропрооницанию.

5.3 Расчет распределения парциального давления водяного пара по толще стены и определение возможности образования конденсата в толще стены

Для проверки конструкции на наличие зоны конденсации внутри стены по температурам на границах слоев ограждающей конструкции (см. табл. 4 графа 7), определяем значения максимального давления водяного пара E_i .

Действительные парциальные давления e_i водяного пара на границах слоев определяем по формуле

$$e_i = e_b - \frac{(e_b - e_n)}{R_n} \cdot \sum R_{ni}, \quad (19)$$

где e_n – значение парциального давления водяного пара наружного воздуха соответствующего расчетного периода года;

$\sum R_{\text{пi}}$ - сумма значений сопротивлений паропрооницанию слоев, считая от внутренней поверхности.

Расчет распределения парциального давления водяного пара в ограждающей конструкции сводим в таблицу 7. Для наглядности расчета построим одномерное поле распределения максимального парциального давления E_i водяного пара и график изменения действительного парциального давления e_i водяного пара по толще стены в масштабе сопротивлений паропрооницанию его слоев (рисунок 4).

Таблица 7 - Расчет распределения парциального давления водяного пара в ограждающей конструкции

№ сеч.	e_v , Па	e_n , Па	$R_{\text{п}}$, м ² ·ч·Па/мг	$\sum R_{\text{пi}}$, м ² ·ч·Па/мг	E_i , Па	e_i , Па
1	2	3	4	5	6	7
X 1-1	1286	90	6,70	0,00	2142	$e_v =$ 1286
X 2-2				0,14	2115	$e_1 =$ 1262
X 3-3				3,59	1375	$e_2 =$ 645
X 4-4				5,99	69	$e_3 =$ 216
X 5-5				6,70	53	$e_n =$ 90

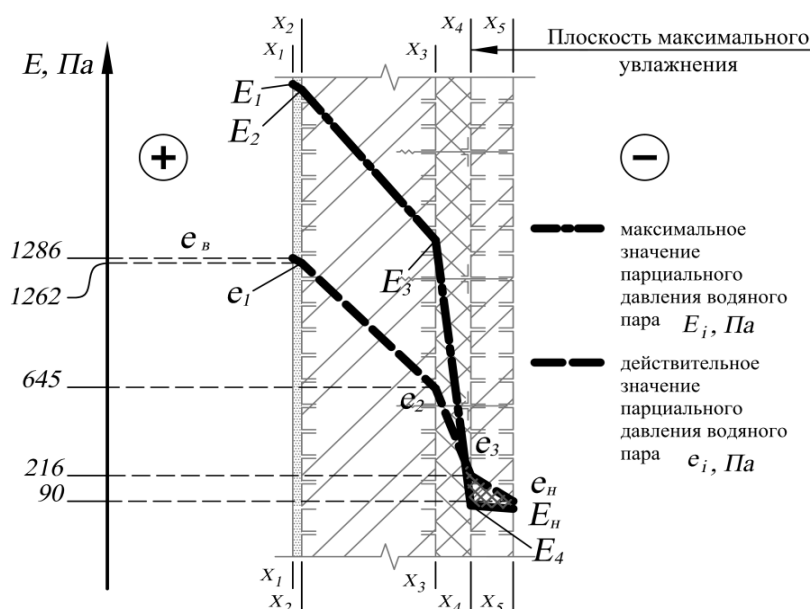


Рисунок 4 - Одномерное поле распределения парциального давления водяного пара в ограждающей конструкции

При сравнении величин максимального парциального давления E_1 водяного пара и величин действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев видим, что все величины e_i ниже величин E_i , за исключением сечений X_{4-4} , X_{5-5} . В данной области наблюдается пересечение кривых, что говорит о возможности конденсации водяного пара в ограждающей конструкции.

В целях исключения возможности конденсации влаги, предусматриваем устройство пароизоляции битумно-кукерсольной мастикой по внутренней поверхности утеплителя (в сечении X_{3-3}). Окончательная конструкция наружного ограждения приведена на рисунке 5.

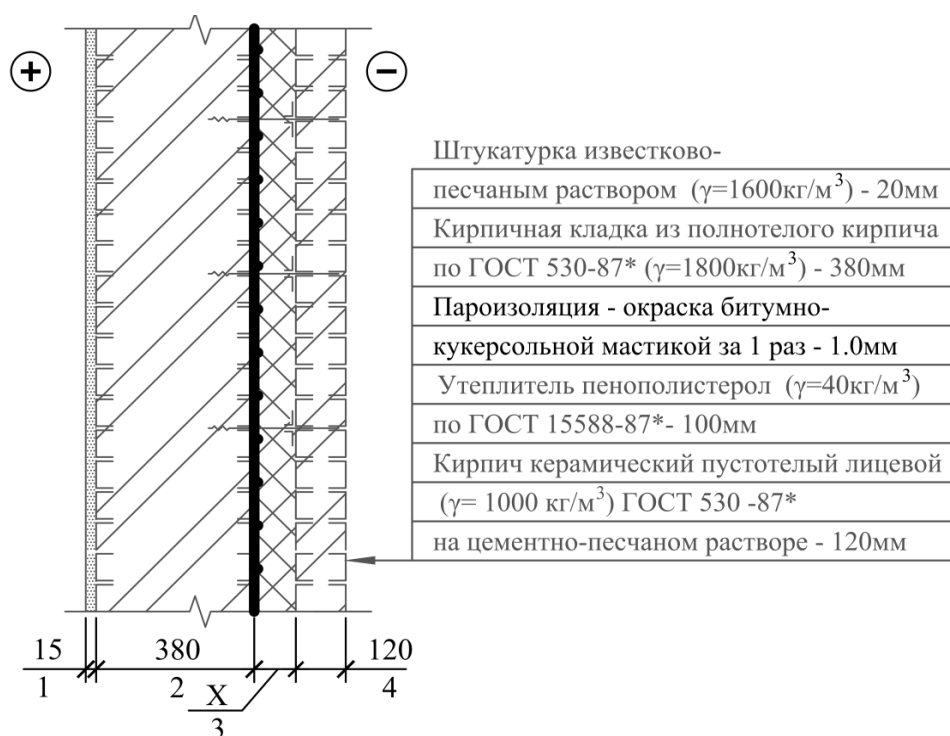


Рисунок 5 – Окончательный вариант конструкции наружной стены

6. Заключение

Проведенные расчеты подтверждают соответствие принятой трехслойной конструкции стены выше отм. 0,000 требованиям, предъявляемым отдельным ограждающим конструкциям входящих в состав теплозащитной оболочки здания регламентированных СП 50.13330.2012 по параметрам «а»; «в», а так же в отношении паропроницаемости.

Методический пример расчёта удельной теплозащитной характеристики здания

Функциональное назначение объекта – здание для размещения регистратуры с гардеробом, холлом и колясочной.

Здание прямоугольной формы с размерами в плане 12х18м, одноэтажное, пристроено к существующему зданию детской диагностической поликлиники. Уровень чистого пола в проектируемой пристройке совмещен с полом существующего здания, высота этажа 3,30м в состав которого входят помещения охраны, регистратуры, помещения хранения уборочного инвентаря, гардероба и колясочной. План и разрез приведен на рисунках 1 и 2.

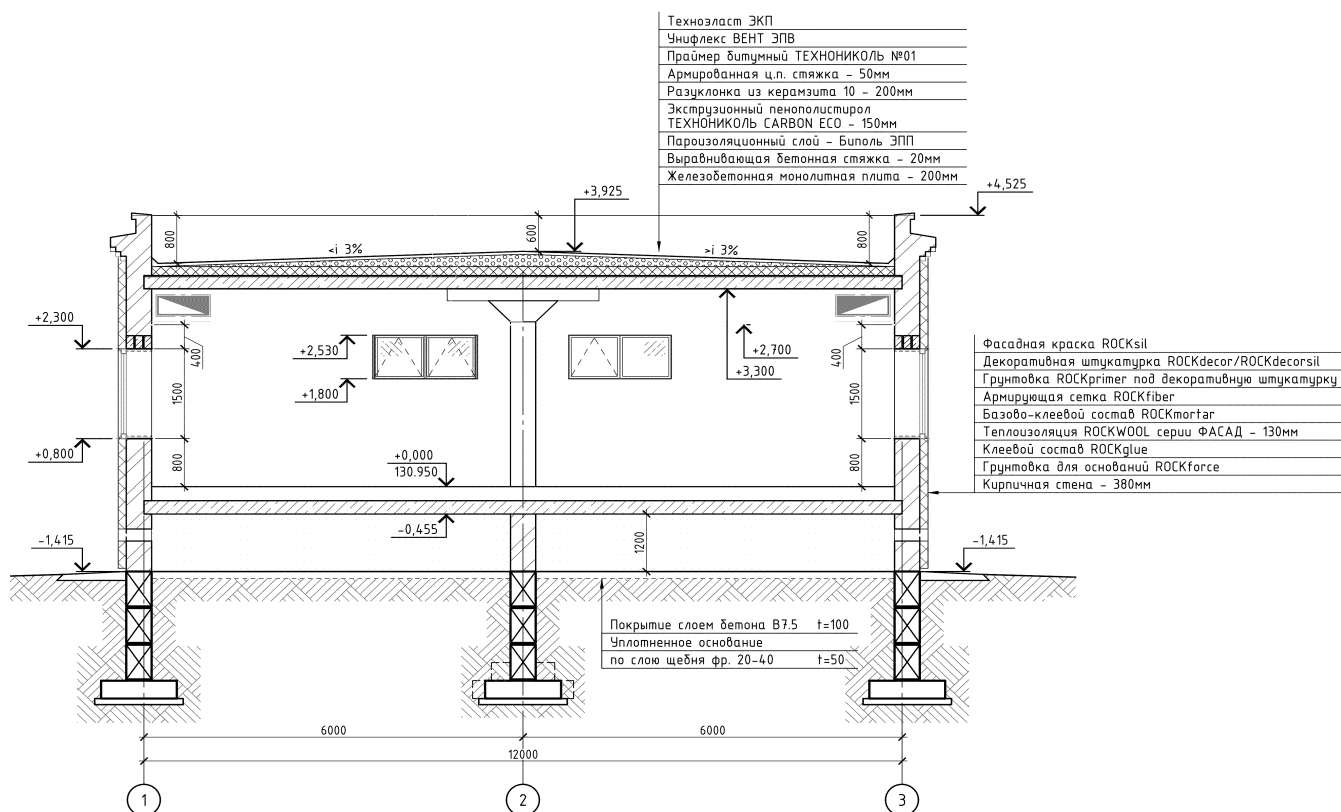


Рисунок 1 – Разрез проектируемого здания

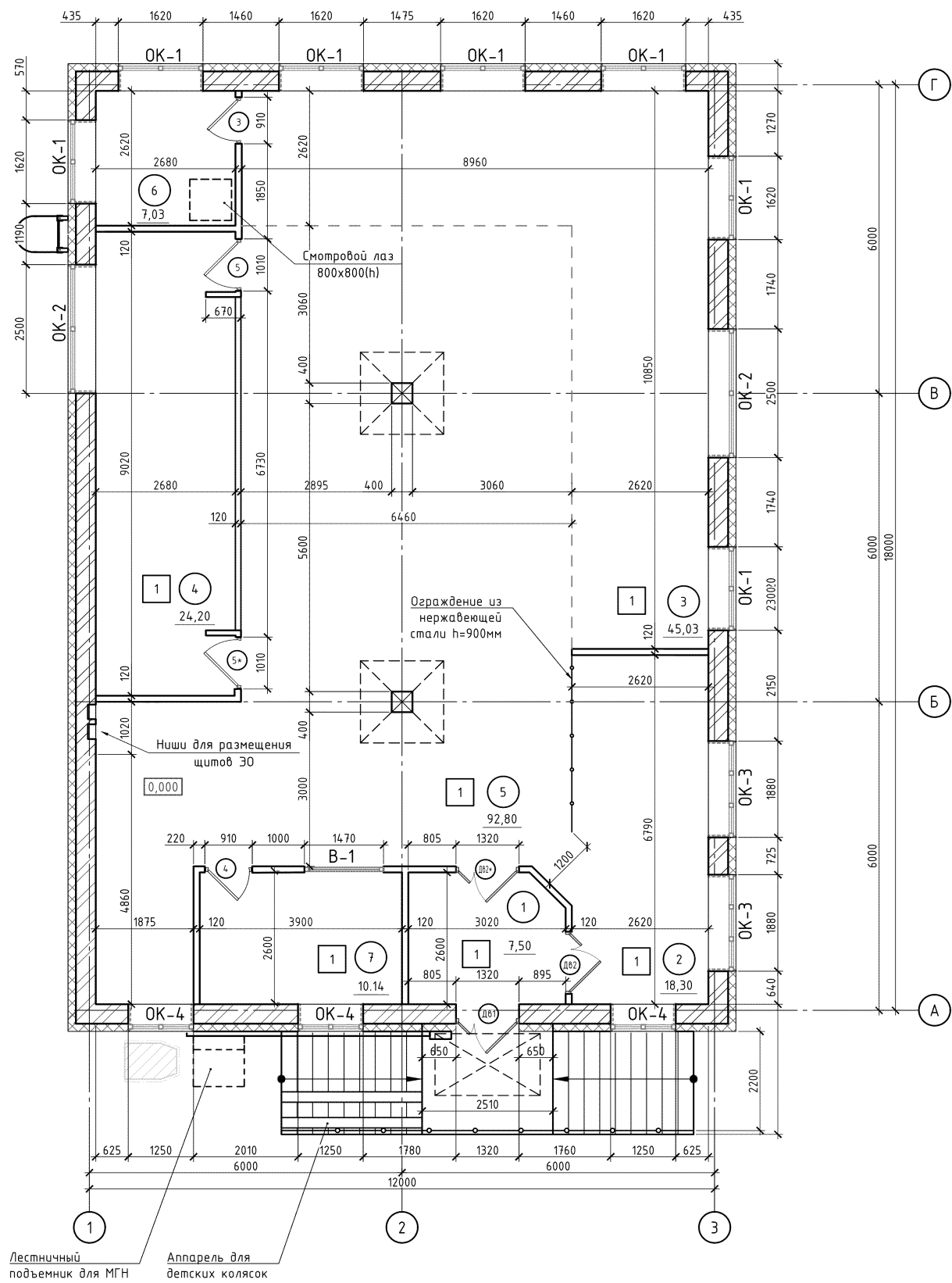


Рисунок 2 – План помещений проектируемого здания

При проектировании теплозащитной оболочки применены конструктивные решения наружных ограждающих конструкций с минимальным количеством теплопроводных включений. Сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций отапливаемой части здания и проверка соответствия их требованиям СП 50.13330.2012, (поэлементные требования)

Требуемое сопротивление теплопередаче:

а) Стены. Базовое значение поэлементных требований $R_{тр1} = 3.87$ (м²·°C)/Вт. Конструкция: кладка из полнотелого керамического кирпича обыкновенного (ГОСТ 530-2012) на цементно-песчаном растворе, толщина $\delta_1=380$ мм, коэффициент теплопроводности $\lambda_{б1}=0.81$ Вт/(м·°C), утеплитель минераловатный «ROCKWOOL ФАСАД БАТТС ОПТИМА» ($\gamma=180$ кг/м³; $\lambda_A=0.039$ Вт/(м·°C), $\lambda_B=0.041$ Вт/(м·°C), $\mu = 0.30$ мг/(м·ч·Па) толщиной 130 мм и отделочный слой декоративной штукатуркой ROCKdecor с последующей окраской ROCKsil, приведенное сопротивление теплопередаче принятой конструкции $R_{пст}^{пр} = 3.87$ (м²·°C)/Вт;

б) Совмещенное покрытие. Базовое значение поэлементных требований $R_{тр2} = 5.73$ (м²·°C)/Вт. Конструкция: монолитная плита толщиной 200 мм, утепленная плитами экструзионного пенополистерола «ТехноНиколь CARBON ECO» ($\gamma=40$ кг/м³; $\lambda_A=0.034$ Вт/(м·°C), $\lambda_B=0.040$ Вт/(м·°C), $\mu = 0.014$ мг/(м·ч·Па) толщиной 150 мм, керамзитовый гравий по уклону 10-200 мм, армированная стяжка из цементно-песчаного раствора толщиной 50 мм, сопротивление теплопередаче принятой конструкции $R_{пп}^{пр} = 5.74$ (м²·°C)/Вт;

в) Перекрытие над неотапливаемым пространством без сообщения с наружным воздухом. Базовое значение поэлементных требований $R_{тр3} = 5.08$ (м²·°C)/Вт. Конструкция: пустотная плита перекрытия толщиной 220 мм, утепленная плитами экструзионного пенополистерола ЭППС ($\gamma=40$ кг/м³; $\lambda_A=0.034$ Вт/(м·°C), $\lambda_B=0.040$ Вт/(м·°C), $\mu = 0.014$ мг/(м·ч·Па) толщиной 175 мм, армированная стяжка из цементно-песчаного раствора толщиной 40 мм, керамогранитная плитка на клеевом составе 20мм, приведенное сопротивление теплопередаче принятой конструкции $R_{пер}^{пр} = 5.53$ (м²·°C)/Вт;

г) Заполнение проемов

г.1) Окна - ПВХ профиль с двухкамерным однокамерным по ГОСТ 30674-99 с показателем приведенного сопротивления теплопередаче не менее 0,63 (м²·°C)/Вт класса В1, морозостойкого исполнения.

Продолжение прил. 5

г.2) Двери наружные - ПВХ профиль с однокамерным стеклопакетом по ГОСТ 30674-99 с показателем приведенного сопротивления теплопередаче не менее 0,63 (м²·°C)/Вт класса В1, морозостойкого исполнения.

Геометрические параметры здания приведены в таблице 1

Таблица 1 - Геометрические параметры здания.

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение	Ед.изм	Расчетное значение
1	Общая площадь ограждающих наружных конструкции здания	$A_{н\ сум}$	м2	651,06
	в том числе:			
1.1	Наружные стены	$A_{см1}$	м2	189,00
1.2	Окна	$A_{ок}$	м2	23,14
1.3	Входные двери	$A_{дв}$	м2	2,52
1.4	Совмещенное покрытие	$A_{пок}$	м2	218,20
1.5	Перекрытие над техническим подпольем	$A_{пер.}$	м2	218,20
2	Отапливаемый объем	$V_{от}$	м3	679,27

Расчетные параметры приведены в таблице 2

Таблица 2 - Расчетные параметры

№ п/п	Расчетные параметры	Обознач.	Ед.изм	Расчетное значение
1	Расчетная температура наружного воздуха (температура холодной пятидневки с обеспеченностью 0.92)	t_n	°C	-33
2	Нормативная температура внутреннего воздуха	$t_{в}$	°C	21-22
3	Расчетная температура внутреннего воздуха	$t_{в}$	°C	22
4	Средняя температура наружного воздуха отопительного периода	$t_{ом}$	°C	-9.4
5	Продолжительность отопительного периода	$Z_{ом}$	сут	225
6	Градусо-сутки отопительного периода ГСОП (по норм. значению $t_{в}$)	$ГСОП$	°C·сут	7 065
8	Относительная влажность внутреннего воздуха	$\phi_{в}$	%	55
9	Температура точки росы	t_p	°C	11,6

Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитывается по формуле:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{ом}} \sum_i n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{np}}, \quad (1)$$

где $V_{ом}$ – отапливаемый объем, $R_{o,i}^{np}$ – приведенное сопротивление теплопередаче i-го фрагмента теплозащитной оболочки здания, (м²·°C)/Вт,

$A_{\phi,i}$ - площадь соответствующего фрагмента теплозащитной оболочки здания, м²; $n_{t,i}$ - коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчете ГСОП, определяется по формуле:

$$n_t = \frac{t_{\text{в}}^* - t_{\text{от}}^*}{t_{\text{в}} - t_{\text{от}}} \quad (2)$$

где $t_{\text{в}}^*$, $t_{\text{от}}^*$ - средняя температура внутреннего и наружного воздуха для данного помещения, °С.

Техническое подполье (ниже отм. -0,455 см. рисунок 2) не отапливается, поэтому не входит в отапливаемый объем здания. В подполье расположена разводка труб отопления и водоснабжения, в среднем за отопительный период принимаем равным $t_{\text{nn}} = 7^\circ\text{C}$

Коэффициент, учитывающий отличие внутренней температуры технического подполья от температуры наружного воздуха, составляет

$$n_{\text{пер}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{nn}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{от}}} \frac{22 - 7}{22 - (-9,4)} = 0,48$$

Результаты расчета приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Детали расчета

№ п/п	Наименование ограждающей конструкции	Обознач.	Знач.	$n_{t,i}$	$A_{\phi,i}$, м ²	$n_{t,i} \cdot A_{\phi,i} / R_{o,i}^{\text{np}}$, Вт/°С	%
1	Наружные стены	$R_{\text{ст}}^{\text{np}}$	3.87	1,00	189,00	48,84	33,35%
2	Совмещенное покрытие	$R_{\text{пок}}^{\text{np}}$	5.74	1,00	218,20	38,01	25,96%
4	Перекрытие над техническим подпольем	$R_{\text{пер}}^{\text{np}}$	5.53	0,48	218,20	18,85	12,87%
5	Окна	$R_{\text{ок}}^{\text{np}}$	0.63	1,00	23,14	36,73	25,08%
6	Входные двери	$R_{\text{дв}}^{\text{np}}$	0.63	1,00	2,52	4,00	2,73%
			Сумма		651,06	146,43	100,00%

Как видно из расчетов, наибольший вклад в тепловые потери здания в данном случае вносят стены, окна, совмещенное покрытие. При этом если рассматривать распределение по площадям, то окна занимающие 4% от общей площади теплозащитной оболочки вносят 25% вклада по тепловым потерям.

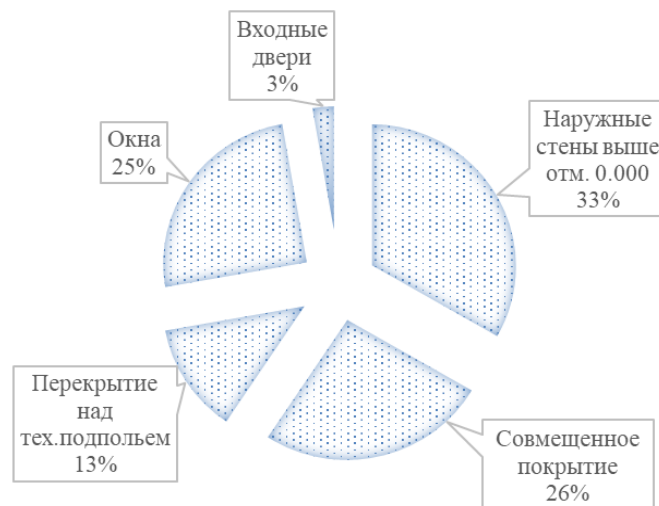


Рисунок 3 – Распределение ограждающих конструкций по тепловым потерям.

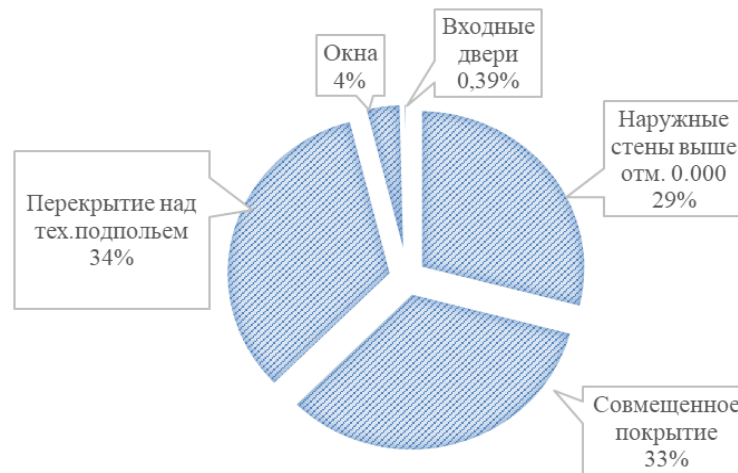


Рисунок 4 – Распределение ограждающих конструкций по площадям.

Далее произведем расчет удельной теплозащитной характеристики здания:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{ом}} \sum_i n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{np}} = \frac{1}{679,27} \cdot 146,43 = 0,22 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

Нормируемые значения $k_{об}^{mp}$ в зависимости от отапливаемого объема здания и определяется по формулам 3 и 4:

$$k_{об}^{тр} = \begin{cases} \frac{4,74}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{V_{от}}} & V_{от} \leq 960 \\ \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{от}}}}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} & V_{от} > 960 \end{cases} \quad (3)$$

$$k_{об}^{тп} = \frac{8,5}{\sqrt{ГСОП}} \quad (4)$$

Учитывая величину отопляемого объема, нормируемое значения определяется их двух величин:

$$k_{об1}^{mp} = \frac{4,74}{0,00013 \cdot ГСОП + 0,61} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{V_{от}}} = \frac{4,74}{0,00013 \cdot 7065 + 0,61} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{679,27}} = 0,35 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$k_{об2}^{mp} = \frac{8,5}{\sqrt{ГСОП}} = \frac{8,5}{\sqrt{7065}} = 0,10 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

и принимается равным $k_{об}^{mp} = 0,35 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$.

По результатам расчета, принятые решения соответствуют комплексному требованию по параметру «б»:

$$k_{об}^{mp} \geq k_{об} \quad 0,35 \geq 0,22 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}).$$

При этом следует отметить что величина отклонения расчетного значения $k_{об}$ от нормируемого $k_{об}^{mp}$ составляет:

$$\left(1 - \frac{k_{об}}{k_{об}^{mp}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{0,22}{0,35}\right) \cdot 100\% = 38,9\%$$

Что на данном этапе проектирования свидетельствует о значительном заделе для оптимизации теплозащитной оболочки. Таким образом могут быть выработаны следующие рекомендации: для наиболее материалоемких и технологически сложных, а следовательно дорогих ограждающих конструкций можно задать снижение требований по приведенному сопротивлению теплопередаче (для совмещенного покрытия, наружных стен и перекрытия над подпольем) при помощи коэффициента m_p (0,63 - для стен, 0,8 - для остальных ограждающих конструкций). Производим перерасчет, результаты расчета приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Детали перерасчета

№ п/п	Наименование ограждающей конструкции	Обознач.	Исходное знач.	m_p	Пониж. знач.	$n_{t,i}$	$A_{ф,i}, \text{м}^2$	$n_{t,i} \cdot A_{ф,i} / R_{o,i}^{np}$, Вт/°C	%
1	Наружные стены	$R_{ст}^{np}$	3.87	0,63	2,44	1,00	189,00	77,52	40,94%
2	Совмещенное покрытие	$R_{пок}^{np}$	5.74	0,80	4,59	1,00	218,20	47,52	25,10%
4	Перекрытие над техническим подпольем	$R_{пер}^{np}$	5.53	0,80	4,42	0,48	218,20	23,56	12,44%
5	Окна	$R_{ок}^{np}$	0.63	1,00	0.63	1,00	23,14	36,73	19,40%
6	Входные двери	$R_{дв}^{np}$	0.63	1,00	0.63	1,00	2,52	4,00	2,11%
			Сумма				651,06	189,33	100%

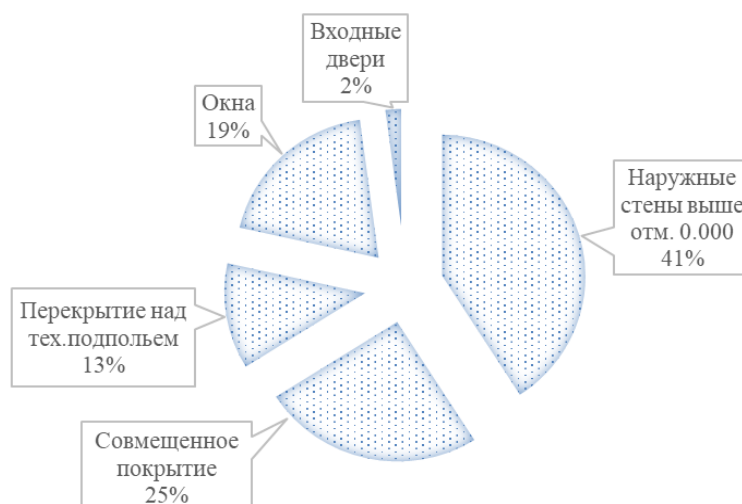


Рисунок 4 – Распределение ограждающих конструкций по тепловым потерям (после перерасчета)

$$k_{об} = \frac{1}{V_{ом}} \sum_i n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{np}} = \frac{1}{679,27} \cdot 189,33 = 0,28 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

По результатам перерасчета, снижение поэлементных требований $R_0^{\text{норм}}$ отдельных ограждающих конструкций соответствуют комплексному требованию по параметру «б»:

$$k_{об}^{mp} \geq k_{об} \quad 0,35 \geq 0,28 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Величина отклонения расчетного значения $k_{об}$ от нормируемого $k_{об}^{mp}$ после оптимизации составит

$$\left(1 - \frac{k_{об}}{k_{об}^{mp}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{0,28}{0,35}\right) \cdot 100\% = 20,99\%$$

В сложившейся практике проектирования, далее производится проверка на выполнения требований к удельной характеристике расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания с учетом пониженных значений, при условии выполнения требований, пониженные значения $R_0^{\text{норм}}$ считаются обоснованными, производится конструктивная оптимизация ограждающих конструкций в части уменьшения толщины утеплителя в указанных ограждающих конструкциях.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ	4
1.1. Общие положения	4
1.2. Содержание проекта ограждающей конструкции	4
2. ПОРЯДОК И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	5
2.1. Сбор исходных данных	5
2.1.1. Общая характеристика здания	5
2.1.2. Природно-климатические характеристики района строительства	6
2.1.3. Температурно-влажностный режим здания	6
2.1.4. Фасад, план типового этажа, разрез здания.....	10
2.2. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций, отдельных фрагментов и элементов.	11
2.2.1. Определение нормируемого уровня тепловой защиты.....	11
2.2.2. Поэлементные требования	11
2.2.2. Проектирование ограждающей конструкции отдельных фрагментов и элементов, обеспечивающих необходимую тепловую защиту зданий.....	15
2.2.3. Определение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции фрагмента или отдельного элемента.....	22
2.2.4. Ограничение температуры и конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающей конструкции.....	26
2.2.5. Расчет распределения температуры по сечению ограждения	27
2.3. Расчет сопротивления паропрооницанию элементов ограждающих конструкций (защита от переувлажнения ограждающих конструкций).....	27
2.4. Удельная теплозащитная характеристика здания (комплексное требование).....	37
2.5. Заключение о соответствии нормативным требованиям рекомендации по мероприятиям, направленным на достижение соответствия нормам в случае необходимости доработки конструкции ограждений	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	41
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	42
Приложение 1	43
Приложение 2	44
Приложение 3	45
Приложение 4	47
Приложение 5	67

Учебное издание

Осипов Павел Павлович, Тишков Николай Леонидович

**ЭЛЕМЕНТЫ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ЗДАНИЙ:
ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Учебное пособие

Отпечатано с авторского оригинала – макета

Дизайнер обложки И. Л. Тюкавкина

Подписано в печать 23.07.2021. Формат 60х84 1/16

Усл. печ. л. 3,8. Тираж 100 экз. Заказ 214

Издательство Тихоокеанского государственного университета.

680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.

Отдел оперативной полиграфии издательства Тихоокеанского государственного университета.

680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.