**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и оценки соответствия в строительстве»**

Методическое пособие

РАСЧЕТЫ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ

Москва 2017 г.

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
	Введение	4
1	Область применения	5
2	Нормативные ссылки	6
3	Термины и определения	7
4	Общие положения	10
5	Расчеты тепловой защиты зданий	11
5.1	Требования и методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции	11
5.2	Пример расчета приведенного сопротивления теплопередаче фасада жилого здания с использованием расчетов температурных полей	11
5.3	Требования и методика расчета удельной теплозащитной характеристики здания	20
5.4	Пример расчета удельной теплозащитной характеристики здания	21
5.5	Пример оптимизации теплозащитной оболочки здания по окупаемости энергосберегающих мероприятий	29
5.6	Пример расчета срока окупаемости утепления ограждений с дисконтированием промежуточных доходов	39
6	Расчет теплоустойчивости ограждающей конструкции	41
7	Проверка воздухопроницаемости ограждающей конструкции	44
8	Проверка защиты от переувлажнения ограждающей конструкции	45
8.1	Пример проверки защиты от переувлажнения ограждающей конструкции	45
8.2	Определение влажности внутреннего воздуха помещения	

с учетом наличия солей 56
9 Проверка теплоусвоения поверхности пола 60
10 Расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания и удельного расхода тепловой энергии 60
11 Пример заполнения энергетического паспорта проекта здания 67
12 Пример теплофизического расчета навесных фасадных систем с вентилируемой воздушной прослойкой 71
13 Пример расчета требуемых сопротивлений теплопередаче участков стен и окон, расположенных за остекленными лоджиями и балконами 83
Приложение А. Библиография 86
Приложение Б. Температуры точки росы t_d, °С, для различных значений температур t_{int} и относительной влажности φ_{int}, %, воздуха в помещении 87
Приложение В. Значения парциального давления насыщенного водяного пара E, па, для различных значений температур при B = 100,7 кПа 88
Приложение Г. Парциальное давление водяного пара E_p, Па, и относительная влажность воздуха φ_p, %, над насыщенными растворами смесей солей при давлении B = 100,7 кПа 90
Приложение Д. Парциальное давление водяного пара E_{pi}, Па, и относительная влажность воздуха φ_p, %, над насыщенными растворами отдельных солей при давлении B = 100,7 кПа 91
Приложение Е. Плотность и критерий μ/λ для основных строительных материалов 92

Введение

Настоящее Методическое пособие по расчету тепловой защиты зданий разработано в развитие Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Тепловая защита зданий регламентируется СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», содержащем обязательные нормативные требования и ключевые методики, а также СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты», содержащем методики и справочные материалы необходимые для расчетов. Настоящее методическое пособие содержит необходимые пояснения для практического применения перечисленных сводов правил и большое число примеров иллюстрирующих ход расчетов и проверок различных аспектов тепловой защиты.

Пособие построено аналогично перечисленным сводам правил, набор разделов и их нумерация по возможности совпадают.

Пособие разработал авторский коллектив федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук»: д. т. н. В.Г. Гагарин, к. т. н. В.В. Козлов, к. т. н. А.Ю. Неклюдов, к. т. н. П.П. Пастушков, к. т. н. Д.Ю. Желдаков, с участием к. т. н. Т.Ф. Ельчищевой (ГОУ ВПО «ТГТУ»).

1 Область применения

Настоящее Методическое пособие распространяется на проектируемые, реконструируемые и эксплуатируемые жилые и общественные здания. Уровень тепловой защиты указанных зданий устанавливается в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Основные методики проверки тепловой защиты и ее совершенствования изложены в СП 50.13330.2012, СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты», СП 230.1325800.2015.

2 Нормативные ссылки

СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003

СП 230.1325800.2015 Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей

СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99*

СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СП 52.13330.2011

СП 118.13330.2012 Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009

СП 54.13330.2011. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003

СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»

ГОСТ 24816-81 Материалы строительные. Метод определения сорбционной влажности

ГОСТ 25609-2015 Материалы полимерные рулонные и плиточные для полов. Метод определения показателя теплоусвоения

ГОСТ 25898-2012 Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию

ГОСТ 26602.4-2012 Блоки оконные и дверные. Метод определения общего коэффициента пропускания света

ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях

ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме.

ГОСТ Р 56505-2015 Материалы строительные. Методы определения показателей капиллярного всасывания воды

ГОСТ Р 56504-2015 Материалы строительные. Методы определения коэффициентов влагопроводности

ГОСТ Р 56733 2015 Здания и сооружения. Метод определения удельных потерь теплоты через неоднородности ограждающей конструкции

ГОСТ Р 56734-2015 Здания и сооружения. Расчет показателя теплозащиты ограждающих конструкций с отражательной теплоизоляцией

3 Термины и их определения

Термины и их определения принимаются в соответствии с разделом 3 СП 50.13330.2012 и разделом 3 СП 230.1325800.2015.

Дополнительно используются следующие термины.

Гармонично утепленная оболочка здания: оболочка здания, состоящая из гармонично утепленных ограждающих конструкций одного класса. Этот же класс теплозащитной эффективности является характеристикой и всей оболочки здания.

Гармонично утепленная ограждающая конструкция: ограждающая конструкция, все элементы которой относятся к одному классу теплозащитной эффективности. Этот же класс теплозащитной эффективности является характеристикой и всей конструкции.

Класс теплозащитной эффективности элемента, мероприятия, здания: Характеристика теплозащитной эффективности, представленная интервалом значений удельных единовременных затрат на экономию энергетической единицы. Величина математически обратная к энергетической эффективности.

Срок окупаемости, $Z_{ок}$, лет: срок в течение которого оценивается экономический эффект от конструкции или мероприятия, назначается как половина срока службы элемента до замены или ремонта, но не более 12 лет.

Суммарные дисконтированные затраты (СДЗ), руб: оценка стоимости единовременных капитальных затрат на дополнительное утепление ограждающих конструкций и будущего потока платежей от экономии тепловой энергии с учетом различной стоимости денег полученных в различные моменты времени. Все затраты и платежи приводятся к концу расчетного срока.

Удельные единовременные затраты на экономию 1 кВт ч/год $\Omega_{кон}$, руб/(кВт ч/год): Единовременные затраты на энергосберегающее мероприятие, отнесенные к величине экономии тепловой энергии от применения мероприятия за год эксплуатации при ГСОП = 1000 °С сут/год, руб/м^2.

Удельная прибыль от экономии энергетической единицы 1 кВт ч/год, руб/(кВт ч/год) Ω_T, руб/(кВт ч/год): Прибыль, получаемая за счет энергосберегающего мероприятия (совокупная стоимость сэкономленной энергии и оборудования за срок окупаемости), отнесенная к величине экономии тепловой энергии 1 кВт ч/год при ГСОП = 1000 °С сут/год , руб/(кВт ч/год).

Удельные приведенные затраты на строительство и эксплуатацию конструкции, П, руб./(м^2·год): сумма всех затрат как на возведение, так и на эксплуатацию 1 м^2 ограждающей конструкции в течении установленного срока окупаемости.

4 Общие положения

4.1 При проектировании тепловой защиты зданий следует руководствоваться нормативными требованиями, установленными СП 50.13330.2012, указаниями СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» и других документов, утвержденных и согласованных в установленном порядке.

При проектировании тепловой защиты следует предпочитать варианты проектных решений, которые позволяют обеспечивать нормативные требования с наименьшими энергетическими и материальными затратами.

4.2 Согласно СП 50.13330.2012 здание должно удовлетворять требованиям:

– к тепловой защите;

– к воздухопроницаемости ограждающих конструкций;

– к защите от переувлажнения ограждающих конструкций;

– к теплоустойчивости ограждающих конструкций;

– к теплоусвоению поверхности полов;

– к расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию помещений здания;

– к отдельным элементам зданий.

4.3 Климатические данные для проектирования тепловой защиты зданий следует принимать по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология». Параметры микроклимата внутренних помещений следует принимать по ГОСТ 30494 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

5 Расчеты тепловой защиты зданий

Требования к тепловой защите зданий устанавливаются в СП 50.13330.2012.

Теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

а) приведенные сопротивления теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должны быть не меньше нормируемых значений;

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.

5.1 Требования и методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции

Требования к приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций зданий изложены в п. 5.2 СП 50.13330.2012.

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче $R_o^{норм}$ определяется по формуле (5.1) СП 50.13330.2012, как произведение базового значения требуемого сопротивления теплопередаче $R_o^{тр}$, принимаемого из таблицы 3 СП 50.13330.2012, и коэффициента $m_р$.

Коэффициент $m_р$ допускает снижение требований таблицы 3 при условии выполнения требований к удельной характеристике расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания по СП 50.13330.2012.

Часто встречаются непонимание или искаженные трактовки этого пункта СП 50.13330.2012. Например, требуют сначала провести расчеты с $m_р = 1$ и лишь потом,

при выполнении требований к удельной характеристике расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания снижать $m_р$. Либо вовсе не учитывать $m_р$ и т.п.

Все это неверные трактовки текста сохранившегося из предыдущих редакций СНиП 23-02-2003, когда расчет потерь на отопление и вентиляцию предлагалось делать по выбору. Уже давно никакого выбора нет, и расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания проводится в обязательном порядке. На его основе заполняется энергетический паспорт здания. В связи с этим, применение коэффициента $m_р$ в п. 5.2 СП 50.13330.2012 из условного стало безусловным. Порядок проведения проверки также не регламентируется ни одним нормативным документом. Начинать расчет с $m_р = 1$ или с $m_р = 0,63$ не имеет значения. Важно, чтобы для конечной конструкции выполнялись все требования предусмотренные СП 50.13330.2012 и перечисленные выше. То есть начинать проверку с повышенных требований постепенно их снижая, или с пониженных постепенно их повышая нет никакой разницы. Важен конечный результат – конечная конструкция. Наиболее эффективно с точки зрения проектирования было бы сразу угадать нужную конструкцию, и проверкой подтвердить ее пригодность. Это не запрещено ни одним нормативным документом.

Конечно, СП 50.13330.2012, СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты», СП 230.1325800.2015 и настоящее методическое пособие позволяют не только угадывать, но и последовательно находить, при необходимости целенаправленно дорабатывать и оптимизировать ограждающие конструкции с точки зрения их тепловой защиты и энергоэффективности.

5.2 Пример расчета приведенного сопротивления теплопередаче фасада жилого здания с использованием расчетов температурных полей

Ниже приведен пример расчета температурных полей, удельных потерь теплоты по температурным полям и приведенного сопротивления теплопередаче. Методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче по справочным данным, подробные примеры ее использования, а также база данных удельных потерь теплоты приведены в СП 230.1325800.2015.

В соответствии с СП 50.13330.2012 расчет основан на представлении фрагмента теплозащитной оболочки здания в виде набора независимых элементов, каждый из которых влияет на тепловые потери через фрагмент. Удельные потери теплоты, обусловленные каждым элементом, находятся на основе сравнения потока теплоты через узел, содержащий элемент, и через тот же узел, но без исследуемого элемента.

5.2.1 Описание конструкции выбранной для расчета

Жилой дом строится в городе Самара Самарской области.

Стена с теплоизоляционной фасадной системой с тонким штукатурным слоем. Фасадная система монтируется на стену здания, выполненного с каркасом из монолитного железобетона. Наружные стены выполняются из кирпичной кладки из полнотелого кирпича толщиной 250 мм (в один кирпич). Толщина теплоизоляционного слоя фасада из каменной ваты составляет 150 мм. Высота этажа от пола до пола 3300 мм. Толщина железобетонного перекрытия 200 мм. Под перекрытием проходит железобетонный ригель высотой 400 мм. Вертикальный разрез стены с фасадом и с оконными проемами схематично представлен на рисунке 5.1. Состав стены (изнутри наружу) представлен в таблице 5.1

Таблица 5.1

Материал слоя	δ, мм	λ, Вт/(м°С)
Внутренняя штукатурка	20	0,93
Кладка из полнотелого кирпича или монолитный железобетон	250 250	0,81 2,04
Минераловатные плиты	150	0,045
Наружная штукатурка	6	-

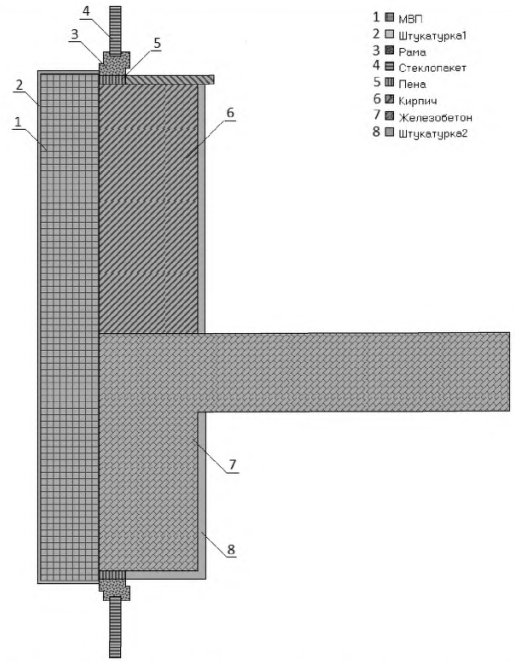


Рисунок 5.1 – Схематическое изображение вертикального разреза стены с теплоизоляционным фасадом в зоне расположения светопроемов с оконными блоками

5.2.2 Перечисление элементов составляющих ограждающую конструкцию:

- железобетонный ригель с участком перекрытия, утепленный слоем минераловатной плиты, закрытой тонким слоем штукатурки – плоский элемент 1;

- кирпичная кладка, утепленная слоем минераловатной плиты, закрытой тонким слоем штукатурки – плоский элемент 2;

- оконный откос, образованный железобетонным ригелем, утепленным слоем минераловатной плиты, закрытой тонким слоем штукатурки – линейный элемент 1;

- оконный откос, образованный кирпичной кладкой, утепленной слоем минераловатной плиты, закрытой тонким слоем штукатурки – линейный элемент 2;

- дюбель со стальным сердечником, прикрепляющий слой минераловатной плиты к железобетонному ригелю – точечный элемент 1;

- дюбель со стальным сердечником, прикрепляющий слой минераловатной плиты к кирпичной кладке – точечный элемент 2.

Таким образом, в рассматриваемом фрагменте ограждающей конструкции два вида плоских, два вида линейных и два вида точечных элементов.

5.2.3 Геометрические характеристики проекций элементов

Весь фасад здания, включая светопроемы, имеет общую площадь 2740 м^2. Фасад содержит следующие светопроемы: 2400×2000 мм – 80 шт, 1200×2000 мм – 80 шт, 1200×1200 мм – 24 шт. Суммарная площадь светопроемов 611 м^2.

Площадь поверхности фрагмента ограждающей конструкции для расчета $R_o^{пр}$ составляет: $A = 2740 - 611 = 2129$ м^2;

- суммарная протяженность торцов перекрытий, а также ригелей на фасаде составляет 822 м. Таким образом, площадь стены с основанием из монолитного железобетона (т.е. площадь проекции на поверхность фрагмента) составляет: $A_1 = 822 \cdot (0,2 + 0,4) = 493$ м^2. Доля этой площади от общей площади фрагмента ограждающей конструкции равна $a_1 = \dfrac{493}{2129} = 0,232$;

- площадь стены с основанием из кирпичной кладки: $A_2 = 2129 - 493 = 1636$ м^2. Доля этой площади от общей площади фрагмента ограждающей конструкции равна $a_2 = \dfrac{1636}{2129} = 0,768$;

- общая длина проекции оконного откоса, образованного железобетонным ригелем утепленным слоем минераловатной плиты, определяется по экспликации оконных проемов и равна: $L_1 = 2,4 \cdot 80 + 1,2 \cdot 80 + 1,2 \cdot 24 = 317$ м. Длина проекции этих откосов, приходящаяся на 1 м^2 площади фрагмента равна $l_1 = \dfrac{317}{2129} = 0,149$ м$^{-1}$;

общая длина проекции оконного откоса, образованного кирпичной кладкой, утепленной слоем минераловатной плиты, определяется по экспликации оконных проемов и равна: $L_2 = (2,4 + 2 \cdot 2,0) \cdot 80 + (1,2 + 2 \cdot 2,0) \cdot 80 + (1,2 + 2 \cdot 1,2) \cdot 24 = 1014$ м. Длина проекции этих откосов, приходящаяся на 1 м^2 площади фрагмента равна $l_2 = \dfrac{1014}{2129} = 0,476$ м$^{-1}$;

- общее количество тарельчатых дюбелей на железобетонном ригеле и торце перекрытия равно 3944 шт. Количество таких дюбелей, приходящихся на 1 м^2 фрагмента равно: $n_1 = \frac{3944}{2129} = 1{,}85$ м$^{-2}$;

- общее количество тарельчатых дюбелей на кирпичной кладке равно 13 088 шт. Количество таких дюбелей, приходящихся на 1 м^2 фрагмента равно: $n_1 = \frac{13088}{2129} = 6{,}15$ м$^{-2}$.

5.2.4 Расчет удельных потерь теплоты, обусловленных элементами

Все температурные поля рассчитываются для температуры наружного воздуха минус 28 °С и температуры внутреннего воздуха 20 °С.

Для плоского элемента 1 удельные потери теплоты определяются по формулам (Е.6), (Е.3) СП 50.13330.2012:

$$R_{o,1}^{усл} = \frac{1}{8{,}7} + \frac{0{,}02}{0{,}93} + \frac{0{,}25}{2{,}04} + \frac{0{,}15}{0{,}045} + \frac{1}{23} = 3{,}64 \quad (\text{м}^2\cdot{}^\circ\text{С})/\text{Вт},$$

$$U_1 = \frac{1}{R_{o,1}^{усл}} = \frac{1}{3{,}64} = 0{,}275 \quad \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot{}^\circ\text{С}).$$

Для плоского элемента 2 удельные потери теплоты определяются аналогично:

$$R_{o,2}^{усл} = \frac{1}{8{,}7} + \frac{0{,}02}{0{,}93} + \frac{0{,}25}{0{,}81} + \frac{0{,}15}{0{,}045} + \frac{1}{23} = 3{,}82 \quad (\text{м}^2\cdot{}^\circ\text{С})/\text{Вт},$$

$$U_2 = \frac{1}{R_{o,1}^{усл}} = \frac{1}{3{,}82} = 0{,}262 \quad \text{Вт}/(\text{м}^2\cdot{}^\circ\text{С}).$$

Для линейного элемента 1 рассчитывается температурное поле узла конструкции содержащего элемент. Определяется величина Q_l^L, Вт/м, – потери теплоты через участок фрагмента с данным линейным элементом, приходящиеся на 1 п. м.

Двумерное температурное поле представлено на рисунке 5.2.

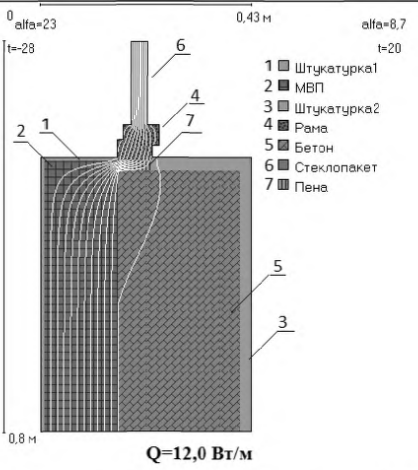


Рисунок 5.2 – Температурное поле узла конструкции, содержащего линейный элемент 1

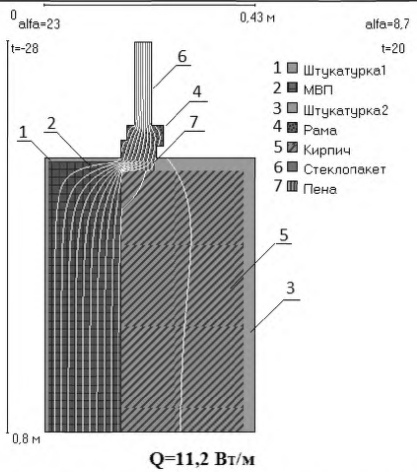


Рисунок 5.3 – Температурное поле узла конструкции, содержащего линейный элемент 2

Расчетный участок имеет размеры 426×800 мм. Площадь стены, вошедшей в расчетный участок, $S_{1,1} = 0{,}532$ м^2.

Потери теплоты через стену с оконным откосом, вошедшую в участок, по результатам расчета температурного поля равны $Q_1^L = 12{,}0$ Вт/м.

Потери теплоты через участок однородной стены той же площади определяются по формуле (Е.10) СП 50.13330.2012:

$$Q_{1,1} = \frac{20 - (-28)}{3{,}64} \cdot 0{,}532 = 7{,}0 \text{ Вт/м}.$$

Дополнительные потери теплоты через линейный элемент 1 составляют

$$\Delta Q_1^L = 12{,}0 - 7{,}0 = 5{,}0 \text{ Вт/м}.$$

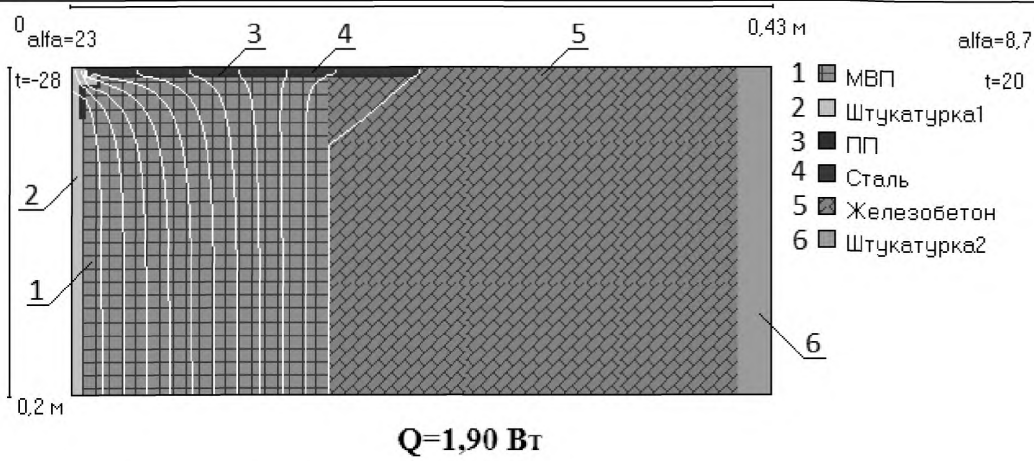
Удельные линейные потери теплоты через линейный элемент 1 определяются по формуле (Е.8) СП 50.13330.2012:

$$\Psi_1 = \frac{5}{20 - (-28)} = 0{,}104 \text{ Вт/(м°С)}.$$

Расчеты удельных характеристик других элементов проводятся аналогично и сведены в таблицу 5.2.

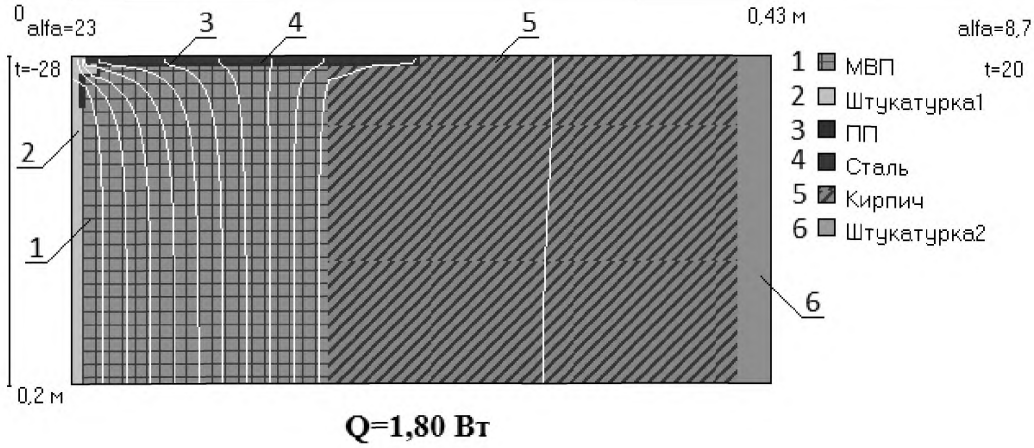
Таблица 5.2

Элемент фрагмента	Потери теплоты через участок однородной стены	Потери теплоты через неоднородной участок	Удельные потери теплоты	Удельный геометрический показатель
Линейный элемент 1 (рисунок 5.2)	$Q_{1,1} = 7,0$ Вт/м	$Q_1^L = 12,0$ Вт/(м^2 °С)	$\Psi_1 = 0,104$ Вт/(м °С)	$l_1 = 0,149$ м/м^2
Линейный элемент 2 (рисунок 5.3)	$Q_{2,1} = 6,7$ Вт/м	$Q_2^L = 11,2$ Вт/м	$\Psi_2 = 0,094$ Вт/(м °С)	$l_2 = 0,476$ м/м^2
Точечный элемент 1 (рисунок 5.4)	$\tilde{Q}_1 = 1,65$ Вт	$Q_1 = 1,9$ Вт	$\chi_1 = 0,0052$ Вт/°С	$n_1 = 1,85$ м/м^2
Точечный элемент 2 (рисунок 5.5)	$\tilde{Q}_1 = 1,57$ Вт	$Q_1 = 1,8$ Вт	$\chi_2 = 0,0048$ Вт/°С	$n_2 = 6,15$ м/м^2



Q=1,90 Вт

Рисунок 5.4 – Температурное поле узла конструкции, содержащего точечный элемент 1



Q=1,80 Вт

Рисунок 5.5 – Температурное поле узла конструкции, содержащего точечный элемент 2

Таким образом, определены все удельные потери теплоты, обусловленные всеми элементами в рассматриваемом фрагменте ограждающей конструкции.

5.2.5 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены

Данные расчетов сведены в таблицу 5.3.

Таблица 5.3

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a_1 = 0{,}232$ м^2/м^2	$U_1 = 0{,}275$ Вт/(м^2·°С)	$U_1a_1 = 0{,}0638$ Вт/(м^2·°С)	17,5
Плоский элемент 2	$a_2 = 0{,}768$ м^2/м^2	$U_2 = 0{,}262$ Вт/(м^2·°С)	$U_2a_2 = 0{,}201$ Вт/(м^2·°С)	55,2
Линейный элемент 1	$l_1 = 0{,}149$ м/м^2	$\Psi_1 = 0{,}104$ Вт/(м·°С)	$\Psi_1l_1 = 0{,}0155$ Вт/(м^2·°С)	4,26
Линейный элемент 2	$l_2 = 0{,}476$ м/м^2	$\Psi_2 = 0{,}094$ Вт/(м·°С)	$\Psi_2l_2 = 0{,}0447$ Вт/(м^2·°С)	12,3
Точечный элемент 1	$n_1 = 1{,}85$ 1/м^2	$\chi_1 = 0{,}0052$ Вт/°С	$\chi_1n_1 = 0{,}00962$ Вт/(м^2·°С)	2,64
Точечный элемент 2	$n_2 = 6{,}15$ 1/м^2	$\chi_2 = 0{,}0048$ Вт/°С	$\chi_2n_2 = 0{,}0295$ Вт/(м^2·°С)	8,10
Итого			$1/R^{пр} = 0{,}364$ Вт/(м^2·°С)	100

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции рассчитывается по формуле (Е.1) СП 50.13330.2012:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}0638 + 0{,}201 + 0{,}0155 + 0{,}0447 + 0{,}00962 + 0{,}0295} = \frac{1}{0{,}364} = 2{,}75 \text{ м}^2\text{°С/Вт}.$$

Коэффициент теплотехнической однородности определенный по формуле (Е.4) СП 50.13330.2012, равен:

$$r = \frac{0{,}201 + 0{,}0638}{0{,}364} = 0{,}73 .$$

5.2.6 Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче

В соответствии с СП 131.13330.2012 продолжительность отопительного периода для г. Самара 200 суток. Средняя температура отопительного периода составляет –5,5 °С. Температура внутреннего воздуха 20 °С.

$$\text{ГСОП} = (20 - (-5{,}5)) \cdot 200 = 5100 \text{ °С·сут}.$$

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче рассчитывается по формуле из примечания 1 к таблице 3 СП 50.13330.2012:

$$R_o^{тр} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0{,}00035 \cdot 5100 + 1{,}4 = 3{,}19 \text{ м}^2\text{°С/Вт}.$$

Коэффициент $m_р$ принимается равным 0,63.

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче определяется по формуле (5.1) СП 50.13330.2012:

$$R_o^{норм} = 3,19 \cdot 0,63 = 2,01 \text{ м}^2\,^{\circ}\text{С/Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче стены здания полученное расчетом больше нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче. Нормативные требования будут выполнены, если удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания полученная расчетом по приложению Г СП 50.13330.2012 удовлетворит требованиям п. 10.1 СП 50.13330.2012.

5.3 Требования и методика расчета удельной теплозащитной характеристики здания

Требования к удельной теплозащитной характеристике здания изложены в п. 5.5 СП 50.13330.2012.

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания определяется по формулам (5.5), (5.6) СП 50.13330.2012, или таблице 7 СП 50.13330.2012.

Ниже приведены основные требования, изложенные в п. 5.5 СП 50.13330.2012.

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания, $k_{об}^{тр}$, Вт/(м^3 °С), следует принимать в зависимости от отапливаемого объема здания и градусо-суток отопительного периода района строительства по таблице 7 с учетом примечаний.

Таблица 7 – Нормируемые значения удельной теплозащитной характеристики здания

Отапливаемый объем здания, $V_{от}$, м^3	Значения $k_{об}^{тр}$, Вт/(м^3 °С), при значениях ГСОП, °С·сут/год				
	1000	3000	5000	8000	12000
150	1,206	0,892	0,708	0,541	0,321
300	0,957	0,708	0,562	0,429	0,326
600	0,759	0,562	0,446	0,341	0,259
1200	0,606	0,449	0,356	0,272	0,207
2500	0,486	0,360	0,286	0,218	0,166
6000	0,391	0,289	0,229	0,175	0,133

15 000	0,327	0,242	0,192	0,146	0,111
50 000	0,277	0,205	0,162	0,124	0,094
200 000	0,269	0,182	0,145	0,111	0,084

Примечания:

1 Для промежуточных значений величин объема зданий и ГСОП, а также для зданий с отапливаемым объемом более 200 000 м^3 значение $k_{об}^{тр}$ рассчитываются по формулам:

$$k_{об}^{тр} = \begin{cases} \dfrac{4,74}{0,00013 \cdot ГСОП + 0,61} \cdot \dfrac{1}{\sqrt[3]{V_{от}}} & V_{от} \le 960 \\ \dfrac{0,16 + \dfrac{10}{\sqrt{V_{от}}}}{0,00013 \cdot ГСОП + 0,61} & V_{от} > 960 \end{cases} \quad (5.5)$$

$$k_{об}^{тр} = \frac{8,5}{\sqrt{ГСОП}} \quad (5.6)$$

2 При достижении величиной $k_{об}^{тр}$, вычисленной по (5.5), значений меньших, чем определенных по формуле (5.6), следует принимать значения $k_{об}^{тр}$ определенные по формуле (5.6).

5.4 Пример расчета удельной теплозащитной характеристики здания

5.4.1 Описание расчетных условий

Удельная теплозащитная характеристика рассчитывается для многоэтажного жилого дома расположенного в г. Дубна Московской области.

Климатические параметры района строительства принимаются по СП 131.13330.2012 для г. Дмитров Московской обл.

Средняя температура отопительного периода $t_{от} = -3,1$ °С.

Продолжительность отопительного периода $z_{от} = 216$ сут.

Температура внутреннего воздуха $t_в = 20$ °С.

На основе климатических характеристик района строительства и микроклимата помещения по формуле (5.2) СП 50.13330.2012 рассчитывается величина градусо-суток отопительного периода:

$$ГСОП = (t_в - t_{от}) \cdot z_{от} = 23,1 \cdot 216 = 4990 \text{ °С·сут.}$$

В технических помещениях и лестнично-лифтовых узлах (ЛЛУ) температура внутреннего воздуха отличается от основных (жилых) помещений здания. В среднем за отопительный период она составляет $t_{ЛЛУ} = 18$ °С.

Коэффициент, учитывающий отличие внутренней температуры ЛЛУ от температуры жилых помещений рассчитанный по формуле (5.3) СП 50.13330.2012, составляет

$$n_{ЛЛУ} = \frac{t_{ЛЛУ} - t_{от}}{t_{в} - t_{от}} = \frac{18 - (-3,1)}{20 - (-3,1)} = 0,913 .$$

Подвальные помещения не отапливаются, поэтому они не входят в отапливаемый объем здания. В подвале расположен ИТП и разводка труб отопления и водоснабжения. В среднем за отопительный период температура воздуха в подвале составляет $t_{под} = 8$ °С.

Коэффициент, учитывающий отличие внутренней температуры подвала от температуры наружного воздуха, составляет

$$n_{под} = \frac{t_{в} - t_{под}}{t_{в} - t_{от}} = \frac{20 - 8}{20 - (-3,1)} = 0,519 .$$

5.4.2 Описание ограждающих конструкций здания

На исследуемом здании использованы десять различных по своему составу видов ограждающих конструкций:

1. Навесная фасадная система с основанием из керамзитобетона.

   Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{ст1} = 3,16$ (м^2·°С)/Вт.

   Площадь стен данной конструкции составляет:

   по основной части здания $A_{ст1} = 3406$ м^2;

   по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{ст1ЛЛУ} = 503$ м^2.

2. Навесная фасадная система с основанием из железобетона.

   Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{ст2} = 3,34$ (м^2·°С)/Вт.

   Площадь стен данной конструкции составляет:

   по основной части здания $A_{ст2} = 608$ м^2;

   по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{ст2ЛЛУ} = 336$ м^2.

3. Трехслойная стена по кладке из керамзитобетона.

   Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{ст3} = 3,19$ (м^2·°С)/Вт.

Площадь стен данной конструкции составляет:

по основной части здания $A_{ст3}$ = 1783 м^2;

по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{ст3ЛЛУ}$ = 55 м^2.

4. Трехслойная стена по монолитному железобетону.

Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{ст4}$ = 3,42 (м^2·°С)/Вт.

Площадь стен данной конструкции составляет

по основной части здания $A_{ст4}$ = 447 м^2.

по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{ст4ЛЛУ}$ = 130 м^2.

5. Эксплуатируемая кровля.

Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{кр1}$ = *5,55* (м^2·°С)/Вт.

Площадь кровельного покрытия данной конструкции составляет $A_{кр1}$ = 1296 м^2.

6. Совмещенное кровельное покрытие.

Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{кр2}$ = 4,48 (м^2·°С)/Вт.

Площадь кровельного покрытия данной конструкции составляет $A_{кр2}$ = 339 м^2.

7. Перекрытие над подвалом.

Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{цок1}$ = 1,32 (м^2·°С)/Вт.

Площадь перекрытия данной конструкции составляет $A_{цок1}$ = 1550 м^2.

8. Перекрытие над проездом.

Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{цок2}$ = 4,86 (м^2·°С)/Вт.

Площадь перекрытия данной конструкции составляет $A_{цок2}$ = 85 м^2.

9. Окна.

Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{ок}$ = 0,56 (м^2·°С)/Вт.

Площадь окон составляет:

по основной части здания $A_{ок}$ = 1383 м^2;

по техническим помещениям и ЛЛУ $A_{окЛЛУ}$ = 430 м^2.

10. Входные двери.

Приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_{дв}$ = 0,83 (м^2·°С)/Вт.

Площадь входных дверей составляет $A_{дв}$ = 64 м^2.

Отапливаемый объем здания $V_{от}$ = 34229 м^3.

Внешний вид фасада здания, план типового этажа и разрез приведены на рисунках 5.6, 5.7 и 5.8.



Рисунок 5.6 – Фасад здания

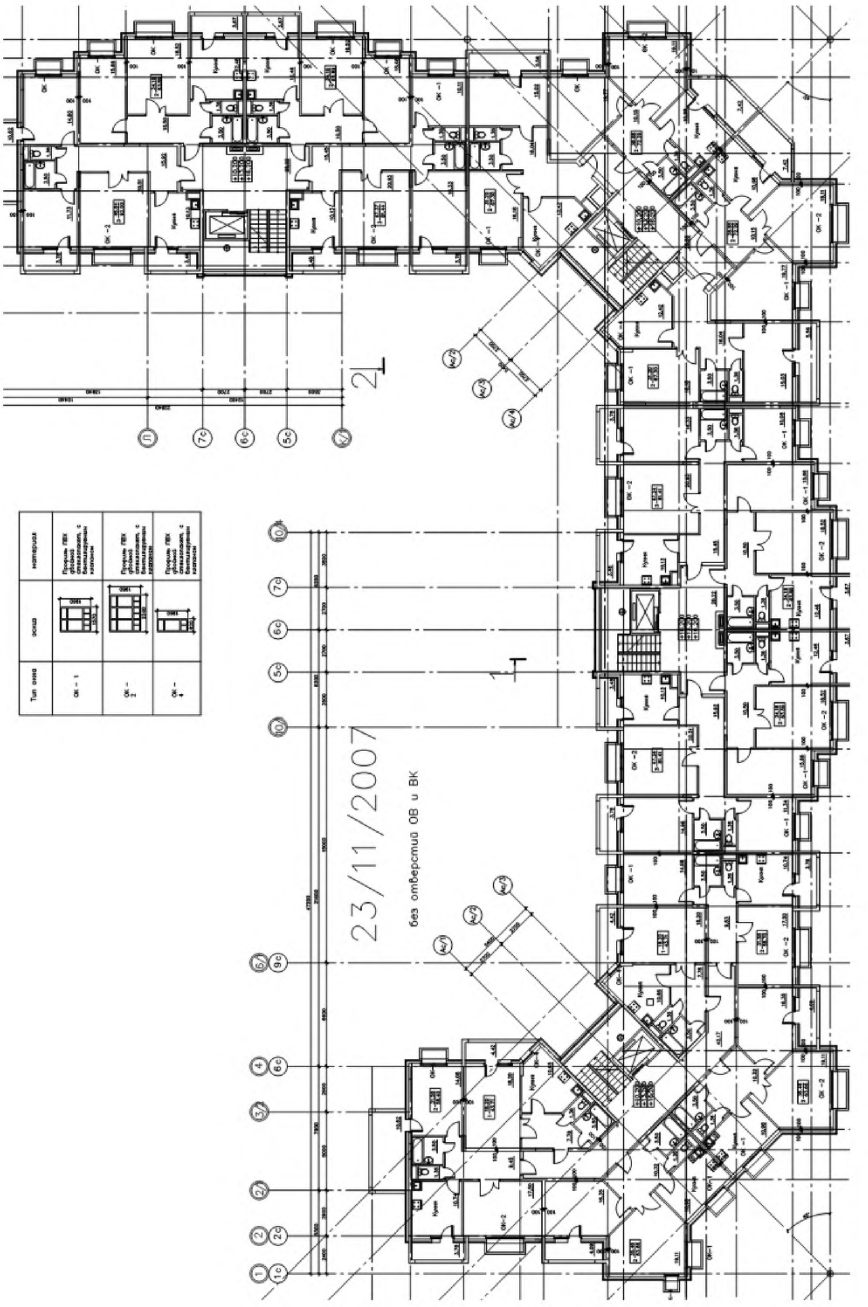


Рисунок 5.7 – План типового этажа

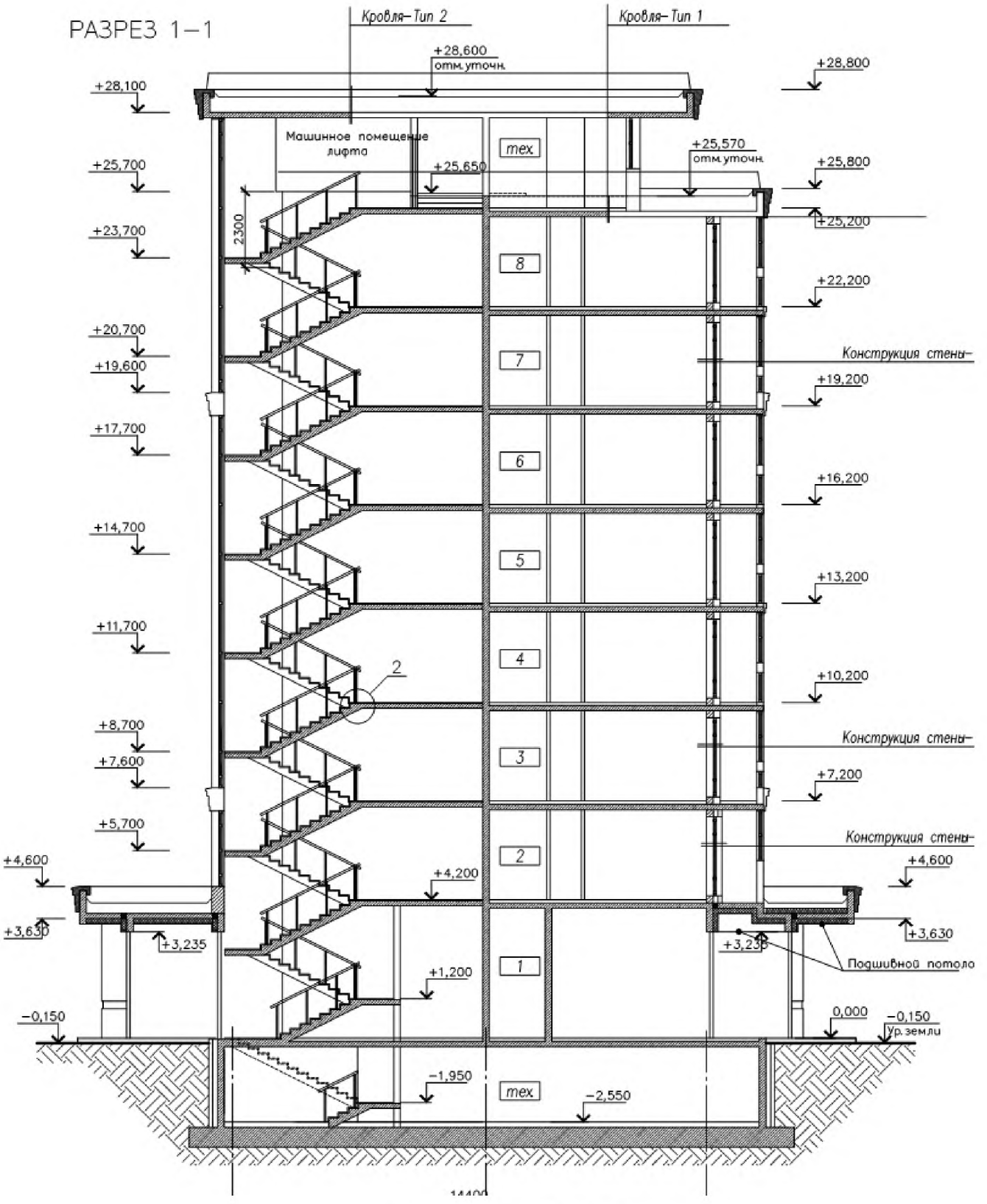


Рисунок 5.8 – Разрез

5.4.3 Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитывается по формуле (Ж.1) СП 50.13330.2012:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}} \sum_i \left(n_{t,i} \frac{A_{ф,i}}{R^{пр}_{o,i}} \right) = \frac{1}{34229} \left[\frac{3406}{3,16} + \frac{608}{3,34} + \frac{1783}{3,19} + \frac{447}{3,42} + \frac{1383}{0,56} + \frac{85}{4,86} + 0,519 \cdot \frac{1550}{1,32} + \right.$$

$$\left. + 0,913 \cdot \left(\frac{503}{3,16} + \frac{336}{3,34} + \frac{55}{3,19} + \frac{130}{3,42} + \frac{430}{0,56} + \frac{1296}{5,55} + \frac{339}{4,48} + \frac{64}{0,83} \right) \right] = \frac{6387}{34229} = 0,187$$

Детали расчета сведены в таблицу 5.4

Таблица 5.4

Наименование фрагмента	$n_{t,i}$	$A_{ф,i}$, м^2	$R^{пр}_{o,i}$, (м^2·°С)/Вт	$n_{t,i} A_{ф,i} / R^{пр}_{o,i}$, Вт/°С	%
Навесная фасадная система с основанием из керамзитобетона	1	3406	3,16	1078	16,9
	0,913	503		145	2,3
Навесная фасадная система с основанием из железобетона	1	608	3,34	182	2,8
	0,913	336		92	1,4
Трехслойная стена по кладке из керамзитобетона	1	1783	3,19	559	8,8
	0,913	55		16	0,3
Трехслойная стена по монолитному железобетону	1	447	3,42	131	2,1
	0,913	130		35	0,5
Эксплуатируемая кровля	0,913	1296	5,55	213	3,3
Совмещенное кровельное покрытие	0,913	339	4,48	69	1,1
Перекрытие над подвалом	0,519	1550	1,32	609	9,5
Перекрытие над проездом	1	85	4,86	17	0,3
Окна	1	1383	0,56	2470	38,7
	0,913	430		701	11,0
Входные двери	0,913	64	0,83	70	1,1
Сумма	-	12415	-	6387	100

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания определяется по формуле (5.5) СП 50.13330.2012.

$$k^{тр}_{об} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{от}}}}{0,00013 \cdot ГСОП + 0,61} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{34229}}}{0,00013 \cdot 4990 + 0,61} = \frac{0,214}{1,259} = 0,17 \text{ Вт/(м}^3\text{°С)}.$$

Удельная теплозащитная характеристика здания больше нормируемой величины на 10%. Оболочка здания нуждается в доработке. На рассматриваемом здании применены достаточно теплые стены и кровля, при этом наблюдается значительное превышение удельной теплозащитной характеристики над требованиями. Основная

причина этого – плохая компактность здания. Различные архитектурные решения привели к большой изрезанности фасадов, что существенно повлияло на компактность. На практике, чаще всего, расплачиваться за такие архитектурные решения приходится изменением ограждающих конструкций. Связь между архитектурой, тепловой защитой и выбором ограждающих конструкций наиболее видна при расчетах удельной теплозащитной характеристики. Об этой связи необходимо помнить на всех этапах проектирования.

Как видно из таблицы 5.4 наибольший вклад в тепловые потери здания в данном случае вносят окна, стены, слабо утепленное перекрытие над подвалом. В данном случае наиболее эффективно дорабатывать теплозащитную оболочку здания за счет повышения сопротивления теплопередаче окон. В проекте заменяются окна на имеющие приведенное сопротивление теплопередаче 0,68 (м^2·°С)/Вт. Кроме того, доутепляется перекрытие над подвалом, так что приведенное сопротивление теплопередаче конструкции составляет 1,88 (м^2·°С)/Вт.

Удельная теплозащитная характеристика здания после доработки:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}} \sum_i \left(n_{t,i} \frac{A_{ф,i}}{R_{o,i}^{пр}} \right) = \frac{1}{34229} \left[\frac{3406}{3,16} + \frac{608}{3,34} + \frac{1783}{3,19} + \frac{447}{3,42} + \frac{1383}{0,68} + \frac{85}{4,86} + 0,519 \cdot \frac{1550}{1,88} + \right.$$

$$\left. + 0,913 \cdot \left(\frac{503}{3,16} + \frac{336}{3,34} + \frac{55}{3,19} + \frac{130}{3,42} + \frac{430}{0,68} + \frac{1296}{5,55} + \frac{339}{4,48} + \frac{64}{0,83} \right) \right] = \frac{5646}{34229} = 0,165$$

Детали расчета сведены в таблицу 5.5.

Таблица 5.5

Наименование фрагмента	$n_{t,i}$	$A_{ф,i}$, м^2	$R_{o,i}^{пр}$, (м^2·°С)/Вт	$n_{t,i} A_{ф,i} / R_{o,i}^{пр}$, Вт/°С	%
Навесная фасадная система с основанием из керамзитобетона	1	3406	3,16	1078	18,7
	0,913	503		145	2,5
Навесная фасадная система с основанием из железобетона	1	608	3,34	182	3,2
	0,913	336		92	1,6
Трехслойная стена по кладке из керамзитобетона	1	1783	3,19	559	9,7
	0,913	55		16	0,3
Трехслойная стена по монолитному железобетону	1	447	3,42	131	2,3
	0,913	130		35	0,6
Эксплуатируемая кровля	0,913	1296	5,55	213	3,7
Совмещенное кровельное по-	0,913	339	4,48	69	1,2

крытие					
Перекрытие над подвалом	0,519	1550	1,88	428	7,4
Перекрытие над проездом	1	85	4,86	17	0,3
Окна	1	1383	0,68	2128 2034	36,9
	0,913	430		604 577	10,5
Входные двери	0,913	64	0,83	70	1,2
Сумма	-	12415	-	5646	100

После доработки теплозащитной оболочки здания удельная теплозащитная характеристика меньше нормируемой величины, оболочка удовлетворяет нормативным требованиям.

Справочно рассчитывается приведенный трансмиссионный коэффициент:

$$K_{общ} = \frac{k_{об}}{K_{комп}} = \frac{0,165}{0,36} = 0,458 \quad \text{Вт/(м}^2\cdot\text{°С)}.$$

Данный коэффициент не участвует в расчетах и его расчет необязателен.

5.5 Пример оптимизации теплозащитной оболочки здания по окупаемости энергосберегающих мероприятий

Методика оптимизации теплозащитной оболочки здания по окупаемости энергосберегающих мероприятий изложена в разделе 5.10 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты».

5.5.1 Экономическая оптимизация тепловой защиты оболочки здания заключается в последовательном подборе оптимальных ограждающих конструкций составляющих оболочку.

При подборе ограждающей конструкции возможно два случая:

а) вариант конструкции определен и требуется найти лишь оптимальный набор элементов, его составляющий;

б) требуется выбрать из нескольких альтернативных вариантов конструкции.

Далее под альтернативными вариантами конструкции понимаются варианты, отличающиеся друг от друга качественно (либо составом элементов, либо базой конструкции). Под наборами элементов, составляющих вариант конструкции, понимаются конструкции с одинаковой базой и составом элементов, отличающиеся степенью теплозащиты одного или нескольких из элементов. Под базой конструкции понимается набор элементов с минимальной ценой.

Например, штукатурный фасад и стена из трехслойных панелей являются альтернативными вариантами конструкции (стены). Вентилируемый фасад на алюминиевых кронштейнах с толщиной утеплителя 180 мм и вентилируемый фасад с толщиной утеплителя 140 мм на стальных кронштейнах являются различными наборами элементов одного вариант конструкции, при условии, что основание и облицовка в обоих случаях одинаковая. Базой конструкции для вентилируемого фасада будет основание без утеплителя с фасадной системой минимальной цены и облицовкой. Для окна базой будет однокамерный стеклопакет минимальной толщины без покрытий и заполнения газами с самой дешевой дистанционной планкой и рамой.

Сравнение альтернативных вариантов конструкции возможно лишь в конкретных климатических и экономических условиях. По возможности такое сравнение следует проводить для оптимальных наборов элементов каждого варианта. Оптимизация варианта конструкции возможна независимо от климатических и экономических условий.

Таким образом, выбор наиболее эффективной ограждающей конструкции следует начинать с оптимизации каждого ее варианта участвующего в сравнении.

5.5.2 Процедура оптимизации отдельного варианта конструкции

1. Требуется выделить все элементы, составляющие конструкцию и имеющие несколько вариантов своего решения.

Для каждого элемента проводится вспомогательная работа по упорядочиванию его вариантов.

2. Для каждого из вариантов элемента находится стоимость и теплозащитная характеристика. Наиболее просто это может быть сделано из сравнения тепловых потерь и стоимости конструкции с этим вариантом элемента и без него.
3. Все возможные варианты элемента выстраиваются в ряд, упорядоченный по теплозащитной характеристике. Из всех возможных вариантов элемента оставляют только экономически целесообразные, то есть те у которых с возрастанием стоимости снижаются потери теплоты.
4. Для каждого варианта элемента, рассчитываются удельные единовременные затраты на экономию энергетической единицы (по формулам (5.12) – (5.14)

СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»).

5. По значениям удельных единовременных затрат на экономию энергетической единицы и таблице 5.1 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты», каждому варианту элемента присваивается класс теплозащитной эффективности.

Примеры рядов экономически обоснованных вариантов отдельных элементов конструкции приведены в таблицах 5.6 – 5.13.

После того как действия, описанные в п. 2 – 5, проведены для всех элементов, составляющих конструкцию, проводится ее оптимизация.

6. Определяется удельная прибыль от экономии энергетической единицы и требуемый класс теплозащитной эффективности здания.
7. Для всех элементов конструкции выбираются варианты требуемого класса. Если вариантов требуемого класса не существует, или, наоборот, существует несколько, то выбирается вариант элемента с $\Omega_{эд}$ ближайшей к $\Omega_{пр}$.

Полученная с помощью описанной процедуры конструкция позволяет достичь минимума приведенных затрат в данных экономических и климатических условиях для выбранного вида конструкции. Формулы (Е.1) СП 50.13330.2012 и (5.16) СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» позволяют найти приведенное сопротивление теплопередаче и стоимость выбранной конструкции.

5.5.3 Если требуется выбрать из нескольких альтернативных вариантов конструкции, то для каждого варианта конструкции проводится процедура оптимизации. После этого для оптимального набора элементов каждого варианта конструкции вычисляются удельные приведенные затраты на строительство и эксплуатацию. Вариант конструкции с наименьшими удельными приведенными затратами на строительство и эксплуатацию является наиболее экономически выгодным.

Для упрощения работы проектировщика предлагается на стадии разработки конструкции (в технических условиях, техническом свидетельстве, альбоме типовых узлов и т.п.) сформировать ряд оптимальных конструкций, соответствующих различным классам теплозащитной эффективности. Для этого на стадии разработки

конструкции выполняются шаги 1 - 5 описанной выше процедуры и по рядам экономически обоснованных вариантов каждого элемента конструкции подбираются наборы элементов, рекомендуемые для каждого класса теплозащитной эффективности.

5.5.4 Пример экономической оптимизации тепловой защиты стен здания

При проектировании здания возникла необходимость выбрать между двумя альтернативными вариантами стены. Первый вариант – навесная фасадная система с вентилируемой воздушной прослойкой с основанием из кирпичной кладки. Второй вариант – кладка из ячеистого бетона с облицовкой лицевым кирпичом.

5.5.5 Навесная фасадная система с вентилируемой воздушной прослойкой

Конструкция состоит из четырех видов элементов: плоского (стена по глади), узла установки кронштейна, выхода балконной плиты, оконного откоса.

Плоский элемент

Стена по глади имеет базовую стоимость (наиболее холодный вариант всех элементов конструкции) 3600 рублей.

Каждые дополнительные 10 мм МВП повышают стоимость конструкции на 80 рублей. Коэффициент теплопроводности МВП 0,04 Вт/(м·°С). Сопротивление теплопередаче базового варианта (толщина МВП 0 мм) 0,6 $м^2 \cdot °С/Вт$.

Таблица 5.6 – Экономические и теплотехнические показатели стены по глади

Толщина МВП, мм	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220
$U_{усл}$, Вт/($м^2$°С)	0,323	0,299	0,278	0,26	0,244	0,23	0,2174	0,1961	0,1786	0,1639
$\Omega_{усл}$, руб./(кВт·ч /год)	120	139	159	185	208	238	265	313	381	454
Класс	9	9	9	10	10	10	11	11	12	12

Кронштейн

Доступные варианты кронштейнов приведены в таблице 5.7

Таблица 5.7 – Экономические и теплотехнические показатели кронштейнов

Стоимость, руб/шт	100	120	170	250	340	440
$\chi_{кр}$, Вт/°С	0,09	0,07	0,055	0,035	0,015	0,007
$\Omega_{кр}$, руб./(кВт·ч /год)		41,7	139	167	188	521
Класс		7	9	10	10	12

На квадратный метр стены приходится 2,7 кронштейна.

Выход балконной плиты

Доступные варианты узлов приведены в таблице 5.8

Таблица 5.8 – Экономические и теплотехнические показатели выходов балконных плит

Стоимость, руб/м	500	700	950	1600	2400
$\Psi_{бал}$, Вт/(м·°С)	0,65	0,45	0,28	0,18	0,1
$\Omega_{бал}$, руб./(кВт·ч /год)		41,7	61,3	271	417
Класс		7	7	11	12

На квадратный метр стены приходится 0,12 погонных метра выхода балконной плиты.

Оконный откос

Доступные варианты узлов приведены в таблице 5.9

Таблица 5.9 – Экономические и теплотехнические показатели узла примыкания оконного блока к стене

Стоимость, руб/м	100	150	240	390	570	690
$\Psi_{отк}$, Вт/(м·°С)	0,2	0,15	0,1	0,06	0,03	0,017
$\Omega_{отк}$, руб./(кВт·ч /год)		41,7	75	156	250	385
Класс		7	8	9	10	12

На квадратный метр стены приходится 0,8 погонных метра оконного откоса.

5.5.6 Кладка из ячеистого бетона

Конструкция состоит из четырех видов элементов: плоского (стена по глади), кладочных швов, выхода плиты перекрытия (балконные плиты сюда включены), оконного откоса.

Плоский элемент

Стена по глади имеет базовую стоимость (наиболее холодный вариант всех элементов конструкции) 1900 рублей. Сопротивление теплопередаче базового варианта (толщина ячеистого бетона 0 мм) 0,35 $м^2 \cdot °С/Вт$.

Каждые дополнительные 50 мм ячеистого бетона повышают стоимость конструкции на 330 рублей. Коэффициент теплопроводности ячеистого бетона 0,14 Вт/(м·°С).

Таблица 5.10 – Экономические и теплотехнические показатели стены по глади

Толщина ячеистого	200	250	300	350	400	450	500	550

бетона, мм								
$U_{усл}$, Вт/(м^2·°С)	0,562	0,468	0,401	0,351	0,312	0,281	0,255	0,234
$\Omega_{усл}$, руб./(кВт·ч /год)	97,2	146	206	275	353	444	530	656
Класс	8	9	10	11	11	12	12	13

Швы

Доступные варианты швов приведены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Экономические и теплотехнические показатели швов кладки

Стоимость, руб/м	50	70	80	110	150	190
$\Psi_ш$, Вт/(м·°С)	0,05	0,035	0,03	0,02	0,013	0,008
$\Omega_ш$, руб./(кВт·ч /год)		55,6	83,3	125	238	333
Класс		7	8	9	10	11

На квадратный метр стены приходится 3,2 погонных метра шва.

Выход плиты перекрытия

Доступные варианты узлов приведены в таблице 5.12

Таблица 5.12 – Экономические и теплотехнические показатели выходов плиты перекрытия

Стоимость, руб/м	400	500	700	1100	1800
$\Psi_{пер}$, Вт/(м·°С)	0,55	0,4	0,25	0,15	0,09
$\Omega_{пер}$, руб./(кВт·ч /год)		27,8	55,6	167	486
Класс		6	7	10	12

На квадратный метр стены приходится 0,4 погонных метра выхода плиты перекрытия.

Оконный откос

Доступные варианты узлов приведены в таблице 5.13

Таблица 5.13 – Экономические и теплотехнические показатели узла примыкания оконного блока к стене

Стоимость, руб/м	100	150	240	390	570
$\Psi_{отк}$, Вт/(м·°С)	0,18	0,14	0,1	0,065	0,04
$\Omega_{отк}$, руб./(кВт·ч /год)		52,1	93,8	179	300
Класс		7	8	10	11

На квадратный метр стены приходится 0,8 погонных метра оконного откоса.

5.5.7 Условия расчета 1

Климатические условия г. Москва: ГСОП = 4551.

Цена тепловой энергии 1,5 руб./кВт·ч.

$C_{от}$ = 10 руб./(кВт ч/год).

Для обоих вариантов стены срок службы всех элементов составляет более 24 лет, поэтому срок окупаемости принят равным 12 годам.

Расчет удельной прибыли от экономии энергетической единицы проводится по формуле (5.10) СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»:

$$\Omega_{пр} = (1{,}5 \cdot 12 + 10) \cdot 4{,}551 = 127 \quad \text{руб./(кВт·ч /год).}$$

Требуемый класс теплозащитной эффективности здания – «9».

5.5.8 Выбор оптимального набора элементов для вентилируемого фасада в расчетных условиях 1

По глади стены классу «9» соответствуют: 100–120 мм МВП. Ближайшей к требуемой является толщина МВП 100 с сопротивлением теплопередаче по глади 3,1 м^2 °С/Вт.

Кронштейн нужного класса $\chi_{кр}$ = 0,055 Вт/м·°С, цена 170 руб.

Выход балконной плиты нужного класса отсутствует у ближайшего по удельным затратам $\Psi_{бал}$ = 0,28 Вт/(м°С), цена 950 руб./м.

Оконный откос нужного класса $\Psi_{отк}$ = 0,06 Вт/(м·°С), цена 390 руб./м.

По характеристикам и цене элементов из оптимального набора определяются характеристики и стоимость оптимальной конструкции.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены составляет

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}323 + 2{,}7 \cdot 0{,}055 + 0{,}12 \cdot 0{,}28 + 0{,}8 \cdot 0{,}06} = \frac{1}{0{,}323 + 0{,}149 + 0{,}034 + 0{,}048} = 1{,}81 \quad \text{м}^2 \cdot °\text{С/Вт}$$

.

Общая стоимость квадратного метра стены:

$$K^{ед} = 3600 + 10 \cdot 80 + 2{,}7 \cdot 170 + 0{,}12 \cdot 950 + 0{,}8 \cdot 390 = 5285 \quad \text{руб./м}^2.$$

5.5.9 Выбор оптимального набора элементов для кладки из ячеистого бетона в расчетных условиях

По глади стены «9» классу соответствуют: 250 мм ячеистого бетона с сопротивлением теплопередаче по глади 2,14 м^2·°С/Вт.

Швы кладки нужного класса $\Psi_{шов}$ = 0,02 Вт/(м·°С), цена 110 руб./м.

Выход плиты перекрытия нужного класса отсутствует у ближайшего по удельным затратам $\Psi_{пер} = 0{,}15$ Вт/(м·°С), цена 1100 руб./м.

Оконные откосы нужного класса отсутствуют у ближайших по удельным затратам $\Psi_{отк} = 0{,}1$ Вт/(м·°С), цена 240 руб./м.

По характеристикам и цене элементов из оптимального набора определяются характеристики и стоимость оптимальной конструкции.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены составляет

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}467 + 3{,}2 \cdot 0{,}02 + 0{,}4 \cdot 0{,}15 + 0{,}8 \cdot 0{,}1} = \frac{1}{0{,}467 + 0{,}064 + 0{,}06 + 0{,}08} = 1{,}49 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт}.$$

Общая стоимость квадратного метра стены:

$$K^{ед} = 1900 + 5 \cdot 330 + 3{,}2 \cdot 110 + 0{,}4 \cdot 1100 + 0{,}8 \cdot 240 = 4534 \text{ руб./м}^2.$$

5.5.10 Выбор конструкции с наименьшими удельными приведенными затратами на строительство и эксплуатацию из двух альтернативных вариантов

Для каждого варианта стены по формуле (5.15) СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» вычисляются удельные приведенные затраты на строительство и эксплуатацию для условий расчета 1.

Для вентфасада:

$$П = \frac{5285}{12} + 0{,}024 \cdot \frac{4551}{1{,}81}\left(1{,}5 + \frac{10}{12}\right) = 440 + 141 = 581 \text{ руб./(м}^2\cdot\text{год)}.$$

Для кладки из ячеистого бетона

$$П = \frac{4534}{12} + 0{,}024 \cdot \frac{4551}{1{,}49}\left(1{,}5 + \frac{10}{12}\right) = 378 + 171 = 549 \text{ руб./(м}^2\cdot\text{год)}.$$

Для условий расчета 1 наименьшими удельными приведенными затратами на строительство и эксплуатацию среди рассмотренных вариантов обладает кладка из ячеистого бетона с облицовкой кирпичом при толщине ячеистого бетона 250 мм и других соответствующих элементах.

Следует понимать, что использованные в расчетах цифры взяты достаточно условно и полученные результаты не являются ни обоснованием оптимального уровня утепления в общем случае, ни рекомендацией по выбору определенных типов ограждающих конструкций. Наибольший эффект от энергоэффективных меро-

приятий будет достигаться при проведении подобных расчетов при проектировании зданий для конкретных условий строительства, которые вообще говоря могут отличаться даже на соседних объектах.

5.5.11 Условия расчета 2

Климатические условия г. Читы: ГСОП = 7687.

Цена тепловой энергии 3 руб./кВт·ч.

$C_{от}$ = 18 руб./(кВт ч/год).

Для обоих вариантов стены срок службы всех элементов составляет более 24 лет, поэтому срок окупаемости принят равным 12 годам.

Удельная прибыль от экономии энергетической единицы составляет:

$$\Omega_{пр} = (3 \cdot 12 + 18) \cdot 7{,}687 = 415 \quad \text{руб./(кВт·ч /год).}$$

Требуемый класс энергетической эффективности здания – «12».

5.5.12 Выбор оптимального набора элементов для вентилируемого фасада в расчетных условиях

По глади стены «12» классу соответствуют: 200 - 220 мм МВП. Ближайшей к требуемой является толщина МВП 210 с сопротивлением теплопередаче по глади 5,85 м^2 °С/Вт.

Кронштейн нужного класса $\chi_{кр}$ = 0,007 Вт/м·°С, цена 440 руб.

Выход балконной плиты $\Psi_{бал}$ = 0,1 Вт/(м·°С), цена 2400 руб./м.

Оконный откос нужного класса $\Psi_{отк}$ = 0,017 Вт/(м·°С), цена 690 руб./м.

По характеристикам и цене элементов из оптимального набора определяются характеристики и стоимость оптимальной конструкции.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены составляет:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}171 + 2{,}7 \cdot 0{,}007 + 0{,}12 \cdot 0{,}1 + 0{,}8 \cdot 0{,}017} = \frac{1}{0{,}171 + 0{,}019 + 0{,}012 + 0{,}014} = 4{,}63 \quad \text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{С/Вт.}$$

Общая стоимость квадратного метра стены:

$$K^{ед} = 3600 + 21 \cdot 80 + 2{,}7 \cdot 440 + 0{,}12 \cdot 2400 + 0{,}8 \cdot 690 = 6120 \quad \text{руб./м}^2.$$

5.5.13 Выбор оптимального набора элементов для кладки из ячеистого бетона в расчетных условиях

По глади стены «12» классу соответствуют: 450 мм ячеистого бетона с сопротивлением теплопередаче по глади 3,56 $м^2 \cdot {}^oС/Вт$.

Швы кладки ближайшего класса $\Psi_{шов}$ = 0,008 Вт/(м·°С), цена 190 руб./м.

Выход плиты перекрытия нужного класса $\Psi_{пер}$ = 0,09 Вт/(м·°С), цена 1800 руб./м.

Оконные откосы нужного класса отсутствуют у ближайших по удельным затратам $\Psi_{отк}$ = 0,04 Вт/(м·°С), цена 570 руб./м.

По характеристикам и цене элементов из оптимального набора определяются характеристики и стоимость оптимальной конструкции.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены составляет:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{0{,}281 + 3{,}2 \cdot 0{,}008 + 0{,}4 \cdot 0{,}09 + 0{,}8 \cdot 0{,}04} = \frac{1}{0{,}281 + 0{,}026 + 0{,}036 + 0{,}032} = 2{,}67 \quad м^2 \cdot {}^oС/Вт.$$

Общая стоимость квадратного метра стены:

$$K^{ед} = 1900 + 9 \cdot 330 + 3{,}2 \cdot 190 + 0{,}4 \cdot 1800 + 0{,}8 \cdot 570 = 6654 \quad руб./м^2.$$

5.5.14 Выбор конструкции с наименьшими удельными приведенными затратами на строительство и эксплуатацию из двух альтернативных вариантов

Так как у второго варианта стены (кладка) одновременно больше приведенные затраты и меньше приведенное сопротивление теплопередаче, эта конструкция однозначно менее выгодна и оценку по удельным приведенным затратам можно не проводить.

Для условий расчета 2 наименьшими удельными приведенными затратами на строительство и эксплуатацию среди рассмотренных вариантов обладает стена с вентилируемым фасадом при толщине утеплителя 210 мм и других соответствующих элементах.

5.5.15 Следует отметить, что для обоих вариантов конструкции ужесточение экономико-климатических условий привело к повышению не только оптимального сопротивления теплопередаче, но и повышению теплотехнической однородности.

В расчетных условиях 1 коэффициент теплотехнической однородности вентилируемого фасада составил 0,58, а для стены из кладки ячеистого бетона 0,7.

В расчетных условиях 2 коэффициент теплотехнической однородности вентилируемого фасада составил 0,79, а для стены из кладки ячеистого бетона 0,75.

5.6 Пример расчета срока окупаемости утепления ограждений с дисконтированием промежуточных доходов

Расчета срока окупаемости утепления ограждений с дисконтированием промежуточных доходов проводится в соответствии с методикой, изложенной в разделе 5.11 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты». Расчет затрагивает только утепление по глади ограждающих конструкций и демонстрирует общий принцип применения дисконтирования доходов в экономических расчетах. Этот принцип при необходимости можно расширить и на другие энергосберегающие мероприятия, но это не всегда целесообразно.

Калькуляция дополнительных капитальных затрат на утепление здания сведена в таблицу 5.14.

Таблица 5.14 – Калькуляция дополнительных капитальных затрат на утепление здания

Ограждение	$A_{\phi i}$, м^2	$R_{o.i}^{пр}$, м^2·°С/Вт		$n_{t,i}$	Значение $\left(n_{t,i}\frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{пр}}\right)$		Объем теплоизоляции, м^3	
		Вар.I	Вар.II		Вариант I	Вариант II	Вариант I*	Вариант II*
Наружная стена	1014	2,98	1,87	1,00	340	542	154,7	97,1
Бесчердачное покрытие	1397	4,45	3,56	1,00	314	392	318,3	254,6
Пол над техподпольем	1397	3,93	3,14	0,60	213	267	281,1	224,6
Окна	464	0,52	0,52	1,00	892	892	–	–
							Итого 754	Итого 567
Стоимость теплоизоляции, руб./м^3					2000			
Отапливаемый объем здания, м^3					$V_{от}$ = 10102			
$k_{об}$, Вт/(м^3·°С)					0,174	0,207		
ГСОП, °С·сут./г.					4515			
$Q_{от}^{г}$, МВт·ч/г.					190	226		
Цена тепловой энергии $C_т$, руб./Гкал					1500			
ΣK, руб.							1508000	1134000
Э, руб./г.					245100	291540		

Примечание – в варианте I сопротивление теплопередаче для наружной стены принято со значением регионального коэффициента m_p = 1, в варианте II – с

минимально допустимым значением m_p = 0,63, в этом же варианте для покрытия и пола принято m_p = 0,8.

Норма дисконта принимается равной p = 12% годовых.

Вычисление срока окупаемости:

$$T_0 = \Delta(\Sigma\ К(/ \Delta Э = \frac{1508000 - 1134000}{291540 - 245100} = \frac{374000}{46440} = 8 \text{ лет.}$$

Таким образом, простой срок окупаемости T_0 = 8 лет.

Срок окупаемости дополнительной теплоизоляции с учетом дисконтирования

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - 8 \cdot 12 / 100\right)}{\ln\left(1 + 12 / 100\right)} = 29,3 \approx 30 \quad \text{лет} .$$

Срок окупаемости дополнительной теплоизоляции велик, он превышает величину $1/p$. Следовательно, повышение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с уровня варианта I до уровня варианта II нецелесообразно.

6 Расчет теплоустойчивости ограждающей конструкции

Расчет теплоустойчивости ограждающей конструкции проводится в соответствии с разделом 6 СП 50.13330.2012. Требования по теплоустойчивости накладываются на ограждающие конструкции только в районах с среднемесячной температурой июля выше 21 °С. Для июля расчеты и проводятся.

6.1 Исходные данные

Необходимо определить, удовлетворяет ли требованиям в отношении теплоустойчивости стеновая трехслойная железобетонная панель с утеплителем из пенополистирола на гибких связях со следующими характеристиками:

- общая толщина панели 300 мм;

- наружный железобетонный слой: толщина 65 мм, плотность железобетона 2500 мм;

- внутренний железобетонный слой: толщина 100 мм, плотность железобетона 2500 мм;

- теплоизоляционный слой – пенополистирол: толщина 135 мм, плотность пенополистирола 40 мм.

1. Район строительства – г. Ростов-на-Дону, условия эксплуатации А.

2. Средняя месячная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца (июля) согласно таблицы 5.1 СП 131.13330.2012 $t_н = 23{,}2$ °С.

3. Максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха согласно табл. 6.1 СП 131.13330.2012 $A_{t_н} = 19$ °С.

4. Максимальное и среднее значения суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации в июле при ясном небе для вертикальной поверхности западной ориентации согласно приложению Е СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» $I_{max} = 764$ Вт/м^2 и $I_{ср} = 184$ Вт/м^2.

5. Расчетная скорость ветра согласно табл. 3.1 СП 131.13330.2012 $v = 3{,}6$ м/с.

6. Теплотехнические характеристики материалов панели выбираются по условиям эксплуатации А согласно приложению Т СП 50.13330.2012:

для железобетонных слоев

$\lambda_1 = \lambda_3 = 1{,}92$ Вт/(м·°С),

$$s_1 = s_3 = 17{,}98 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)};$$

для пенополистирола

$$\lambda_2 = 0{,}041 \text{ Вт/(м·°С)},$$

$$s_2 = 0{,}41 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)}.$$

Порядок расчета

1. Термические сопротивления отдельных слоев стеновой панели:

внутреннего железобетонного слоя

$$R_1 = 0{,}1 / 1{,}92 = 0{,}052 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт};$$

слоя пенополистирола

$$R_2 = 0{,}135 / 0{,}041 = 3{,}29 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт};$$

наружного железобетонного слоя

$$R_3 = 0{,}065 / 1{,}92 = 0{,}034 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт}.$$

2. Тепловая инерция каждого слоя и самой панели:

наружного железобетонного слоя

$$D_1 = 0{,}052\cdot 17{,}98 = 0{,}935 < 1;$$

пенополистирола

$$D_2 = 3{,}293\cdot 0{,}41 = 1{,}35;$$

внутреннего железобетонного слоя

$$D_3 = 0{,}034\cdot 17{,}98 = 0{,}611 < 1;$$

всей панели

$$\Sigma D_i = 0{,}935 + 1{,}35 + 0{,}611 = 2{,}90.$$

Поскольку тепловая инерция стеновой панели $D < 4$, то требуется расчет панели на теплоустойчивость.

3. Нормируемая амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности $A_\tau^{тр}$ ограждающей конструкции определяется по формуле (6.1):

$$A_\tau^{mp} = 2{,}5 - 0{,}1(23 - 21) = 2{,}3 \text{ °С}.$$

4. Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности $\alpha_н$ ограждающей конструкции по летним условиям определяется по формуле (6.9)

$$\alpha_н = 1{,}16\left(5 + 10\sqrt{3{,}6}\right) = 27{,}8 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)}.$$

5. Расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха вычисляется по формуле (6.3)

$$A_{t_н}^{расч} = \frac{0,5 \cdot 19 + [0,7(764 - 184)]}{27,8} = 24,1 \ ^\circ C.$$

6. Коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя Y с тепловой инерцией $D < 1$ определяется расчетом по формулам (6.7) и (6.8) СП 50.13330.2012:

а) для внутреннего железобетонного слоя

$$Y_1 = \left(R_1 s_1^2 + \alpha_в\right) / \left(1 + R_1 \alpha_в\right) = \left(0,052 \cdot 17,98^2 + 8,7\right) / \left(1 + 0,052 \cdot 8,7\right) = 17,6 \ \text{Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)};$$

б) для среднего слоя из пенополистирола, имеющего $D > 1$, коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя принимается равным коэффициенту теплоусвоения материала $Y_2 = s_2 = 0,41$ Вт/(м$^2 \cdot$°C);

в) для наружного железобетонного слоя

$$Y_3 = \left(R_3 s_3^2 + Y_2\right) / \left(1 + R_3 s_2\right) = \left(0,034 \cdot 17,98^2 + 0,41\right) / \left(1 + 0,034 \cdot 0,41\right) = 11,24 \ \text{Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}.$$

7. Величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции вычисляется по формуле (6.4) СП 50.13330.2012

$$\nu = 0,9 e^{D/\sqrt{2}} \left[\left(s_1 + \alpha_в\right)\left(s_2 + Y_1\right)\left(s_3 + Y_2\right)\left(\alpha_н + Y_3\right)\right] / \left[\left(s_1 + Y_1\right)\left(s_2 + Y_2\right)\left(s_3 + Y_3\right)\alpha_н\right] =$$

$$= 0,9 e^{2,896\sqrt{2}} \left[\left(17,98 + 8,7\right)\left(0,41 + 17,6\right)\left(17,98 + 0,41\right)\left(27,8 + 11,24\right)\right] /$$

$$/ \left[\left(17,98 + 17,6\right)\left(0,41 + 0,41\right)\left(17,98 + 11,24\right)27,8\right] = 101,56$$

8. Амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности стеновой панели определяется по формуле (6.2) СП 50.13330.2012

$$A_{\tau_в} = \frac{A_{t_н}^{расч}}{\nu} = \frac{24,1}{101,56} = 0,24 < A_\tau^{тр} = 2,3 \ ^\circ C,$$

что отвечает требованиям СП 50.13330.2012.

7 Проверка воздухопроницаемости ограждающей конструкции

Расчет воздухопроницаемости ограждающей конструкции проводится в соответствии с разделом 7 СП 50.13330.2012.

Необходимо определить, удовлетворяют ли в отношении сопротивления воздухопроницанию требованиям окна в пластмассовых переплетах с двухкамерными стеклопакетами в 12-этажном здании высотой $H = 34{,}8$ м в г. Москве. Максимальная из средних скоростей ветра по румбам согласно таблице 3.1 СП 131.13330.2012 за январь $v = 2$ м/с. Согласно сертификату воздухопроницаемость окна при $\Delta p = 10$ Па равна $G = 3{,}94$ кг/(м^2·ч), показатель режима фильтрации $n = 0{,}55$.

Для г. Москвы согласно таблице 3.1 СП 131.13330.2012 средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 равна –25 °С, расчетная температура внутреннего воздуха равна 20 °С.

Вычисляем удельный вес наружного и внутреннего воздуха по формуле (7.3) СП 50.13330.2012:

$$\gamma_н = 3463 / [273 + (-25)] = 13{,}96 \text{ Н/м}^3;$$

$$\gamma_в = 3463 / (273 + 20) = 11{,}78 \text{ Н/м}^3.$$

Определяем расчетную разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях окна на уровне пола первого этажа здания Δp по формуле (7.2) СП 50.13330.2012:

$$\Delta p = 0{,}55 \cdot 34{,}8\,(13{,}96 - 11{,}78) + 0{,}03 \cdot 13{,}96 \cdot (2)^2 = 43{,}4 \text{ Па}.$$

Находим нормируемое сопротивление воздухопроницанию окон в рассматриваемом доме по формуле (7.5) СП 50.13330.2012:

$$R_и^{тр} = (1 / 5)\,(43{,}4 / 10)^{2}/^{3} = 0{,}53 \text{ м}^2 \cdot \text{ч/кг}.$$

Сопротивление воздухопроницанию окна определим по формуле (7.6) СП 50.13330.2012:

$$R_и = (1 / 3{,}94)\,(43{,}4 / 10)^{0{,}55} = 0{,}56 \text{ м}^2 \cdot \text{ч/кг}.$$

Таким образом, выбранное окно удовлетворяет требованиям СП 50.13330.2012 в отношении сопротивления воздухопроницанию.

8 Проверка защиты от переувлажнения ограждающей конструкции

Проверка защиты от переувлажнения ограждающей конструкции проводится в соответствии с разделом 8 СП 50.13330.2012.

8.1 Пример проверки защиты от переувлажнения ограждающей конструкции

Необходимо рассчитать сопротивление паропроницанию наружной многослойной стены из железобетона, утеплителя и кирпичной облицовки жилого здания в г. Москва. Проверить соответствие сопротивления паропроницанию стены требованиям СП 50.13330.2012.

Исходные данные

Расчетная температура и относительная влажность внутреннего воздуха для жилых помещений: $t_в$ = 20 °С (согласно ГОСТ 30494), $\varphi_в$ = 55% (согласно СП 50.13330.2012).

Влажностный режим жилых помещений – нормальный; зона влажности для г. Москва – нормальная, условия эксплуатации ограждающих конструкций определяют по параметру Б согласно СП 50.13330.2012.

Расчетные теплотехнические показатели материалов приняты по приложению Т СП 50.13330.2012.

Наружная многослойная стена жилого дома состоит из следующих слоев, считая от внутренней поверхности:

1. Гипсокартонные листы толщиной 12 мм, плотностью $\rho_0 = 1050 кг/м^3$, расчетные коэффициенты: теплопроводности $\lambda_Б = 0,36 Вт/м \cdot °С$, паропроницаемости $\mu = 0,075 мг/(м \cdot ч \cdot Па)$.

2. Железобетон толщиной 100мм, плотностью $\rho_0 = 2500 кг/м^3$, расчетные коэффициенты: теплопроводности $\lambda_Б = 2,04 Вт/м \cdot °С$, паропроницаемости $\mu = 0,03 мг/(м \cdot ч \cdot Па)$.

3. Пенополистирол толщиной 100 мм, плотностью ρ_0 = 20 кг/м^3, расчетные коэффициенты: теплопроводности $\lambda_Б$ = 0,046 Вт/(м°С), паропроницаемости $\mu = 0,05 мг/(м \cdot ч \cdot Па)$.

4. Кирпичная облицовка из керамического пустотного кирпича толщиной 120мм, плотностью $\rho_0 = 1600 кг/м^3$, расчетные коэффициенты: теплопроводности $\lambda_Б = 0,64 Вт/м \cdot {}^oC$, паропроницаемости $\mu = 0,14 мг/(м \cdot ч \cdot Па)$.

Порядок расчета

Шаг 1. Находится плоскость максимального увлажнения. Для этого необходимо вычислить значения комплекса $f_i(t_{м.у.})$ для слоя утеплителя по формуле (8.7) СП 50.13330.2012:

$$f_i(t_{м.у.}) = 5330 \cdot \frac{R_{o,n}(t_в - t_{н,отр})}{R_o^{усл}(e_в - e_{н,отр})} \cdot \frac{\mu_i}{\lambda_i} = f_o \cdot \frac{\mu_i}{\lambda_i}.$$

Общее сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции ($R_{o,n}$) определяется по формуле (8.9*) СП 50.13330.2012:

$$R_{o,n} = \sum \frac{\delta_i}{\mu_i},$$

$$R_{o,n} = \frac{0,012}{0,075} + \frac{0,1}{0,03} + \frac{0,1}{0,05} + \frac{0,12}{0,14} \approx 6,35 (м^2 \cdot ч \cdot Па/мг).$$

Условное сопротивление теплопередаче ($R_o^{усл}$) однородной многослойной ограждающей конструкции определяется по приложению Е СП 50.13330.2012:

$$R_o^{усл} = \frac{1}{\alpha_в} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_н},$$

$$R_o^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,012}{0,36} + \frac{0,1}{2,04} + \frac{0,1}{0,046} + \frac{0,12}{0,64} + \frac{1}{23} = 2,6 \ (м^2 \cdot {}^oC)/Вт,$$

Парциальное давление водяного пара вычисляется по формуле (8.3) СП 50.13330.2012:

$$e_в = (\varphi_в / 100) \cdot E_в,$$

где $E_в$ – парциальное давление насыщенного водяного пара, при температуре внутреннего воздуха помещения $t_в$, рассчитывается по формуле (8.8) СП 50.13330.2012:

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

тогда:

$$E_в = 1{,}84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{293}\right) = 2315 \quad \text{Па},$$

$$e_в = \varphi \cdot E_в = 0{,}55 \cdot 2315 = 1273 \quad \text{Па}.$$

Далее, средняя температура наружного воздуха для периода с отрицательными среднемесячными температурами, согласно данным СП 131.13330.2012 равна:

$$t_{н,\,отр} = 4{,}6\ °C.$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами:

$$e_н = (500 + 360 + 280 + 290 + 390) = 364 \quad \text{Па}.$$

Находится значение термохарактеристики для слоя утеплителя.

Предварительно вычисляется общий для всех слоев коэффициент:

$$f_о = 5330\ \frac{6{,}35\,(20 - (-4{,}6))}{2{,}6(1273 - 364)} = 352 \quad К^2/\text{Па},$$

тогда получаем:

$$f_3 = 352 \cdot \frac{0{,}05}{0{,}046} = 383 \quad К^2/\text{Па}.$$

С помощью таблицы 8.2 СП 50.13330.2012 определяем значение температуры в плоскости максимального увлажнения ($t_{м.у.}$) для слоя утеплителя.

Значение 383 $К^2$/Па лежит в пределах между –16 °С и –17 °С. Такая температура не достигается в конструкции, а значит и в слое утеплителя в расчетных условиях. Полученная температура лежит с холодной стороны от утеплителя, значит плоскость максимального увлажнения нужно искать с холодной стороны от слоя утеплителя в облицовочном кирпиче.

$$f_4 = 352 \cdot \frac{0{,}14}{0{,}64} = 77 \quad К^2/\text{Па}.$$

С помощью таблицы 8.2 СП 50.13330.2012 определяем значение температуры в плоскости максимального увлажнения ($t_{м.у.}$) для слоя облицовочного кирпича.

Значение 77 $К^2$/Па лежит в пределах между 7 °С и 8 °С. Такая температура не достигается в слое облицовочного кирпича. Полученная температура лежит с теплой

стороны от слоя облицовочного кирпича, значит плоскость максимального увлажнения расположена на стыке утеплителя и облицовочного кирпича.

В разделе 8.3 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» приводится упрощенный метод нахождения плоскости максимального увлажнения. Он заключается в следующем.

Плоскость максимального увлажнения находится упрощенным методом в следующей последовательности:

1. Для всех слоев ограждающей конструкции рассчитывается критерий $\frac{\mu}{\lambda}$.
2. В соответствии с пунктом 8.3.1 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» проводится классификация конструкции.
3. По таблице 8.3 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» определяется слой, где расположена плоскость максимального увлажнения.
4. Рассчитываются климатический и конструкционный факторы и по таблице 8.4 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» определяется температура в плоскости максимального увлажнения.
5. По формуле (8.1) СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» определяется координата плоскости максимального увлажнения.

Если описанным алгоритмом получается отрицательная координата, значит, плоскость максимального увлажнения расположена на наружной границе слоя.

Попробуем применить описанный алгоритм к рассчитанной выше конструкции.

Выпишем критерий $\frac{\mu}{\lambda}$ для всех слоев конструкции.

Гипсокартонные листы $\frac{\mu}{\lambda} = 0,2$ мг·°С/(Вт·ч·Па).

Железобетон $\frac{\mu}{\lambda} = 0,015$ мг·°С/(Вт·ч·Па).

Пенополистирол $\frac{\mu}{\lambda} = 1,09$ мг·°С/(Вт·ч·Па).

Кирпичная облицовка из керамического пустотного кирпича $\frac{\mu}{\lambda} = 0,22$ мг·°С/(Вт·ч·Па).

Согласно пункту 8.3.1 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» конструкцию можно отнести к трехслойной конструкции с проницаемым слоем в середине. По таблице 8.3 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» для таких конструкций предлагается искать плоскость максимального увлажнения на стыке проницаемого и наружного плотного слоев.

Собственно этот результат полностью совпадает с полученным выше с помощью полного метода. Только упрощенный метод практически не потребовал сложных расчетов.

После нахождения координаты плоскости максимального увлажнения можно приступить ко второй части проверки на соответствие требованиям к защите от переувлажнения по СП 50.13330.2012.

Сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения ($R_п$) находится по формуле (8.9) СП 50.13330.2012:

$$R_п = \sum_{\text{до сечения x}} \frac{\delta_i}{\mu_i},$$

$$R_п = \frac{0,012}{0,075} + \frac{0,1}{0,03} + \frac{0,1}{0,05} \approx 5,49 (м^2 \cdot ч \cdot Па / мг).$$

Это сопротивление паропроницанию ($R_п$) должно быть не менее наибольшего из следующих требуемых сопротивлений паропроницанию:

а) требуемого сопротивления паропроницанию из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации ($R_{п1}^{тр}$) определяемого по формуле (8.1) СП 50.13330.2012:

$$R_{п1}^{тр} = \frac{(e_в - E) R_{п.н}}{E - e_н};$$

б) требуемого сопротивления паропроницанию из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха (R_{n2}^{mp}), определяемого по формуле (8.2) СП 50.13330.2012:

$$R_{n2}^{mp} = \frac{0,0024 z_0 (e_в - E_0)}{\rho_w \delta_w \Delta w + \eta}.$$

Парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха найдено ранее: $e_в \approx 1273 (Па)$.

Парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения (E) за годовой период эксплуатации определяется по формуле (8.4) СП 50.13330.2012:

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

где

E_1, E_2, E_3 — парциальные давления насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемые по температуре в плоскости максимального увлажнения при средней температуре наружного воздуха соответствующего периода;

z_1, z_2, z_3 — продолжительность зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, мес., определяемая по СП 131.13330.2012 с учетом следующих условий:

а) к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже –5 °С;

б) к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от –5 до +5 °С;

в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами воздуха выше + 5 °С.

Продолжительность зимнего периода составляет для Москвы z_1 = 3 мес., среднемесячная температура этого периода t_1 = (–5,6 – 7,8 – 7,1)/3 = –6,8 °С. Подставим её в формулу (8.10), чтобы найти температуру в плоскости максимального увлажнения для данного периода:

$$t_{м.у.1} = 20 - \frac{20 - (-6,8)}{2,6} 2,37 = -4,4 \text{ °С}.$$

Парциальное давление насыщенного водяного пара для зимнего периода:

$$E_1 = 1{,}84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{268{,}6}\right) = 443 \text{ Па.}$$

Таким же образом находим остальные неизвестные величины для других периодов.

Для весенне-осеннего периода $z_2 = 2$, $t_2 = (-1{,}1 - 1{,}3)/2 = -1{,}2$ °С,

$$t_{\text{м.у.2}} = 20 - \frac{20 - (-1{,}2)}{2{,}6} 2{,}37 = 0{,}7 \text{ °С,}$$

$$E_2 = 1{,}84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273{,}7}\right) = 642 \text{ Па.}$$

Для летнего периода $z_3 = 7$ мес., среднемесячная температура этого периода

$$t_3 = (6{,}4+13+16{,}9+18{,}7+16{,}8+11{,}1+5{,}2)/7 = 12{,}6 \text{ °С,}$$

$$t_{\text{м.у.3}} = 20 - \frac{20 - 12{,}6}{2{,}6} 2{,}37 = 13{,}3 \text{ °С,}$$

$$E_3 = 1{,}84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{286{,}3}\right) = 1512 \text{ Па.}$$

Тогда, подставляя полученные значения, получаем:

$$E = (443 \cdot 3 + 642 \cdot 2 + 1512 \cdot 7)/12 = 1100 \text{ Па.}$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период

$$e_н = 770 \text{ Па.}$$

Сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью максимального увлажнения ($R_{п.н}$) можно найти по формуле (8.9) СП 50.13330.2012, а можно вычесть из общего $R_{о.п}$ сопротивления сопротивление от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения $R_п$:

$$R_{п.н.} = R_{о.п.} - R_п = 6{,}35 - 5{,}49 = 0{,}86 (м^2 \cdot ч \cdot Па / мг).$$

Таким образом, получаем:

$$R_{п1}^{тр} = \frac{(e_в - E)R_{п.н}}{E - e_н} = \frac{(1273 - 1100) \cdot 0{,}86}{1100 - 770} = 0{,}45 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг.}$$

Далее, продолжительность периода влагонакопления (z_0) принимается равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха по СП 131.13330.2012 в сутках. Для Москвы она равна:

$$z_0 = (30 + 31 + 31 + 28 + 31) = 151 \text{ сут.}$$

Парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода влагонакопления z_0 (E_0) $t_{\text{н.от}} = -4{,}6$ °С, находим по формуле (8.8) СП 50.13330.2012. При этом температура в плоскости максимального увлажнения равна температуре на стыке двух слоев $t_{\text{м.у.от}} = -2{,}4$ °С.

$$E_0 = 1{,}84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{270{,}6}\right) = 513 \text{ Па.}$$

Так как плоскость максимального увлажнения находится на стыке двух слоев, необходимо, согласно п. 8.1 СП 50.13330.2012, выражение $\rho_w \delta_w \Delta w$ принять равным $\rho_{w1}\delta_{w1}\Delta w_1 + \rho_{w2}\delta_{w2}\Delta w_2$, где δ_{w1} и δ_{w2} соответствуют половине толщины стыкующихся слоев, а $\rho_{w1} - \rho_{w2}$ и $\Delta w_1 - \Delta w_2$ соответственно плотности материалов этих слоев и предельно допустимое приращение влажности в материалах (принимаемые по таблице 8.1 СП 50.13330.2012).

Тогда:

$$\rho_{w1}\delta_{w1}\Delta w_1 + \rho_{w2}\delta_{w2}\Delta w_2 = 20 \cdot 0{,}05 \cdot 25 + 1600 \cdot 0{,}06 \cdot 1{,}5 = 169 .$$

Коэффициент η находится по формуле (8.5):

$$\eta = \frac{0{,}0024 \left(E_0 - e_{н,отр}\right) z_0}{R_{п,н}} = \frac{0{,}0024 \cdot (513 - 364) \cdot 151}{0{,}86} = 62{,}8 .$$

В результате:

$$R_{п2}^{тр} = \frac{0{,}0024 \cdot 151 \cdot (1273 - 513)}{169 + 62{,}8} = 1{,}19 \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг.}$$

При сравнении полученных требуемых значений сопротивлений паропроницанию $R_{п1}^{тр}$ и $R_{п2}^{тр}$ с найденным ранее сопротивлением паропроницанию ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения $R_п$ устанавливаем, что:

$$R_n > R_{n2}^{mp} > R_{n1}^{mp}.$$

Следовательно, данная ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям СП 50.13330 по защите от переувлажнения.

8.2 Определение влажности внутреннего воздуха помещения с учетом наличия солей

Расчеты проводятся в соответствии с разделом 8.6 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»

Пример 1

Определить влажность внутреннего воздуха помещения с учетом наличия хлорида натрия (NaCl) при следующих параметрах: температура t = 10 °С, влажность внутреннего воздуха $\varphi_{в} = 55\%$.

По формуле (8.23) СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» определяется относительная влажность внутреннего воздуха с учетом влияния соли NaCl:

$$\varphi_{в}^{c} = \varphi_{в} \cdot 100 / \varphi_{p}.$$

Значение относительной влажности воздуха над насыщенным раствором соли φ_p определяется при температуре t = 10°С по таблице 8.6 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»: φ_p = 75,2%. Парциальное давление водяного пара E_{pi}, Па, при температуре t = 10 °С составляет: E_{pi} = 923,6 Па. Тогда

$$\varphi_{в}^{c} = 55 \cdot 100 / 75{,}2 = 73{,}14\ (\%).$$

Пример 2

Определить влажность внутреннего воздуха помещения с учетом наличия в материале наружных ограждающих конструкций смеси солей – хлорида натрия, сульфата калия и хлорида калия ($NaCl+K_2SO_4+KCl$) при температуре t = 10 °С и влажности внутреннего воздуха $\varphi_{в} = 55\%$.

По таблице 8.7 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» при t = 10 °С определяется парциальное давление водяного пара

и относительная влажность воздуха φ_p, % над насыщенными растворами смеси солей при давлении B = 100,7 кПа: E_p = 908,0 Па; φ_p = 73,9 %.

Вычисляется относительная влажность внутреннего воздуха с учетом влияния смеси солей $NaCl+K_2SO_4+KCl$:

$$\varphi_в^c = 55 \cdot 100 / 73,9 = 74,42 \ (\%).$$

Пример 3

Определить влажность внутреннего воздуха помещения с учетом наличия в материале наружных ограждающих конструкций смеси хлорида натрия и сульфата натрия ($NaCl + Na_2SO_4$) при температуре t = 10 °С и влажности внутреннего воздуха $\varphi_в$ = 55 %.

По таблице 8.7 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» при t = 10 °С определяется: E_p = 896,2 Па, φ_p = 70,78%.

Вычисляется относительная влажность внутреннего воздуха с учетом влияния смеси солей $NaCl + Na_2SO_4$:

$$\varphi_в^c = 55 \cdot 100 / 70,78 = 77,71 \ (\%).$$

Пример 4

Определить влажность внутреннего воздуха помещения с учетом наличия в материале наружных ограждающих конструкций смеси солей – хлорида натрия и нитрата калия ($NaCl + KNO_3$) при температуре t = 10 °С и влажности внутреннего воздуха $\varphi_в$ = 55%.

Для солей, которые не образуют кристаллогидраты, давление пара изотермически инвариантных смешанных растворов и смешанных растворов, насыщенных хотя бы одним компонентом или близких к насыщению, E_p рассчитывается по формуле (8.24) СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты».

Парциальное давление насыщенного водяного пара (над водой) $E_в$ определяется по формуле (8.8) СП 50.13330 или по справочникам интерполяцией табличных значений парциального давления насыщенного водяного пара для различных значений температур при давлении B = 100,7 кПа.

При t = 10 °С величина $E_в$ = 1228 Па.

При t = 10 °С по справочникам растворимости водно-солевых систем принимаются $c_i^н$, $C_{H_2O}^i$ в бинарных растворах солей, данные сведены в таблицу 8.1.

Таблица 8.1

Состав насыщенного раствора	$c_i^н$, (масс. %)	$C_{н_2о}^i$, (масс. %)	E_{pi}, Па
NaCl – H_2O	26,31	73,69	923,6
KNO_3 – H_2O	17,49	82,51	1183,0

По справочникам растворимости тройных и многокомпонентных систем, образованных неорганическими веществами, принимается концентрация *i*-й соли в растворе смеси солей (c_i) и содержание воды в растворе смеси солей ($C_{н_2о}$), масс. %. Для NaCl принимается c_i = 23 масс. %; для KNO_3 принимается c_i = 16 масс. %; $C_{н_2о}$ = 61 масс. %.

$$E_р = E_в - \sum (E_в - E_{pi}) \cdot \frac{c_i \cdot C_{н_2О}^i}{c_i^н \cdot C_{н_2О}} = 1228 - (1228 - 923,6) \cdot \frac{23,0 \cdot 73,69}{26,31 \cdot 61,0} -$$

$$- (1228 - 1183,0) \cdot \frac{16,0 \cdot 82,51}{17,49 \cdot 61,0} = 850,9 \text{ Па}$$

По формуле (8.3) СП 50.13330 определяется парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха $e_в$, Па при расчетных температуре и относительной влажности воздуха без учета солей:

$$e_в = (\varphi_в / 100) E_в = (1228 / 100) \cdot 55 = 675,4 \text{ (Па)}.$$

В формулу (8.3), в соответствии с п. 8.6 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты», подставим, при наличии смеси солей, вместо значения $E_в$ величину $E_р$, вместо $\varphi_в$ подставим $\varphi_в^c$. Выразим $\varphi_в^c$. Формула примет вид (8.1):

$$\varphi_в^c = 100 \, e_в / E_р. \qquad (8.1)$$

Вычисляется значение $\varphi_в^c$ с учетом влияния солей:

$$\varphi_в^c = 100 \cdot 675,4 / 850,9 = 79,37 \ (\%).$$

Пример 5

Определить влажность внутреннего воздуха помещения с учетом наличия в материале наружных ограждающих конструкций соли, образующей в растворе при данной температуре разные кристаллогидраты.

E_p, Па над раствором смеси кристаллогидратов изменяется ступенчато и принимается по справочникам равным давлению E_{pi}, Па над раствором кристаллогидрата с наибольшим числом присоединенных молекул воды.

Затем определяется парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха $e_в$, Па при расчетных температуре и относительной влажности воздуха без учета соли. Далее вычисляется значение $\varphi_в^c$, % с учетом влияния соли по формуле (8.1).

9 Проверка теплоусвоения поверхности пола

Теплоусвоение поверхности пола проверяется в соответствии с разделом 9 СП 50.13330.2012.

Исходные данные

Определить, удовлетворяет требованиям по теплоусвоению конструкция пола жилого здания из поливинилхлоридного линолеума на теплозвукоизолирующей подоснове из стеклянного волокна, наклеенного холодной битумной мастикой на железобетонную плиту перекрытия. Теплотехнические характеристики отдельных слоев конструкции пола (при их нумерации сверху вниз) даны в таблице 9.1.

Таблица 9.1

Номер слоя	Материал	Толщина слоя δ, м	Плотность материала в сухом состоянии ρ_0, кг/м^3	Коэффициенты при условиях эксплуатации А		Термическое сопротивление R, м^2·°С/Вт
				теплопроводности λ, Вт/(м·°С)	теплоусвоения s, Вт/(м^2·°С)	
1	Лицевой слой из линолеума	0,0015	1600	0,33	7,52	0,0045
2	Подоснова	0,002	150	0,047	0,92	0,043
3	Битумная мастика	0,001	1000	0,17	4,56	0,0059
4	Плита перекрытия	0,14	2400	1,74	16,77	0,08

Порядок расчета

Определяется тепловая инерция слоев пола по формуле (9.4) СП 50.13330.2012

$D_1 = R_1 s_1 = 0{,}0045 \cdot 7{,}52 = 0{,}034$;

$D_2 = R_2 s_2 = 0{,}043 \cdot 0{,}92 = 0{,}04$;

$D_3 = R_3 s_3 = 0{,}0059 \cdot 4{,}56 = 0{,}027$;

$D_4 = R_4 s_4 = 0{,}08 \cdot 16{,}77 = 1{,}34$.

Так как суммарная тепловая инерция первых трех слоев $D_1 + D_2 + D_3 = 0{,}034 + 0{,}04 + 0{,}027 = 0{,}101 < 0{,}5$, но суммарная тепловая инерция четырех слоев $0{,}101 + 1{,}34 = 1{,}441 > 0{,}5$, то показатель теплоусвоения поверхности пола определяем по-

следовательно с учетом четырех слоев конструкции пола с помощью формул (9.2) и (9.3) СП 50.13330.2012, начиная с третьего

$$Y_3 = \left(2R_3 s_3^2 + s_4\right) / \left(0,5 + R_3 s_4\right) = \left(2 \cdot 0,0059 \cdot 4,56^2 + 16,77\right) / \left(0,5 + 0,0059 \cdot 16,77\right) = 28,4 \text{ Вт/(м}^{2\cdot}\text{°C)};$$

$$Y_2 = \left(4R_3 s_3^2 + Y_3\right) / \left(1 + R_2 Y_3\right) = \left(4 \cdot 0,043 \cdot 0,92^2 + 28,4\right) / \left(1 + 0,043 \cdot 28,4\right) = 12,9 \text{ Вт/(м}^{2\cdot}\text{°C)};$$

$$Y_1 = Y_n = \left(4R_1 s_1^2 + Y_2\right) / \left(1 + R_1 Y_2\right) = \left(4 \cdot 0,0045 \cdot 7,52^2 + 12,9\right) / \left(1 + 0,0045 \cdot 12,9\right) = 13,2 \text{ Вт/(м}^{2\cdot}\text{°C)}.$$

Значение показателя теплоусвоения поверхности пола для жилых зданий согласно п. 9.1 СП 50.13330.2012 не должно превышать нормируемого значения $Y_{\text{пол}}^{\text{тр}}$ = 12 Вт/(м$^{2\cdot}$°C). Расчетное значение показателя теплоусвоения данной конструкции $Y_{пол}$ = 13,2 Вт/(м$^{2\cdot}$°C).

Следовательно, рассматриваемая конструкция пола в отношении теплоусвоения не удовлетворяет требованиям п. 9.1 СП 50.13330.2012.

Определим показатель теплоусвоения поверхности данной конструкции пола в том случае, если по плите перекрытия будет устроена стяжка из шлакопемзобетона (δ = 0,02 м, ρ_0 = 1200 кг/м^3, λ = 0,37 Вт/(м·°C), s = 5,83 Вт/(м$^{2\cdot}$°C), R = 0,054 м$^{2\cdot}$°C/Вт, D = 0,315). Конструкция пола в этом случае будет состоять из пяти слоев.

Так как суммарная тепловая инерция первых четырех слоев $D_1 + D_2 + D_3 + D_4$ = 0,034 + 0,04 + 0,027 + 0,315 = 0,416 < 0,5, но суммарная тепловая инерция пяти слоев 0,416 + 1,34 = 1,756 > 0,5, то показатель теплоусвоения поверхности пола определяется с учетом пяти слоев конструкции пола.

Определим показатель теплоусвоения поверхности четвертого, третьего, второго и первого слоев пола по формулам (9.2) и (9.3) СП 50.13330.2012:

$$Y_4 = \left(2R_4 s_4^2 + s_5\right) / \left(0,5 + R_4 s_5\right) = \left(2 \cdot 0,054 \cdot 5,83^2 + 16,77\right) / \left(0,5 + 0,054 \cdot 16,77\right) = 14,5 \text{ Вт/(м}^{2\cdot}\text{°C)};$$

$$Y_3 = \left(4R_3 s_3^2 + Y_4\right) / \left(1 + R_3 Y_4\right) = \left(4 \cdot 0,0059 \cdot 4,56^2 + 14,5\right) / \left(1 + 0,0059 \cdot 14,5\right) = 13,82 \text{ Вт/(м}^{2\cdot}\text{°C)};$$

$$Y_2 = \left(4R_2 s_2^2 + Y_3\right) / \left(1 + R_2 Y_3\right) = \left(4 \cdot 0,043 \cdot 0,92^2 + 13,82\right) / \left(1 + 0,043 \cdot 13,82\right) = 8,78 \text{ Вт/(м}^{2\cdot}\text{°C)};$$

$$Y_1 = Y_n = \left(4R_1 s_1^2 + Y_2\right) / \left(1 + R_1 Y_2\right) = \left(4 \cdot 0,0045 \cdot 7,52^2 + 8,78\right) / \left(1 + 0,0045 \cdot 8,78\right) = 9,4 \text{ Вт/(м}^{2\cdot}\text{°C)}.$$

Таким образом, устройство по плите перекрытия стяжки из шлакопемзобетона (ρ_0 = 1200 кг/м^3) толщиной 20 мм уменьшило значение показателя теплоусвоения поверхности пола с 13,2 до 9,4 Вт/(м$^{2\cdot}$°C). Следовательно, эта конструкция пола в отношении теплоусвоения удовлетворяет нормативным требованиям СП

50.13330.2012, так как значение показателя теплоусвоения поверхности не превышает $Y_{пол}^{тр}$ = 12 Вт/(м^2·°С) — нормируемого показателя теплоусвоения пола для жилах зданий.

10 Расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания и удельного расхода тепловой энергии

Расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания и удельного расхода тепловой энергии проводится в соответствии с приложением Г СП 50.13330.2012.

10.1 Описание объекта

Для составления раздела выбран жилой дом из пункта 5.4 настоящего методического пособия. Поэтому часть информации дублирующей пункт 5.4, здесь не приводится.

Многоэтажный, многосекционный жилой дом строится в г. Дмитров Московской области.

Проектируемое здание четырехсекционное, разноэтажное.

Под первым этажом расположен подвал и технические помещения. Средняя за отопительный период расчетная температура воздуха в помещениях $t_{под} = 8\,^{o}C$.

На первом этаже расположены помещения общественного назначения. Средняя за отопительный период расчетная температура воздуха в помещениях $t_{общ} = 20\,^{o}C$.

На всех этажах, кроме первого и последнего, расположены жилые квартиры. Средняя за отопительный период расчетная температура воздуха в помещениях $t_{жил} = 20\,^{o}C$.

На последнем этаже расположены технические помещения. Средняя за отопительный период расчетная температура воздуха в помещениях $t_{тех}^{ср} = 18\,^{o}C$.

Объемно-планировочные показатели:

Отапливаемый объем здания $V_{от} = 34229$ м^3;

В том числе:

отапливаемый объем жилой части здания: $V_{от1} = 24751$ м^3;

отапливаемый объем общественных помещений: $V_{от2} = 6303$ м^3;

отапливаемый объем технических помещений и ЛЛУ: $V_{от3} = 3175$ м^3;

сумма площадей этажей здания: $A_{от} = 13080$ м^2;

площадь жилых помещений: $A_{ж} = 3793$ м^2;

расчетная площадь общественных помещений: $A_р$ = 1229 м^2;

расчетное количество жителей: $m_ж$ = 332 чел;

высота здания от пола первого этажа до обреза вытяжной шахты:

1, 4 секции – 22,1 м.

2, 3 секции – 28,1 м.

общая площадь наружных ограждающих конструкций: $A_н^{сум}$ = 12415 м^2;

то же, фасадов здания: $A_{фас}$ = 9145 м^2;

площадь стен жилой части здания: 4839 м^2;

то же, общественных помещений: 1405 м^2;

то же, технических помещений и ЛЛУ: 1024 м^2;

площадь эксплуатируемой кровли: 1296 м^2;

то же, совмещенного кровельного покрытия: 339 м^2;

то же, перекрытий над подвалом: 1550 м^2;

то же, перекрытий над проездом: 85 м^2.

Более подробно разбивка ограждающих конструкций по видам приведена в п. 5.4.

Площадь надземного остекления по сторонам света сведена в таблицу 10.1.

Таблица 10.1

Сторона света	Площадь, м^2
С	142
СВ	366
В	103
ЮВ	286
Ю	67
ЮЗ	477
З	49
СЗ	323
Всего	1813

Всего остекления 1813 м^2;

площадь входных дверей: 64 м^2;

коэффициент компактности здания: $K_{комп} = 0,36$;

коэффициент остекленности здания: $f = 0,20$.

10.2 Климатические параметры

При теплотехнических расчетах климатические параметры района строительства принимаются по СП 131.13330.2012 для г. Дмитрова Московской обл. Эти параметры имеют следующие значения:

средняя температура наиболее холодной пятидневки $t_н = -28$ °С;

средняя температура отопительного периода $t_{от} = -3,1$ °С;

продолжительность отопительного периода $z_{от} = 216$ сут.

Основными параметрами микроклимата являются температура и относительная влажность внутреннего воздуха $t_в = 20$ °С, $\varphi_в = 55\%$.

На основе климатических характеристик района строительства и микроклимата помещения рассчитывается величина градусо-суток отопительного периода

$$ГСОП = (t_в - t_{от}) \cdot z_{от} = 23,1 \cdot 216 = 4990 \text{ °С·сут.}$$

10.3 Расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление надземной жилой части здания

1. Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитана в 5.4:

$$k_{об} = 0,165 \quad \text{Вт/(м}^3\text{·°С).}$$

2. Удельная вентиляционная характеристика здания определяется по формуле (Г.2) СП 50.13330.2012:

$$k_{вент} = 0,28 \cdot c \cdot \left(L_{вент} \cdot \rho_в^{вент} \cdot n_{вент} \cdot \left(1 - k_{эф}\right) + G_{инф} \cdot n_{инф}\right) / \left(168 \cdot V_{от}\right) =$$

$$= 0,28 \cdot 1 \cdot [(9960 \cdot 1,31 \cdot 168 \cdot 1) + (4916 \cdot 1,31 \cdot 60 \cdot 1) + (446 \cdot 108) + (1184 \cdot 168)] / (168 \cdot 34229) = 0,138 \quad \text{Вт/(м}^3\text{·°С).}$$

В формуле выше в квадратных скобках стоит четыре слагаемых, которые отвечают за вентиляцию и инфильтрацию жилой части здания, и вентиляцию и инфильтрацию общественной части здания.

3. Расчетная заселенность квартир составляет 25 м^2/чел, поэтому количество приточного воздуха в жилую часть здания определяется по большему из значений:

$$L_{вент,1} = 0,35 \cdot h_{эт} \cdot A_ж = 0,35 \cdot 3 \cdot 3793 = 3982 \text{ м}^3\text{/ч;}$$

$$L_{вент,1} = 30 m_ж = 30 \cdot 332 = 9960 \text{ м}^3\text{/ч.}$$

Второе значение больше, поэтому количество приточного воздуха в жилую часть здания $L_{\text{вент},1} = 9960$ м^3/ч.

Число часов работы вентиляции в течение недели $n_{\text{вент},1}$ и коэффициент эффективности рекуператора $k_{\text{эф},1}$ жилой части здания за отопительный период составляют:

$$n_{\text{вент},1} = 1;\ k_{\text{эф},1} = 0.$$

4. Количество воздуха организованной вентиляции общественных помещений $L_{\text{вент},2} = 4 \cdot 1229 = 4916$ м^3/ч

Количество часов работы систем механической вентиляции $n_{\text{вент},2}$, времени учета инфильтрации $n_{\text{инф},2}$ и использования теплоутилизации вытяжного воздуха $k_{\text{эф},2}$ общественных помещений здания за отопительный период составляют:

$$n_{\text{вент},2} = 60;\ n_{\text{инф},2} = 108;\ k_{\text{эф},2} = 1.$$

Количество инфильтрующегося воздуха в нерабочии часы в общественной части здания $G_{\text{инф},2}$ определяется согласно п. Г.4 СП 50.13330.2012.

$G_{\text{инф},2}$ – количество воздуха, проходящее через ограждения в течение 1 ч, под действием средней разности давлений, кг/ч:

$$G_{\text{инф},2} = \sum_i \frac{A^t_{\text{ок}}}{R_{\text{и,ок}}} \left(\frac{\Delta p^t_{\text{ок}}}{10} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{129}{0,9} \left(\frac{24,8}{10} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{117}{0,9} \left(\frac{28,7}{10} \right)^{\frac{1}{2}} = 226 + 220 = 446 \ \text{кг/ч},$$

где $\Delta p_{\text{ок}}$ – разность давлений воздуха на наружной и внутренней сторонах ограждений, Па.

В данном случае в формуле для определения $G_{\text{инф},2}$ давление стоит в степени ½, несмотря на то, что рассматривается инфильтрация через окна, а не через двери степень ½ объясняется тем, что все окна расположены на первом этаже и по своим свойствам инфильтрация воздуха в этом случае аналогична инфильтрации через входные двери. Те же рассуждения справедливы для нахождения $\Delta p_{\text{ок}}$.

В данном случае существует четыре секции с двумя различными высотами: 1, 4 и 2, 3 секции.

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней сторонах ограждений для каждой секции составляет:

$$\Delta p^1_{\text{ок}} = 0,55 \cdot H^1 \cdot (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03 \cdot \gamma_{\text{н}} \cdot (v)^2 = 0,55 \cdot 22,1 \cdot (12,83 - 11,98) + 0,03 \cdot 12,83 \cdot (3,8)^2 = 10,3 + 5,6 = 15,9 \ \text{Па},$$

$$\Delta p^2_{ок} = 0,55 \cdot H^2 \cdot (\gamma_н - \gamma_в) + 0,03 \cdot \gamma_н \cdot (v)^2 = 0,55 \cdot 28,1 \cdot (12,83 - 11,98) + 0,03 \cdot 12,83 \cdot (3,8)^2 = 13,1 + 5,6 = 18,7 \text{ Па.}$$

5. Количество инфильтрующегося воздуха на лестничные клетки и лифтовые узлы жилой части здания $G_{инф,3}$ определяется согласно п. Г.4 СП 50.13330.2012:

$$G_{инф,3} = \sum_i \left\{ \left[\frac{A^i_{окдпу}}{R_{и,ок}} \right] \left(\frac{\Delta p^i_{ок}}{10} \right)^{\frac{2}{3}} + \frac{A^i_{дв}}{R_{и,дв}} \left(\frac{\Delta p^i_{дв}}{10} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} =$$

$$= \frac{177}{0,9} \left(\frac{11,6}{10} \right)^{\frac{2}{3}} + \frac{244}{0,9} \left(\frac{13,2}{10} \right)^{\frac{2}{3}} + \frac{39}{0,13} \left(\frac{15,9}{10} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{25}{0,13} \left(\frac{18,7}{10} \right)^{\frac{1}{2}} = 217 + 326 + 378 + 263 = 1184 \text{ кг/ч,}$$

где Δp – разность давлений воздуха на наружной и внутренней сторонах ограждений, соответствующая i-й зоне, Па.

В данном случае существует четыре секции с двумя различными высотами: 1, 4 и 2, 3 секции.

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней сторонах ограждений для входных дверей посчитана в п.4, для окон для каждой секции она составляет:

$$\Delta p^1_{ок} = 0,28 \cdot H^1 \cdot (\gamma_н - \gamma_в) + 0,03 \cdot \gamma_н \cdot (v)^2 = 0,28 \cdot 22,1 \cdot (13,07 - 11,9) + 0,03 \cdot 13,07 \cdot (5,2)^2 = 7,2 + 10,6 = 17,8 \text{ Па,}$$

$$\Delta p^2_{ок} = 0,28 \cdot H^2 \cdot (\gamma_н - \gamma_в) + 0,03 \cdot \gamma_н \cdot (v)^2 = 0,28 \cdot 28,1 \cdot (13,07 - 11,9) + 0,03 \cdot 13,07 \cdot (5,2)^2 = 9,2 + 10,6 = 19,8 \text{ Па.}$$

6. Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания определяется по формуле (Г.6) СП 50.13330.2012:

$$k_{быт} = \frac{q_{быт} \cdot A_ж}{V_{от} \cdot (t_в - t_{от})} = \frac{15,6 \cdot 3793}{34229 \cdot 23,1} = 0,075 \quad \text{Вт/(м}^3\cdot\text{°С).}$$

где $q_{быт}$ принимается в соответствии с п. 10.2.5 в зависимости от расчетной заселенности квартиры по интерполяции между 17 Вт/м^2 при заселенности 20 м^2 на человека и 10 Вт/м^2 при заселенности 45 м^2 на человека.

Расчетная заселенность квартир составляет 25,1 м^2 на человека;

$$q_{быт} = 17 + \frac{10 - 17}{45 - 20}(25,1 - 20) = 15,6 \quad \text{Вт/м}^2.$$

7. Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации определяется по формуле (Г.7) СП 50.13330.2012:

$$k_{рад} = \frac{11,6 \cdot Q^{оп}_{рад}}{(V_{от} \cdot ГСОП)} = \frac{11,6 \cdot 687761}{(34229 \cdot 4990)} = 0,047 \quad \text{Вт/(м}^3\cdot\text{°С).}$$

Теплопоступления через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода $Q_{рад}^{ОП}$, МДж/год, определяется по формуле (Г.8) СП 50.13330.2012:

$$Q_{рад}^{ОП} = g \cdot \tau_2 \cdot (A_1 \cdot I_1 + A_2 \cdot I_2 + A_3 \cdot I_3 + A_4 \cdot I_4 + A_5 \cdot I_5 + A_6 \cdot I_6 + A_7 \cdot I_7) =$$

$$= 0{,}56 \cdot 0{,}76 \cdot (142 \cdot 618 + 366 \cdot 642 + 323 \cdot 642 + 103 \cdot 840 + 49 \cdot 843 + 286 \cdot 1141 + 477 \cdot 1141 +$$

$$+ 67 \cdot 1279) = 687761 \text{ МДж/год.}$$

8. Коэффициент полезного использования теплопоступлений определяется по формуле (Г.1а) СП 50.13330.2012:

$$\beta_{КПИ} = K_{рег} / (1 + 0{,}5 \cdot n_{возд}) = 0{,}9 / (1 + 0{,}5 \cdot 0{,}614) = 0{,}69 .$$

Коэффициент воздухообмена, кг/(м^3·ч), определяется по формуле (Г.4) СП 50.13330.2012:

$$n_{возд} = G_{возд} / V_{от} = 21031 / 34229 = 0{,}614 \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{ч).}$$

Общий массовый расход воздуха, поступающего в помещения здания, определяется по формуле:

$$G_{возд} = L_{вент} \cdot \rho_{в}^{вент} + G_{инф} = 9960 \cdot 1{,}31 + 4 \cdot 1229 \cdot 1{,}31 + 359 + 1184 = 21031 \text{ кг/ч.}$$

9. Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период определяется по формуле (Г1) СП 50.13330.2012:

$$q_{от}^{р} = 0{,}165 + 0{,}138 - 0{,}69 \cdot (0{,}075 + 0{,}047) = 0{,}219 \text{ Вт/(м}^3 \cdot {}^{\circ}\text{C).}$$

Полученная расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период меньше 0,319 Вт/(м^3·°С) – величины требуемой настоящим сводом правил. Класс потребления энергии здания – «В+».

10. Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{от}^{год}$, кВт ч/год, определяется по формуле (Г.10) СП 50.13330.2012:

$$Q_{от}^{год} = 0{,}024 \cdot ГСОП \cdot V_{от} \cdot q_{от}^{р} = 0{,}024 \cdot 4990 \cdot 34229 \cdot 0{,}219 = 897739 \text{ кВт ч/год.}$$

11. Общие теплопотери здания за отопительный период $Q_{общ}^{год}$, кВт ч/год, определяются по формуле (Г.11) СП 50.13330.2012:

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

$$= 0{,}024 \cdot 4990 \cdot 34229 \cdot (0{,}165 + 0{,}138) = 1242077 \quad \text{кВт·ч/год.}$$

12. Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период q, кВт ч/(м^{2}год), определяется по формуле (Г.9) СП 50.13330.2012:

$$q = \frac{Q_{от}^{год}}{A_{от}} = \frac{897739}{13080} = 68{,}6 \quad \text{кВт·ч/(м}^2\text{год).}$$

В примере раздела 5.4 оболочка здания была переработана с целью удовлетворить нормативным требованиям к удельной теплозащитной характеристике здания. Для справки, по формуле (Г.1) СП 50.13330.2012 проводится проверка, удовлетворяло бы здание требованиям к удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период без доработки оболочки.

$$q_{от}^{р} = 0{,}187 + 0{,}138 - 0{,}69 \cdot (0{,}075 + 0{,}047) = 0{,}241 \quad \text{Вт/(м}^3\text{·°С)}$$

Без доработок здание удовлетворяет требованиям настоящего свода правил к удельной характеристике расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период. Класс энергосбережения здания «В».

Результаты расчетов сведены в таблицу 11.1 энергетического паспорта проекта здания.

11 Пример заполнения энергетического паспорта проекта здания

Энергетический паспорт здания заполняется в по форме приложения Д СП 50.13330.2012.

Паспорт заполняется для здания, рассмотренного в разделе 10 настоящего методического пособия.

Паспорт приведен в таблице 11.1.

Таблица 11.1

1 Общая информация

Дата заполнения (число, месяц, год)	
Адрес здания	
Разработчик проекта	
Адрес и телефон разработчика	
Шифр проекта	
Назначение здания, серия	Жилой дом
Этажность, количество секций	2 секции по 7 этажей и 2 секции по 9 этажей
Количество квартир	108
Расчетное количество жителей или служащих	332
Размещение в застройке	Отдельно стоящее
Конструктивное решение	Каркасное

2 Расчетные условия

№ п.п.	Наименование расчетных параметров	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
1	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования теплозащиты	$t_н$	°С	–28
2	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°С	–3,1
3	Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	сут/год	216
4	Градусо-сутки отопительного периода	*ГСОП*	°С·сут/год	4990
5	Расчетная температура внутреннего воздуха для проектирования теплозащиты	$t_в$	°С	20
6	Расчетная температура чердака	$t_{черд}$	°С	
7	Расчетная температура техподполья	$t_{подп}$	°С	8

3 Показатели геометрические

№ п/п	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения		Расчетное проектное значение	Фактическое значение
8	Сумма площадей этажей здания	$A_{от}$, м^2	–	13080	
9	Площадь жилых помещений	$A_{ж}$, м^2	–	3793	
10	Расчетная площадь (общественных зданий)	$A_{р}$, м^2	–	1229	
11	Отапливаемый объем	$V_{от}$, м^3	–	34229	
12	Коэффициент остекленности фасада здания	f		0,2	
13	Показатель компактности здания	$K_{комп}$		0,36	
14	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания, в том числе:	$A_{н}^{сум}$, м^2		12415	
	фасадов	$A_{фас}$		9145	
	навесной фасадной системы с основанием из керамзитобетона	$A_{ст1}$		3909	
	навесной фасадной системы с основанием из железобетона	$A_{ст2}$		944	
	трехслойной стены по кладке из керамзитобетона	$A_{ст3}$		1838	
	трехслойной стены по монолитному железобетону	$A_{ст4}$		577	
	входных дверей	$A_{дв}$		64	
	покрытий (совмещенных)	$A_{кр1}$		339	
	эксплуатируемой кровли	$A_{кр2}$		1296	
	перекрытий над техническими подпольями	$A_{цок1}$		1550	
	перекрытий над проездами или под эркерами	$A_{цок2}$		85	
	окон и балконных дверей	$A_{ок.1}$		1383	
	окон лестнично-лифтовых узлов	$A_{ок.2}$		430	
	окон по сторонам света				
	С			142	
	СВ			366	
	В			103	
	ЮВ			286	
	Ю			67	
	ЮЗ			477	
	З			49	
	СЗ			323	

4 Показатели теплотехнические

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Нормируемое значение показателя	Расчетное проектное значение	Фактическое значение
16	Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений, в том числе:	$R_o^{пр}$, м^2·°С/Вт			
	навесной фасадной системы с основанием из керамзитобетона	$R_{ст1}$	3,15	3,16	
	навесной фасадной системы с основанием из железобетона	$R_{ст2}$	3,15	3,34	
	трехслойной стены по кладке из керамзитобетона	$R_{ст3}$	3,15	3,19	
	трехслойной стены по монолитному железобетону	$R_{ст4}$	3,15	3,42	
	окон и балконных дверей	$R_{ок.1}$	0,68	0,68	
	окон лестнично-лифтовых узлов	$R_{ок.2}$	0,68	0,68	
	входных дверей	$R_{дв}$	0,83	0,83	
	покрытий (совмещенных)	$R_{кр1}$	4,7	4,48	
	эксплуатируемой кровли	$R_{кр2}$	4,7	5,55	
	перекрытий над техническими подпольями	$R_{цок1}$	4,15	1,88	
	перекрытий над проездами или под эркерами	$R_{цок2}$	4,7	4,86	

5 Показатели вспомогательные

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Нормируемое значение показателя	Расчетное проектное значение показателя
17	Приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания	$K_{тр}$, Вт/(м^2·°С)		0,458
18	Коэффициент воздухообмена здания	$n_{возд}$, кг/(м^3·ч)		0,614
19	Удельные бытовые тепловыделения в здании	q_{int}, Вт/м^2	-	15,6

6 Удельные характеристики

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Нормируемое значение показателя	Расчетное проектное значение показателя
20	Удельная теплозащитная характеристика здания	$k_{об}$, Вт/(м^3·°С)	0,170	0,165
21	Удельная вентиляционная характеристика здания	$k_{вент}$, Вт/(м^3·°С)		0,138
22	Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания	$k_{быт}$, Вт/(м^3·°С)		0,075
23	Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации	$k_{рад}$, Вт/(м^3·°С)		0,047
24	Коэффициент полезного использования теплопоступлений	$\beta_{КПИ}$	0,69	

7 Комплексные показатели расхода тепловой энергии

№ п.п.	Показатель	Обозначение показателя и единица измерения	Значение показателя
25	Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период	$q_{от}^{р}$, Вт/(м^3·°С)	0,219
26	Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период	$q_{от}^{тр}$, Вт/(м^3·°С)	0,319
27	Класс энергосбережения		*B+*
28	Соответствует ли проект здания нормативному требованию по теплозащите		ДА

8 Энергетические нагрузки здания

№ п.п.	Показатель	Обозначение	Единица измерения	Значение показателя
29	Удельный расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период	q	кВт·ч/(м^{3}год)	68,6
30	Расход тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период	$Q_{от}^{год}$	кВт·ч/(м^{3}год)	897739
31	Общие теплопотери здания за отопительный период	$Q_{общ}^{год}$	кВт·ч/(год)	1242077

12 Пример теплофизического расчета навесных фасадных систем с вентилируемой воздушной прослойкой

12.1 Методика расчета

Расчет проводится в соответствии с разделами 5.5 и 8.4 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты».

В общем виде методика теплофизического расчета навесных фасадных систем с вентилируемой воздушной прослойкой заключается в следующем:

1. Определяется требуемое сопротивление теплопередаче стены исходя из расчетных климатических характеристик района строительства и расчетных значений температуры проектируемого здания (пункт 5.2 СП 50.13330.2012).

2. Определяется предварительное требуемое сопротивление теплопередаче НФС (пункт 12.2 настоящего пособия).

3. Из конструктивных соображений назначается толщина вентилируемой воздушной прослойки.

4. С учетом этажности здания и района строительства определяется скорость движения воздуха в воздушной прослойке (пункт 8.4.1 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»).

5. Определяется предварительная толщина слоя теплоизоляции (пункт 12.2 настоящего пособия).

6. Определяется влажностный режим рассматриваемой конструкции (пункт 8.4.2 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»).

6. По результатам п. 6 при необходимости корректируются или добавляются слои пароизоляции и вносятся изменения в облицовочный слой конструкции.

7. Рассчитывается парциальное давление водяного пара на выходе из воздушной прослойки (пункт 8.4.3 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»).

8. По результатам п. 7 проверяется возможность выпадения конденсата в воздушной прослойке и при необходимости корректируются толщина воздушной прослойки и зазор между плитками облицовки.

9. Рассчитывается требуемая величина сопротивления воздухопроницанию стены, достаточное чтобы фильтрация воздуха не нарушала теплового и влажностного состояния стены (пункт 8.4.4 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»).

10. С учетом всех корректировок конструкции рассчитывается приведенное сопротивление теплопередаче стены (пункт 5.5 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»).

12.2 Вспомогательные материалы

Приближенная толщина утеплителя задается на начальном этапе по требуемому сопротивлению теплопередаче фасада $R_ф^{тр}$ по формуле:

$$\delta_у = \left(k \cdot R_ф^{тр} - \frac{\delta_к}{\lambda_к} - \frac{1}{\alpha_в} - \frac{1}{\alpha_н} \right) \cdot \lambda_у \qquad (12.1)$$

где

$\delta_у$ – толщина теплоизоляционного слоя, м;

$\lambda_у$ – коэффициент теплопроводности утеплителя, Вт/(м°С);

$\delta_к$ – толщина конструкционного слоя, м;

$\lambda_к$ – коэффициент теплопроводности материала конструкционного слоя, Вт/(м°С);

k – коэффициент, выбираемый в зависимости от основного материала конструктивного слоя.

Для кладок из легких бетонов k = 1,1.

Для кладок из кирпича k = 1,25.

Для тяжелых бетонов k = 1,35.

Требуемое сопротивление теплопередаче фасада может считаться достигнутым, если полученное расчетом приведенное сопротивление теплопередаче отличается от него в большую сторону не более чем на 10%.

Предварительное требуемое сопротивление теплопередаче НФС, $R_ф^{тр}$, принимается по требуемому сопротивлению теплопередаче стены по формуле

$$R_ф^{тр} = 1{,}25 \cdot R_о^{тр},$$

где $R_o^{тр}$ – требуемое сопротивление теплопередаче стены по СП 50.13330.2012 с учетом коэффициента m_p = 0,63, или исходя из других более высоких требований к проекту здания.

12.2 Пример расчета

В качестве примера рассматривается административное здание в городе Нижний Новгород.

1) Данные для расчета.

Климатические данные района строительства принимаются в соответствии с СП 131.13330.2012.

- средняя температура наиболее холодной пятидневки $t_н$ = –29 °С;
- средняя температура наиболее холодного месяца $t_{ян}$ = –10,0 °С;
- средняя температура отопительного периода $t_{от}$ = –3,8 °С;
- продолжительность отопительного периода $z_{от}$ = 208 сут.

Микроклимат в здании.

- расчетная температура внутреннего воздуха $t_в$ = 18 °С;
- расчетная относительная влажность внутреннего воздуха $\varphi_в$ = 55%.

Высота здания H = 32 м.

Основание стены состоит из кирпичной кладки 250 мм из силикатного полнотелого кирпича, оштукатуренной изнутри сложным раствором 20 мм.

Расчетные характеристики материалов:

штукатурка –

- коэффициент теплопроводности материала $\lambda_{шт}$ = 0,87 Вт/(м°С);
- коэффициент паропроницаемости материала $\mu_{шт}$ = 0,098 мг/(м·ч·Па);
- коэффициент воздухопроницаемости $i_{шт}$ = 0,0001 кг/(м·ч·Па);

кирпичная кладка –

- коэффициент теплопроводности материала $\lambda_к$ = 0,87 Вт/(м°С);
- коэффициент паропроницаемости материала $\mu_к$ = 0,11 мг/(м·ч·Па);
- коэффициент воздухопроницаемости $i_к$ = 0,028 кг/(м·ч·Па);

минераловатные плиты –

- коэффициент теплопроводности $\lambda_{мин}$ = 0,04 Вт/(м°С);

- коэффициент паропроницаемости материала $\mu_{мин}$ = 0,3 мг/(м·ч·Па);

- коэффициент воздухопроницаемости $i_{мин}$ = 0,14 кг/(м·ч·Па);

Характеристики элементов НФС:

Высота наибольшей непрерывной воздушной прослойки *h = 12* м;

Воздушная прослойка толщиной $\delta_{пр}$ = 60 мм;

Средняя частота кронштейнов на фасаде 2,42 шт/м^2;

Облицовка – плиты керамогранита;

На входе и на выходе из воздушной прослойки происходит сужение воздушного канала до $\delta_в$ = 20 мм.

Средняя частота на фасаде дюбелей для крепления утеплителя 8 шт/м^2;

Оконные откосы имеют удельную протяженность 0,65 м/м^2 стены.

2) Требуемое сопротивление теплопередаче.

Градусо-сутки отопительного периода для рассматриваемого случая составляют:

$$ГСОП = (t_в - t_{от})\cdot z_{от} = 21,8\cdot 208 = 4534\ ^oС\cdot сут.$$

Минимально требуемое приведенное сопротивление теплопередаче стен находится по пункту 5.2 СП 50.13330.2012 и составляет 1,61 м2·°С/Вт.

Предположим, что из-за требований к удельному расходу тепловой энергии на отопление здания приведенное сопротивление теплопередаче стен необходимо повысить до 1,9 м^{2o}С/Вт.

Минимальные требования к приведенному сопротивлению теплопередаче глухого фасада находятся по приближенной формуле:

$$R_ф^{тр} = 1,25\cdot R_o^{тр} = 1,25\cdot 1,9 = 2,38\ м^2\cdot ^oС/Вт.$$

3) Воздухообмен в воздушной прослойке.

Воздухообмен в воздушной прослойке определяется для термического сопротивления стены от внутренней поверхности до воздушной прослойки равного требуемому сопротивлению теплопередаче фасада.

Сумма коэффициентов местных сопротивлений для исследуемой конструкции находится по формуле (8.3) СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» и составляет:

$$\sum_i \xi_i = 1,2\left(\frac{0,06}{0,02}\right)^2 + 0,04\ \frac{12}{2\cdot 0,06} + 1,2\left(\frac{0,06}{0,02}\right)^2 = 10,8 + 4 + 10,8 = 25,6 .$$

Температурный коэффициент в соответствии формулой (8.11) СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»:

$$m = 0,04 \cdot \left(\frac{273 - 9,0}{100}\right)^3 = 0,736 .$$

Коэффициент лучистого теплообмена принимается на протяжении всего расчета постоянным:

$$\alpha_л = \frac{0,736}{\frac{1}{5,3} + \frac{1}{4,4} - \frac{1}{5,77}} = 3,03 \ \text{Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{C)}.$$

Расчет проводится итерациями.

Шаг 1.

$$V_{пр} = 0 \ \text{м/с}:$$

$$\alpha_к = 7,34\,(0)^{0,656} + 3,78\,e^{-1,91\cdot 0} = 3,78 \ \text{Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{C)};$$

$$\alpha_{пр} = 3,78+2\cdot 3,03 = 9,84 \ \text{Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{C)};$$

$$R_и = \frac{1}{23} + \frac{0,01}{3,49} + \frac{1}{9,84} = 0,148 \ \text{м}^2\cdot{}^\circ\text{C/Вт};$$

$$t_0 = \frac{\frac{18}{2,38} - \frac{10,0}{0,148}}{\frac{1}{2,38} + \frac{1}{0,148}} = -8,36 \ {}^\circ\text{C};$$

$$x_0 = 0 \ \text{м};$$

$$t_{пр} = -8,36 - (-8,36 + 10,0)\cdot\frac{0}{12}\cdot\left[1 - exp\left(-\frac{12}{0}\right)\right] = -8,36 \ {}^\circ\text{C}.$$

Шаг 2.

$$V_{пр} = \sqrt{\frac{0,08\cdot 12\cdot(-8,36 + 10,0)}{25,6}} = 0,248 \ \text{м/с};$$

$$\alpha_к = 7,34\,(0,248)^{0,656} + 3,78\,e^{-1,91\cdot 0,248} = 5,29 \ \text{Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{C)};$$

$$\alpha_{пр} = 5,29+2\cdot 3,03 = 11,35 \ \text{Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{C)};$$

$$R_{и} = \frac{1}{23} + \frac{0,01}{3,49} + \frac{1}{11,35} = 0,134 \quad м^2 \cdot °C/Вт;$$

$$t_0 = \frac{\frac{18}{\frac{1}{2,38}} - \frac{10,0}{0,134}}{\frac{1}{2,38} + \frac{1}{0,134}} = -8,51 \quad °C;$$

$$x_0 = \frac{1006 \cdot 0,248 \cdot 0,06 \cdot 1,34}{\frac{1}{2,38} + \frac{1}{0,134}} = 2,54 \quad м;$$

$$t_{пр} = -8,51 - (-8,51 + 10,0) \cdot \frac{2,54}{12} \cdot \left[1 - exp\left(-\frac{12}{2,54}\right)\right] = -8,82 \quad °C.$$

Шаг 3.

$$V_{пр} = \sqrt{\frac{0,08 \cdot 12 \cdot (-8,82 + 10,0)}{25,6}} = 0,21 \quad м/с;$$

$$\alpha_к = 7,34\,(0,21)^{0,656} + 3,78\,e^{-1,91 \cdot 0,21} = 5,17 \quad Вт/(м^2 \cdot °C);$$

$$\alpha_{пр} = 5,17 + 2 \cdot 3,03 = 11,23 \; Вт/(м^2 \cdot °C);$$

$$R_{и} = \frac{1}{23} + \frac{0,01}{3,49} + \frac{1}{11,23} = 0,135 \quad м^2 \cdot °C/Вт;$$

$$t_0 = \frac{\frac{18}{\frac{1}{2,38}} - \frac{10,0}{0,135}}{\frac{1}{2,38} + \frac{1}{0,135}} = -8,5 \quad °C;$$

$$x_0 = \frac{1006 \cdot 0,21 \cdot 0,06 \cdot 1,34}{\frac{1}{2,38} + \frac{1}{0,135}} = 2,17 \quad м;$$

$$t_{пр} = -8,5 - (-8,5 + 10,0) \cdot \frac{2,17}{12} \cdot \left[1 - exp\left(-\frac{12}{2,17}\right)\right] = -8,77 \quad °C;$$

$$V_{пр} = \sqrt{\frac{0,08 \cdot 12 \cdot (-8,77 + 10,0)}{25,6}} = 0,215 \quad м/с.$$

Разница между скоростями воздуха на соседних шагах итерации меньше 10% расчет окончен.

В СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» предоставляется возможность проводить расчет воздухообмена в воздушной прослойке приближенным методом.

Приближенная скорость движения воздуха в прослойке находится по формуле (8.12) СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»:

$$\tilde{V}_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{0,08 \cdot h}{\sum_i \xi_i}} \cdot \sqrt{\frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{в}}}\left(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}\right)} = \sqrt{\frac{0,08 \cdot 12}{25,6}} \cdot \sqrt{\frac{0,13}{2,38}\left(18 - (-10)\right)} = 0,239 \quad \text{м/с.}$$

Отличие приближенной скорость движения воздуха в прослойке от более точной найденной итерационным методом составляет 11%, что довольно много.

Нужно заметить, что конструкция находится на грани удовлетворения требования (8.13), которое необходимо для возможности воспользоваться формулой (8.12) СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты».

Для повышения точности можно проделать описанные выше шаги итерации, используя приближенную скорость движения воздуха в прослойке как стартовую.

Шаг 1.

$$\alpha_{\text{к}} = 7,34\left(0,239\right)^{0,656} + 3,78\, e^{-1,91 \cdot 0,239} = 5,26 \quad \text{Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)};$$

$$\alpha_{\text{пр}} = 5,26 + 2 \cdot 3,03 = 11,3 \ \text{Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)};$$

$$R_{\text{н}} = \frac{1}{23} + \frac{0,01}{3,49} + \frac{1}{11,3} = 0,135 \quad \text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C/Вт};$$

$$t_0 = \frac{\frac{18}{2,38} - \frac{10,0}{0,135}}{\frac{1}{2,38} + \frac{1}{0,135}} = -8,5 \ ^{\circ}\text{C};$$

$$x_0 = \frac{1006 \cdot 0,239 \cdot 0,06 \cdot 1,34}{\frac{1}{2,38} + \frac{1}{0,135}} = 2,47 \quad \text{м};$$

$$t_{\text{пр}} = -8,5 - \left(-8,5 + 10,0\right) \cdot \frac{2,47}{12} \cdot \left[1 - exp\left(-\frac{12}{2,47}\right)\right] = -8,8 \ ^{\circ}\text{C};$$

$$V_{пр} = \sqrt{\frac{0,08 \cdot 12 \cdot (-8,8 + 10,0)}{25,6}} = 0,212 \quad \text{м/с.}$$

После одного дополнительного шага итераций получен практически точный результат, т.е. применение приближенной формулы позволило практически вдвое сократить трудозатраты без потери точности.

4) Минимально необходимая толщина утеплителя.

Удельные тепловые потери через неоднородности рассчитываются с помощью температурных полей по методике изложенной в п. 5.2 при расчете температурного поля для узла установки кронштейна, в расчетную область вводится участок кронштейна проходящий по воздушной прослойке. В воздушной прослойке устанавливаются температура и коэффициент теплообмена, полученные при расчете воздухообмена в воздушной прослойке. На наружной поверхности кронштейна (в конце воздушной прослойки) устанавливаются граничные условия с температурой равной температуре наружного воздуха и коэффициентом теплообмена 500 Вт/(м^2^{o}С).

Для упрощения примера в нем используется часть данных из 5.2.4. В этом пункте рассчитывались удельные потери теплоты через элементы стены с теплоизоляционной фасадной системой с тонким штукатурным слоем. Конечно, такая стена существенно отличается от стены с НФС рассматриваемой в настоящем разделе, но часть материалов, например удельные потери теплоты через дюбели и оконные откосы можно перенести без большой потери точности. Такая возможность обусловлена спецификой выбранной стены и не может быть принята за правило.

Для расчета не хватает только данных по удельным потерям теплоты через кронштейны. Для их нахождения ниже рассчитано температурное поле, показанное на рисунке 12.1.

Расчет температурного поля узла установки кронштейна проводится в цилиндрических координатах. Кронштейн располагается в центре расчетной зоны на оси вращения.

Расчетный участок имеет размеры 720 мм в диаметре и 490 в толщину. Площадь стены, вошедшей в расчетный участок, $S_{1,1}$ = 0,41 м^2.

Для расчета принята толщина утеплителя 120 мм. Небольшое отклонение толщины не приводит к существенному отклонению удельных потерь теплоты, поэтому результатом можно будет пользоваться для толщин утеплителя от 100 до 140 мм.

Условное сопротивление теплопередаче конструкции определяется по формуле (Е.6) СП 50.13330.2012:

$$R_{o,1}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,25}{0,87} + \frac{0,12}{0,04} + \frac{1}{12} = 3,51 \ \ (м^2 \cdot °C)/Вт.$$

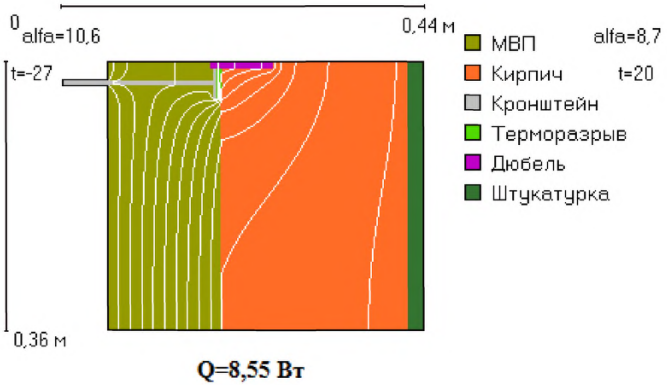


Рисунок 12.1 – Температурное поле узла конструкции, содержащего кронштейн

Потери теплоты через узел установки кронштейна, по результатам расчета температурного поля равны $Q_1^K = 8,55$ Вт.

Потери теплоты через участок однородной стены той же площади определяются по формуле (Е.10) СП 50.13330.2012:

$$Q_{1,1} = \frac{20 - (-31)}{3,64} \cdot 0,41 = 6,0 \ \text{Вт}.$$

Дополнительные потери теплоты через линейный элемент 1 составляют:

$$\Delta Q_1^K = 8,55 - 6,0 = 2,55 \ \text{Вт}.$$

Удельные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность определяются по формуле (Е.8) СП 50.13330.2012:

$$\chi_1 = \frac{2,55}{20 - (-31)} = 0,05 \quad \text{Вт/°С}.$$

Удельные потери теплоты через дюбель составляют $\chi_\partial = 0,005$ Вт/°С.

Удельные потери теплоты через оконные откосы составляют $\Psi_{отк} = 0,1$ Вт/(м·°С).

Соответствующая толщина теплоизоляционного слоя:

$$\delta_y = \left(1,25 \cdot 2,38 - \frac{0,25}{0,87} - \frac{0,02}{0,87} - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{12}\right) \cdot 0,04 = 0,1 \text{ м}.$$

Предварительная минимально допустимая толщина утеплителя для данной конструкции составляет 100 мм.

5) Поток водяного пара из конструкции в воздушную прослойку.

При расчете влажностного режима конструкции используется приближенный метод.

Парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха $e_в = 1135$ Па

Давление насыщенного водяного пара для наружного воздуха в наиболее холодный месяц $E_н = 221$ Па

Полное сопротивление паропроницанию стены составляет:

$$R_o^п = 0,02 + \frac{0,02}{0,098} + \frac{0,25}{0,11} + \frac{0,1}{0,3} + 0,02 = 2,85 \quad \text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг}.$$

Сопротивление паропроницанию слоев от основания до воздушной прослойки составляет:

$$R_y^п = \frac{0,1}{0,3} + 0,02 = 0,35 \quad \text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг}.$$

Поток водяного пара из конструкции в воздушную прослойку равен:

$$q_в^п = \left(\frac{1}{2 \cdot 2,85} + \frac{1}{4 \cdot 0,35}\right)(1135 - 221) = 813 \quad \text{мг/(ч}\cdot\text{м}^2\text{)}.$$

6) Влажность воздуха на выходе из вентилируемой воздушной прослойки.

Парциальное давление водяного пара наружного воздуха

$$e_н = 192 \text{ Па}$$

Вспомогательные величины:

$$k = \frac{813}{1135 - 221} = 0,89 \text{ мг/(м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)};$$

$$e_1 = \frac{192 + 1,25 \cdot 0,89 \cdot 1135}{0,89 \cdot 1,25 + 1} = 689 \text{ Па};$$

$$x_1 = 22100 \cdot \frac{0,21 \cdot 0,06 \cdot 1,34 \cdot 1,25}{0,89 \cdot 1,25 + 1} = 221 \text{ м}.$$

Парциальное давление водяного пара на выходе из воздушной прослойки:

$$e_{пр} = 689 - (689 - 192) \cdot exp\left(-\frac{12}{221}\right) = 218 \text{ Па}.$$

Полученное давление водяного пара меньше давления насыщенного водяного пара при температуре наружного воздуха 221 Па, выпадение конденсата в воздушной прослойке происходить не будет.

7) Проверка воздухопроницаемости конструкции.

Сопротивление влагообмену на наружной границе стены составляет:

$$R_н^п = \frac{1}{\frac{1}{1,25} + \frac{28573}{1 - \frac{8,8}{273}} \cdot \frac{0,06}{12} \cdot 0,21} = 0,031 \text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг}.$$

Вспомогательные величины:

$$D = \frac{222 - 192}{1135 - 192} = 0,032 ;$$

$$\kappa = \frac{0,027}{2,85} = 0,01 .$$

Параметр Γ определяется из таблице 8.5 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»: $\Gamma = 2,9$.

Требуемая воздухопроницаемость стены с облицовкой на относе составляет:

$$G^{тр} = \frac{2,9}{6,14 \cdot 2,85} = 0,166 \text{ кг/(м}^2\cdot\text{ч)}.$$

Сопротивление воздухопроницаемости исследуемой стены составляет:

$$R_и = \frac{0,02}{0,0001} + \frac{0,25}{0,028} + \frac{0,1}{0,14} + 0,02 = 209 \text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/кг}.$$

Разность давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждения:

$$\Delta p = 0,55 \cdot H\left(\gamma_н - \gamma_в\right) + 0,03 \cdot \gamma_н \cdot v^2 = 0,55 \cdot 32 \cdot \left(13,26 - 11,9\right) + 0,03 \cdot 13,26 \cdot 4,7^2 = 32,7 \text{ Па}.$$

В СП 131.13330.2012 нет средней скорости ветра за январь для г. Нижний Новгород, поэтому в расчетах принимается скорость равная средней скорости ветра за отопительный период (3,7 м/с) плюс 1 м/с.

Воздухопроницаемость данной конструкции составляет:

$$G = \frac{\Delta p}{R_u} = \frac{32,7}{209} = 0,156 \quad \text{кг/(м}^2\cdot\text{ч)}.$$

Так как воздухопроницаемость конструкции меньше требуемой, она не нуждается в доработке.

Таким образом, все требования к стене с НФС для исследуемой конструкции выполняются, в доработках она не нуждается, можно рассчитывать приведенное сопротивление теплопередаче для конечной конструкции.

Условное сопротивление теплопередаче стены составляет:

$$R_o^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,25}{0,87} + \frac{0,1}{0,04} + \frac{1}{11,2} = 3,01 \quad \text{м}^2\cdot^o\text{С/Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче глухой (без проемов) стены с НФС определяется по формуле (5.1) СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»:

$$R_ф^{пр} = \frac{1}{\frac{1}{3,01} + 2,42 \cdot 0,05 + 8 \cdot 0,005} = 2,09 \quad \text{м}^2\cdot^o\text{С/Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче глухой (без проемов) стены оказалось меньше предварительного требуемого сопротивления теплопередаче НФС. Скорее всего конструкция потребует дополнительного утепления или переработки. Но так как до определения приведенного сопротивления теплопередаче остался один шаг доведем расчет до конца.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{\frac{1}{2,09 + 0,135} + 0,65 \cdot 0,1} = 1,94 \quad \text{м}^2\cdot^o\text{С/Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче стены больше целевого – 1,9 м$^2\cdot^o$С/Вт, расчет можно закончить.

Коэффициент теплотехнической однородности r = 1,9/3,01 = 0,63.

13 Пример расчета требуемых сопротивлений теплопередаче участков стен и окон, расположенных за остекленными лоджиями и балконами

Расчет требуемых сопротивлений теплопередаче участков стен и окон, расположенных за остекленными лоджиями и балконами проводится в соответствии с разделом 11.3 СП «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты».

13.1 Характеристики ограждений остекленной лоджии

К лоджии жилого дома примыкают две комнаты квартиры, площадью 3×4,6 = 13,8 м^2 и 4,2×4,6 = 19,3 м^2. В стене меньшей комнаты находится окно, в стене большей комнаты – окно и дверь.

Стеной комнат, к которым примыкает лоджия, является керамзитобетонная панель толщиной 340 мм, плотность керамзитобетона 1200 кг/м^3. Площадь поверхности стены составляет A_1 = 14,3 м^2. Сопротивление теплопередаче по глади стены составляет:

$$R_o = 1/8,7+0,34/0,58+1/23 = 0,75 \text{ (м}^2\cdot^o\text{C)/Вт.}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче стены по результатам специальных расчетов, составляет:

$$R_o^{пр} = 0,69 \text{ (м}^2\cdot^o\text{C)/Вт;}$$

$$\text{Отсюда } R_1 = R_o - 1/23 = 0,65 \text{ (м}^2\cdot^o\text{C)/Вт.}$$

Коэффициент излучения поверхности стеновой панели принимается равным 3,6 Вт/(м^2 °С).

Для расчетов принято, что окно и балконная дверь, в стене соответствуют требованиям СП 50.13330.2012 и имеют сопротивление теплопередаче 0,54 (м^2·°С)/Вт. Суммарная площадь окон и двери составляет A_2 = 5,9 м^2. Величина R_1 составляет $R_1 = R_o - 1/23 =$ 0,50 (м^2·°С)/Вт. Коэффициент излучения поверхности окон принимается равным 5,4 Вт/(м^2·°С).

Коэффициент излучения поверхности ограждения, составляет 4,13 Вт/(м^2·°С).

Ограждение лоджии ниже уровня остекления состоит из металлического каркаса, к которому с наружной стороны прикреплена плита минерита, а с внутренней – гипсокартонный лист. Площадь этого ограждения составляет A_3 = 8,4 м^2, а термиче-

ское сопротивление $R_1 = 0{,}34$ (м^2·°С)/Вт. Коэффициент излучения поверхности этого ограждения принимается равным 4,7 Вт/(м^2·°С).

Остекление лоджии имеет площадь $A_4 = 11{,}7$ м^2. Однослойное остекление имеет термическое сопротивление $R_1 = 0{,}12$ (м^2·°С)/Вт. Коэффициент излучения поверхности остекления принимается равным 5,4 Вт/(м^2·°С).

Средневзвешенное значение коэффициента излучения поверхности ограждений лоджии, составляет 5,11 Вт/(м^2 °С).

Коэффициент излучения абсолютно черного тела принимается равным

$$C_0 = 5{,}77 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{С)}.$$

Боковые ограждения лоджии и перекрытия в расчете не учитываются, т.к. они разделяют объемы воздуха с такой же температурой, как и на лоджии или выше.

13.2. Результаты расчетов параметров стационарного температурного режима воздуха на остекленной лоджии

Расчеты проводились для температуры наружного воздуха равной средней температуре наружного воздуха отопительного периода –3,1 °С.

Проведенные расчеты показали, что потребовалось 6 итераций, для достижения расчетных значений. Результаты расчетов этих итераций приведены в таблице 13.1.

Таблица 13.1 – Рассчитанные в итерациях значения температуры воздуха и температур ограждений на остекленной лоджии

Номер итерации	Температура воздуха на лоджии $t_{бал}$, °С	Температуры на поверхностях ограждений на лоджии, °С			
		Стена помещений τ_1	Окна из помещений, τ_2	Ограждение лоджии, τ_3	Остекление лоджии, τ_4
	–3	–2,5	–1	–2,8	–2,9
1	0,56	6,01	5,46	–1,04	–1,93
2	1,23	5,22	5,29	–0,39	–1,37
3	1,02	5,23	5,21	–0,52	–1,45
4	1,07	5,24	5,24	–0,50	–1,44
5	1,06	5,23	5,23	–0,50	–1,44
6	1,06	5,23	5,23	–0,50	–1,44

Из полученных результатов видно, что температура воздуха на лоджии составит 1,1 °С. С учетом рассчитанных значений коэффициентов теплообмена на поверхностях ограждений, сопротивление теплопередаче стены помещений составит 0,83 (м^2·°С)/Вт, а окна – 0,68 (м^2·°С)/Вт.

Таблица 13.2

№ п/п	Значение R_1 ограждения лоджии, (м^2·°С)/Вт	Значение R_1 остекления лоджии, (м^2·°С)/Вт	Температура воздуха на лоджии $t_{лодж}$, °С
1	0,24	0,12	0,97
2	0,34	0,12	1,06
3	0,44	0,12	1,13
4	0,34	0,08	0,94
5	0,34	0,16	1,16
6	0,34	0,20	1,24
7	0,44	0,20	1,31
8	0,24	0,08	0,85

В таблице 13.2 приведены данные о влиянии назначенных расчетных показателей ограждений остекления лоджии на рассчитанные значения температуры воздуха на лоджии. Из этих данных следует, что при изменении термического сопротивления ограждения лоджии от 0,24 до 0,44 (м^2·°С)/Вт, и термического сопротивления остекления лоджии от 0,08 до 0,20 (м^2·°С)/Вт, рассчитанная температура воздуха на лоджии меняется незначительно – от 0,85 °С до 1,31 °С. Следовательно, точность назначения теплозащитных показателей ограждений остекленной лоджии практического значения не имеет. Поэтому не имеет смысла точно вычислять приведенное сопротивление теплопередаче ограждений лоджии.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Библиография

[1]	Свод правил СП 50.13330.2012	СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий
[2]	Свод правил СП 131.13330.2012	СНиП 23-01-99* Строительная климатология
[3]	Свод правил СП 230.1325800.2015	«Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей».
[4]	Свод правил СП 54.13330.2011	СНиП 31-01-2003 Здания жилые многоквартирные
[5]	Строительные нормы и правила СНиП 31-06—2009	Общественные здания и сооружения
[6]	Строительные нормы и правила СНиП 2.10.03—84	Животноводческие, птицеводческие и звероводческие здания и помещения
[7]	Строительные нормы и правила СНиП 2.10.03—84	Холодильники
[8]	Строительные нормы и правила СНиП 31-05—2003	Общественные здания административного назначения
[9]	Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.2.1002—00	Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям
[10]	Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.548—96	Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
[11]	Справочное пособие к СНиП «Строительная климатология»	М.: Стройиздат, 1990.
[12]	«Научно-прикладного справочника по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные».	Части 1–6, вып. 1–34. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1989–1998

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Температуры точки росы t_d, °С, для различных значений температур t_{int} и относительной влажности φ_{int}, %, воздуха в помещении

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

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Значения парциального давления насыщенного водяного пара E, па, для различных значений температур при B = 100,7 кПа

Таблица В.1 — Значения парциального давления насыщенного водяного пара E, Па, для температуры t от 0 до минус 41 °С (над льдом)

t, °С	E	t, °С	E	t, °С	E	t, °С	E	t, °С	E
0	611	–5,4	388	–10,6	245	–16	151	–23	77
–0,2	601	–5,6	381	–10,8	241	–16,2	148	–23,5	73
–0,4	592	–5,8	375	–11	237	–16,4	145	–24	69
–0,6	581	–6	369	–11,2	233	–16,6	143	–24,5	65
–0,8	573	–6,2	363	–11,4	229	–16,8	140	–25	63
–1	563	–6,4	356	–11,6	225	–17	137	–25,5	60
–1,2	553	–6,6	351	–11,8	221	–17,2	135	–26	57
–1,4	544	–6,8	344	–12	217	–17,4	132	–26,5	53
–1,6	535	–7	338	–12,2	213	–17,6	129	–27	51
–1,8	527	–7,2	332	–12,4	209	–17,8	128	–27,5	48
–2	517	–7,4	327	–12,6	207	–18	125	–28	47
–2,2	509	–7,6	321	–12,8	203	–18,2	123	–28,5	44
–2,4	400	–7,8	315	–13	199	–18,4	120	–29	42
–2,6	492	–8	310	–13,2	195	–18,6	117	–29,5	39
–2,8	484	–8,2	304	–13,4	191	–18,8	116	—	—
–3	476	–8,4	299	–13,6	188	–19	113	–30	38
–3,2	468	–8,6	293	–13,8	184	–19,2	111	–31	34
–3,4	460	–8,8	289	–14	181	–19,4	109	–32	34
–3,6	452	–9	284	–14,2	179	–19,6	107	–33	27
–3,8	445	–9,2	279	–14,4	175	–19,8	105	–34	25
–4	437	–9,4	273	–14,6	172	—	—	–35	22
–4,2	429	–9,6	268	–14,8	168	–20	103	–36	20
–4,4	423	–9,8	264	–15	165	–20,5	99	–37	18
–4,6	415	—	—	–15,2	163	–21	93	–38	16
–4,8	408	–10	260	–15,4	159	–21,5	89	–39	14
–5	402	–10,2	260	–15,4	159	–22	85	–40	12
–5,2	395	–10,4	251	–15,8	153	–22,5	81	–41	11

Таблица В.2 – Значения парциального давления насыщенного водяного пара E, Па, для температуры t от 0 до +30 °С (над водой)

t, °С	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	611	615	620	624	629	633	639	643	648	652
1	657	661	667	671	676	681	687	691	696	701
2	705	711	716	721	727	732	737	743	748	753
3	759	764	769	775	780	785	791	796	803	808
4	813	819	825	831	836	843	848	855	860	867
5	872	879	885	891	897	904	909	916	923	929
6	935	941	948	956	961	968	975	981	988	995
7	1001	1009	1016	1023	1029	1037	1044	1051	1059	1065
8	1072	1080	1088	1095	1103	1109	1117	1125	1132	1140
9	1148	1156	1164	1172	1180	1188	1196	1204	1212	1220
10	1228	1236	1244	1253	1261	1269	1279	1287	1285	1304
11	1312	1321	1331	1339	1348	1355	1365	1375	1384	1323
12	1403	1412	1421	1431	1440	1449	1459	1468	1479	1488
13	1497	1508	1517	1527	1537	1547	1557	1568	1577	1588
14	1599	1609	1619	1629	1640	1651	1661	1672	1683	1695
15	1705	1716	1727	1739	1749	1761	1772	1784	1795	1807
16	1817	1829	1841	1853	1865	1877	1889	1901	1913	1925
17	1937	1949	1962	1974	1986	2000	2012	2025	2037	2050
18	2064	2077	2089	2102	2115	2129	2142	2156	2169	2182
19	2197	2210	2225	2238	2252	2266	2281	2294	2309	2324
20	2338	2352	2366	2381	2396	2412	2426	2441	2456	2471
21	2488	2502	2517	2538	2542	2564	2580	2596	2612	2628
22	2644	2660	2676	2691	2709	2725	2742	2758	2776	2792
23	2809	2826	2842	2860	2877	2894	2913	2930	2948	2965
24	2984	3001	3020	3038	3056	3074	3093	3112	3130	3149
25	3168	3186	3205	3224	3244	3262	3282	3301	3321	3341
26	3363	3381	3401	3421	3441	3461	3481	3502	3523	3544
27	3567	3586	3608	3628	3649	3672	3692	3714	3796	3758
28	3782	3801	3824	4846	3869	3890	3913	3937	3960	3982
29	4005	4029	4052	4076	4100	4122	4146	4170	4194	4218
30	4246	4268	4292	4317	4341	4366	4390	4416	4441	4466

Данные таблиц В.1, В.2 не полностью совпадают с формулой (8.8) СП 50.13330.2012. При этом данные таблиц являются экспериментальными и более точными. Поэтому в расчетах раздела 8 СП 50.13330.2012, которые специально заточены под формулу (8.8), следует использовать ее, а остальных случаях – таблицы.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Парциальное давление водяного пара E_p, Па, и относительная влажность воздуха φ_p, %, над насыщенными растворами смесей солей при давлении B = 100,7 кПа

t, °С	Состав смеси солей			
	$NaCl – K_2SO_4 – KCl$		$NaCl – Na_2SO_4$	
	E_p, Па	φ_p, %	E_p, Па	φ_p,%
–10	–	–	217,0	75,01
–5	–	–	351,9	79,55
0	–	–	554,7	84,09
5	–	–	756,2	78,64
10	908,0	73,9	896,2	70,78
15	1277,9	75,0	1131,3	66,35
20	1778,6	76,1	1637,8	70,05
25	2353,1	74,3	2449, 8	77,33
30	3155,3	74,3	3344,5	78,77

Приложение Д

Парциальное давление водяного пара E_{pi}, Па, и относительная влажность воздуха φ_p, %, над насыщенными растворами отдельных солей при давлении B = 100,7 кПа

Химическая формула вещества	Парциальное давление водяного пара, E_{pi}, Па, при температуре t, °С									Относительная влажность над насыщенным раствором соли φ_p, %, при температуре t, °С								
	–10	–5	0	5	10	15	20	25	30	–10	–5	0	5	10	15	20	25	30
$ZnBr_2$	–	–	–	–	–	–	230,6	286,6	305,3	–	–	–	–	–	–	9,9	9,0	7,2
$MgCl_2$	218,5	336,5	509,0	522	535	548	832	1116	1400	84,0	83,7	83,3	59,9	42,5	32,1	33,0	35,2	33,0
$Na_2S_2O_3$	236,9	363,4	548,1	775,2	548	761,3	1051	1451	1895	91,1	90,4	89,7	88,9	44,6	44,7	45,0	45,8	44,6
$Mg(NO_3)_2$	239,7	346,9	495,5	701,1	978,7	1119,8	1261	1659	2169	92,2	86,3	81,1	80,4	79,7	65,7	53,9	52,4	51,1
$Ca(NO_3)_2$	200,2	305,1	457,6	620,0	746,6	954,6	1288	1605	2005	77,0	75,9	74,9	71,1	60,8	56,0	55,1	50,7	47,2
NaBr	205,9	316,0	477,2	676,7	945,6	959,9	1400	1787	2240	79,2	78,6	78,1	77,6	77,0	56,3	60,0	56,4	52,8
NH_4NO_3	209,0	312,0	458,3	636,6	917,3	1193	1566	1992	2524	80,4	77,6	75,0	73,0	74,7	70,0	67,0	62,9	59,4
$NaNO_3$	227,8	328,4	467,4	659,2	950,6	1313	1804	2364	3076	87,6	81,7	76,5	75,6	77,4	77,0	77,2	74,6	72,4
NaCI	218,8	331,7	501,0	715,0	923,6	1279	1807	2381	3253	83,0	82,5	82,0	82,0	75,2	75,0	77,3	75,2	76,6
NH_4Cl	222,0	338,9	510,2	720,3	969,3	1353	1856	2416	3281	85,4	84,3	83,5	82,6	78,9	79,4	79,4	76,3	77,3
$Ca(NH_2)_2$	–	–	–	–	997,2	1365	1873	2408	3078	–	–	–	–	81,2	80,1	80,1	76,0	72,5
$(NH_4)_2SO_4$	203,3	313,6	474,7	674,9	971,9	1355	1896	2600	3362	78,2	78,0	77,7	77,4	79,1	79,5	81,1	82,1	79,2
Na_2SO_4	260,0	402,0	604,3	856,3	909,3	1333	1927	2748	3633	–	–	98,9	98,2	74,0	78,2	82,4	86,7	85,6
KCl	234	356,6	538,3	763,0	1055	1445	1968	2636	3733	90,0	88,7	88,1	87,5	85,9	84,8	84,2	83,2	87,9
Na_2SO_3	260,0	390,3	586,6	831,0	1075	1487	2038	2762	3706	–	97,1	96,0	95,3	87,5	87,2	87,2	87,2	87,3
$CdSO_4$	230,1	355,8	540,1	770,8	1099	1511	2077	2812	3768	88,5	88,5	88,4	88,4	89,5	88,6	88,8	88,8	88,7
Na_2CO_3	260,0	402,0	590,2	832,8	1155,5	1601	2090	2704	3465	–	–	96,6	95,5	94,1	93,9	89,4	85,4	81,6
$CdBr_2$	260,0	366,2	550,0	772,6	1069,6	1456,1	2120	2820	3678	–	91,1	90,0	88,6	87,1	85,4	90,7	89,0	86,6
$ZnSO_4$	260,0	369,4	559,1	792,6	1189	1597	2126	2802	3661	–	91,9	91,5	90,9	96,8	93,7	90,9	88,4	86,2
$NH_4H_2PO_4$	260,0	377,1	570,1	808,3	1192	1658	2146	2921	3890	–	93,8	93,3	92,7	97,1	97,2	91,8	92,2	91,6
KNO_3	260,0	402,0	583,5	821,4	1183	1635	2161	2925	3845	–	–	95,5	94,2	96,3	95,9	92,4	92,3	90,6
$CaH_4(PO_4)_2$	260,0	402,0	611,0	872,0	1193	1689	2202	3052	3980	–	–	–	–	97,1	99,1	94,2	96,3	93,7
KH_2PO_4	260,0	388,3	587,8	835,4	1195	1683	2251	3034	3946	–	96,6	96,2	95,8	97,3	98,7	96,3	95,8	92,9
$MgSO_4$	260,0	376,3	567,6	804,9	1126,1	1553,3	2113,6	2848,0	4000	–	93,6	92,9	92,3	91,7	91,1	90,4	89,9	94,2
K_2SO_4	260,0	402,0	598,8	850,2	1208	1701	2306	3141	4112	–	–	98,0	97,5	98,4	99,8	98,6	99,2	96,8

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Плотность и критерий $\frac{\mu}{\lambda}$ для основных строительных материалов

Материал	Средняя плотность кг/м^3	μ/λ мг·°С/(Вт·ч·Па)
По экспериментальным данным		
Модифицированный полистиролбетон		
Состав I	210	0,93
Состав II	230	0,75
Состав III	410	0,177
Состав IV	420	0,121
Автоклавный газобетон		
D300	315	1,33
D400	415	1,03
D500	495	0,78
D600	615	0,57
По литературным данным		
кладка из глиняного кирпича	1800	0,196
то же	1200	0,486
кладка из силикатного кирпича	1800	0,157
тоже	1400	0,269
раствор цементно-песчаный	1800	0,155
тяжелый бетон	2400	0,02
известняк	1800	0,107
гравий керамзитовый	500 - 600	1,64
керамзитобетон на керамзитовом песке	1000	0,52
керамзитобетон на кварцевом песке	1000	0,227
керамзитобетон беспесчаный	500	1,38

Плотность и критерий $\frac{\mu}{\lambda}$ для основных строительных материалов (продолжение)

Материал	Средняя плотность кг/м3	μ/λ мг·°С/(Вт·ч·Па)
плиты из стеклянного штапельного волокна	45	13
МВП	60 - 80	10
ПСБ-С	20	1,39
ПСБ-С с графитовыми добавками	20	1,52
экструдированный пенополистирол	30	0,172
плиты древесно-волокнистые	600	1,18
плиты фибролитовые и арболит	500	1,16
Сосна и ель поперек волокон	500	0,667
Сосна и ель вдоль волокон	500	1,78

УДК 697.1 ОКС 91.120.01, 91.120.10, 91.120.99

Ключевые слова: тепловая защита зданий, энергопотребление, энергосбережение, энергетический паспорт, теплоизоляция, контроль теплотехнических показателей, воздухопроницаемость, паропроницаемость, теплоустойчивость, теплоусвоение, удельная теплозащитная характеристика, удельная вентиляционная характеристика, удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию

gost.e-ecolog.ru