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

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

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

# ПО УТОЧНЕНИЮ ПРОЦЕДУР ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТАПЛИВАЕМЫХ ЗДАНИЙ С НАРУЖНЫМИ ОГРАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ С ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЕЙ

**Москва 2019**

gost.e-ecolog.ru

**Содержание**

1 Область применения.....1
2 Нормативные ссылки ..... 2
3 Термины и определения ..... 4
4 Общие положения .....6
5 Исходные данные для проектирования наружных ограждений с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги ..... 9
6 Процедура теплотехнических расчетов с учетом лучистой, конвективной и кондуктивной теплопередачи в наружных ограждениях при наличии отражательной теплоизоляции .....12
6.1 Общие положения .....12
6.2 Применение отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги на внутренней поверхности наружных ограждений и зарадиаторных участках стен для повышения теплозащиты наружной оболочки здания .....17
6.3 Замкнутые воздушные прослойки с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги в наружных ограждающих конструкциях.....21
6.4 Графический метод определения коэффициента теплообмена излучением в замкнутых воздушных прослойках с учетом коэффициентов излучения поверхностей ..... 23
7 Требования к конструктивным решениям ограждений с системами отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги..... 27
8 Оценка энергоэффективности применения отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги в конструкциях наружных стен отапливаемых зданий .....29
Приложение А Примеры расчета теплотехнических и энергетических характеристик ограждающих конструкций с применением отражательной теплоизоляции ..... 35
Библиография ..... 72

## Введение

Настоящие методические указания разработаны в развитие положений СП 50.13330 для реализации проектировщиками требований норм проектирования жилых и общественных зданий в части расчета сопротивления теплопередаче наружного ограждения при наличии в нем отражательной теплоизоляции и расширения значений коэффициентов теплоотдачи у внутренней поверхности ограждения при наличии отражательной теплоизоляции.

Настоящие методические указания разработаны для проектировщиков, занимающихся проектированием и расчетом наружных ограждающих конструкций, специалистов и научных работников строительного профиля, занимающихся вопросами энергосбережения и тепловой защиты зданий.

Настоящие методические указания разработаны в целях выявления специфики проектирования наружных ограждающих конструкций с использованием в них отражательной теплоизоляции с учетом анализа специфики лучистого, кондуктивного и конвективного теплообмена для оценки их влияния на процессы теплопередачи в строительных конструкциях и энергосбережения.

При разработке настоящих методических указаний использованы результаты исследований [1]–[11].

Документ разработан авторским коллективом федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (доктор техн. наук *Н.П. Умнякова*, канд. техн. наук *И.Н. Бутовский*, ведущий инженер *С.И. Рогова*, ведущий инженер *Ю.Н. Левина*).

## 1 Область применения

Настоящие методические указания распространяются на проектирование и теплотехнические расчеты непрозрачных ограждающих конструкций с применением отражательной теплоизоляции в отапливаемых строящихся или реконструируемых (СП 55.13330, СП 54.13330) жилых, общественных, (СП 46.13330. СП 19.13330), производственных (СП 56.13330, СП 118.13330), сельскохозяйственных (СП 105.13330, СП 106 13330) и складских зданиях, в которых следует обеспечивать необходимый уровень теплозащиты и требуемый температурно-влажностный режим.

В настоящих методических указаниях рассмотрены вопросы теплотехнического расчета и проектирования наружных ограждающих конструкций при наличии отражательной теплоизоляции на поверхности и в воздушных прослойках наружных ограждающих конструкций.

Настоящие методические указания разработаны в развитие разделов 5 и 10 СП 50.133330.2012 и подраздела 5.4 СП 345.1325800.2017 для реализации проектировщиками требований, заложенных в сводах правил, и выполнения грамотного и рационального проектирования жилых, общественных, производственных, сельскохозяйственных и складских зданий, выполненных с наружными ограждающими конструкциями с применением отражательной теплоизоляции.

Нормируемый уровень теплозащиты, метод теплотехнических расчетов и условия эксплуатации ограждающих конструкций, рассматриваемые в настоящих методических указаниях, установлены по СП 50.13330 и ГОСТ Р 56734.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящих методических рекомендациях использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 4.221–82 Система показателей качества продукции. Строительство. Строительные конструкции и изделия из алюминиевых сплавов. Номенклатура показателей

ГОСТ 12.1.005–88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 618–2014 Фольга алюминиевая для технических целей. Технические условия

ГОСТ 745–2014 Фольга алюминиевая для упаковки. Технические условия

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

ГОСТ 20429–84 Фольгоизол. Технические условия

ГОСТ 25380–2014 Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции

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

ГОСТ 31166–2003 Конструкции ограждающие зданий и сооружений. Метод калориметрического определения коэффициента теплопередачи

ГОСТ 31311–2005 Приборы отопительные. Общие технические условия

ГОСТ 31531–2012 Энергосбережение. Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным значениям. Общие требования

ГОСТ 31607–2012 Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения

ГОСТ Р 54853–2011 Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера

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

СП 19.13330.2019 Сельскохозяйственные предприятия. Планировочная организация земельного участка (СНиП II-97-2016 Генеральные планы сельскохозяйственных предприятий)

СП 46.13330.2012 «СНиП 3.06.04-91 Мосты и трубы» (с изменениями № 1, № 3, № 4)

СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий» (с изменением № 1)

СП 54.13330.2016 «СНиП 31-01-2003 Здания жилые многоквартирные» (с изменениями № 1, № 2, № 3)

СП 55.13330.2016 «СНиП 31-02-2001 Дома жилые одноквартирные» (с изменением № 1)

СП 56.13330.2011 «СНиП 31-03-2001 Производственные здания» (с изменениями № 1, № 2, № 3)

СП 105.13330.2012 «СНиП 2.10.02-84 Здания и помещения для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» (с изменением № 1)

СП 106.13330.2012 «СНиП 2.10.03-84 Животноводческие, птицеводческие и звероводческие здания и помещения» (с изменением № 1)

СП 118.13330.2012 «СНиП 32-06-2009 Общественные здания и сооружения» (с изменениями №1, № 2, №3, №4)

СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»

СП 230.1325800.2015 Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей (с изменением № 1)

СП 345.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты (с изменением № 1)

Примечание – При пользовании настоящими методическими указаниями целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные

стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящих методических указаний в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

## 3 Термины и определения

В настоящих методических указаниях применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

**абсолютно черное тело:** Тело, которое полностью поглощает все падающее на него электромагнитное излучение.

[ГОСТ Р 56734–2015, пункт 3.1]

3.2 **коэффициент излучения *C*, Вт/(м$^2$·$^o$С$^4$):** Способность материала излучать теплоту, выражаемая количество ватт тепловой энергии, излучаемой 1 м$^2$ поверхности материала в пустоту при абсолютной температуре излучающей поверхности, равной 100 К.

3.3 **коэффициент теплообмена $\alpha_в$, $\alpha_н$, Вт/(м$^2$ · $^o$С):** Величина, численно равная тепловому потоку между поверхностью конструкции и окружающей средой, равная поверхностной плотности теплового потока при перепаде температуры между поверхностью и окружающей средой 1 °С, для внутренней и наружной поверхностей соответственно.

3.4 **коэффициент теплоотдачи излучением поверхности ограждения $\alpha_л$, Вт/(м$^2$· $^o$С):** Показатель переноса тепловой энергии в виде электромагнитных

волн между поверхностями, обусловленный температурой и излучательными свойствами этих поверхностей.

3.5 **коэффициент теплоотдачи конвекцией в газообразной среде, контактирующей с поверхностями ограждений $\alpha_к$, Вт/(м$^2$· °С):** Показатель переноса теплоты движущимися частицами воздушной среды, обусловленный разностью температур и переменной плотностью.

3.6 **коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции *K*, Вт/(м$^2$·°С):** Величина, численно равная поверхностной плотности теплового потока, проходящего через ограждающую конструкцию при разности температуры 1 °С.

3.7 **коэффициент теплопроводности материала (или газа) λ, Вт/(м·°С):** Величина, численно равная плотности теплового потока в материале конструкции, отнесенная к градиенту температуры.

3.8

**отражательная теплоизоляция:** Материал, как правило, листовой, рулонный, обеспечивающий уменьшение (снижение) теплопотерь через наружное ограждение за счет отражения лучистой составляющей теплового потока.

[ГОСТ Р 56734–2015, пункт 3.11]

3.9 **поверхностная плотность теплового потока *q*, Вт/м$^2$:** Величина теплового потока, проходящего через единицу площади поверхности конструкции.

3.10

**серое тело:** Тело, которое обладает меньшей способностью излучать теплоту по сравнению с абсолютно черным телом.

[ГОСТ Р 56734–2015, пункт 3.3]

3.11

**тепловой поток:** Количество теплоты, проходящее через образец в единицу времени.

[ГОСТ 7076–99, пункт 3.1]

3.12

**теплопроводность:** Теплофизическая характеристика материала, отражающая его свойство передавать теплоту за счет непосредственного соприкосновения между частицами материала и численно равная плотности теплового потока через поверхность, перпендикулярную тепловому потоку в материале при градиенте температуры 1 Вт/°С.

[ГОСТ Р 56734–2015, пункт 3.5]

3.13 **термическое сопротивление слоя (в т. ч. воздушной прослойки) ограждающей конструкции *R*, м$^2$ · °С/Вт:** Величина, обратная поверхностной плотности теплового потока, проходящего через слой ограждающей конструкции при разности температуры 1 °С.

3.14

**условное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции:** Физическая величина *R*о, м$^2$ · °С/Вт: численно равная сопротивлению теплопередаче условной ограждающей конструкции, в которой отсутствуют теплотехнические неоднородности

[СП 50.13330.2019, пункт 3.37]

## 4 Общие положения

В конструкциях наружных ограждений различных типов отапливаемых зданий наряду с такими известными способами повышения теплозащиты, как использование теплоизоляционных материалов, целесообразно применение отражательной теплоизоляции в виде покрытий внутренних поверхностей, расположенных перпендикулярно проходящему в условиях эксплуатации тепловому потоку, тонкими слоями материала с низким коэффициентом

излучения ($C \leq 0{,}5$ Вт/(м$^2$·°С$^4$)), том числе материалами из алюминиевой фольги. Применение отражательной теплоизоляции в наружных ограждениях позволяет повысить уровень теплозащиты без увеличения объема применения теплоизоляционных материалов и без увеличения количества и размеров крепежных элементов для фиксации утеплителя. Расчет теплозащитных характеристик наружных ограждений с отражательной теплоизоляцией базируется на учете лучистого теплообмена в зонах наружных ограждений с отражательной теплоизоляцией, который является превалирующим в конструкциях с применением материалов с низкой излучательной способностью.

В действующих нормативных документах не приводятся методики расчета температуры поверхностей наружных ограждений и воздушных прослоек, учитывающие отражательные свойства материалов, в том числе при использовании отражательной теплоизоляции в строительных конструкциях. Для обеспечения энергосберегающего отражательного эффекта покрытия с низким коэффициентом излучения целесообразно устраивать на поверхностях, соприкасающихся с воздухом, или в воздушных пространствах.

При этом следует учитывать, что наружные ограждающие конструкции отапливаемых зданий в условиях эксплуатации в различных климатических условиях разделяют воздушные среды с различными температурно-влажностными условиями. В холодный и переходные периоды года наружная среда, взаимодействующая с наружной поверхностью ограждения, как правило, имеет более низкую температуру, чем внутренний воздух помещений отапливаемого здания. Такие температурные условия, создающие перепад температуры в толще наружного ограждения, вызывают в нем процесс теплопередачи.

Поскольку ограждающая конструкция здания выполнена из конструкционных и теплоизоляционных материалов, располагаемых таким образом, чтобы в условиях эксплуатации в холодный период года тепловой поток, идущий от воздушной среды с более высокой температурой (помещения

здания) к воздушной среде с более низкой температурой (наружный воздух), пересекал конструкционно теплоизоляционные элементы, то теплопередача через них происходит путем теплопроводности. Однако в связи с тем, что поверхности ограждающей конструкции взаимодействуют с разделяемыми ей воздушными средами, а внутри ограждения могут располагаться воздушные прослойки, то теплопередача в этих зонах может также осуществляться за счет теплопроводности, конвекции и теплового излучения.

Передача теплоты у внутренней поверхности ограждения происходит в результате возникновения естественной конвекции под действием разности температур внутреннего воздуха и поверхности ($\alpha_к$). В результате наличия этой разницы температур осуществляется передача теплоты излучением от поверхностей внутренних конструкций к внутренней поверхности наружных ограждений ($\alpha_л$). Значение коэффициента теплоотдачи у внутренней поверхности наружного ограждения ($\alpha_в$) складывается из коэффициента теплоотдачи конвекцией ($\alpha_к$) и теплоотдачи излучения ($\alpha_л$).

В замкнутых воздушных прослойках наружных ограждений имеют место три вида теплопередачи: теплопроводностью, конвекцией и излучением (методология теплотехнического расчета таких прослоек изложены в ГОСТ Р 56734). Однако теплотехнические расчеты наиболее часто встречающихся в ограждающих конструкциях вертикальных замкнутых воздушных прослоек (толщиной 0,05 м при разности температур на их продольных поверхностях 5 °С) доля теплоты, передаваемой через прослойки, составляют: теплопроводностью – 10 %, конвекцией – 20 %, излучением – 70 %. Следовательно, наиболее существенный результат в снижении теплопередачи через замкнутую воздушную прослойку обеспечивает уменьшение лучистого теплообмена в прослойке. Поэтому применение на внутренних поверхностях наружных ограждений и в замкнутых воздушных прослойках отражательной щей теплоизоляции в виде алюминиевой фольги, закрепляемой на поверхностях, перпендикулярных тепловому потоку, является одним из путей повышения

энергоэффективности ограждений зданий, способствующим энергосбережению при эксплуатации отапливаемых зданий (ГОСТ 31607, ГОСТ 31531).

## 5 Исходные данные для проектирования наружных ограждений с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги

Как было указано в разделе 4, одним из основных видов теплопередачи через замкнутые воздушные прослойки и у поверхности наружных ограждающих конструкции зданий является теплообмен излучением. Количество лучистой теплоты $Q_л$, передаваемой от теплой поверхности площадью $A$ к более холодной за время τ, не зависит от расстояний между излучаемыми поверхностями и определяется в соответствии с законом Стефана – Больцмана коэффициентами излучения поверхностей и разностью, пропорциональной четвертым степеням их абсолютных температур ($T_T$ и $T_x$)

$$Q_л = C_{пр}\left[\left(T_T/100\right)^4 - \left(T_x/100\right)^4\right]A\tau \qquad (5.1)$$

где $C_{пр} = 1/(1/C_T + 1/C_x - 1/C_0)$ – приведенный коэффициент излучения, Вт/(м$^2$·°С$^4$);

$C_0$ – коэффициент излучения абсолютного черного тела, $C_0$ = 5,76 Вт/(м$^2$·°С$^4$).

В наружных ограждающих конструкциях в условиях эксплуатации зданий для повышения уровня теплозащиты наряду с эффективными теплоизоляционными материалами предусматривают устройство воздушных прослоек, располагаемых в толще ограждения в условиях эксплуатации в отопительный период поперек проходящего теплового потока. Для эффективного использования теплозащитного потенциала воздушной прослойки они должны быть герметичными, тонкими (толщиной до 50 мм) и иметь по высоте горизонтальные рассечки с шагом не более высоты этажа. Более эффективными в теплотехническом отношении являются прослойки, расположенные ближе к наружной поверхности ограждения, поскольку термическое сопротивление таких прослоек в холодный период года возрастает.

Многорядное расположение (друг за другом) замкнутых воздушных прослоек по толщине конструкции существенно повышает теплозащиту ограждения, обеспечивая значительное уменьшение расхода теплоизоляционных материалов.

Практика эксплуатации ограждающих конструкций с воздушными прослойками показала, что применение материалов с низким коэффициентом излучения поверхностей приводит к повышению их термического сопротивления. Значения коэффициентов излучения различных материалов приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – **Коэффициенты излучения различных материалов**

| Материал | Коэффициент излучения $C$, Вт/(м$^2$·С$^4$) |
|---|---|
| Алюминий полированный | 0,23–0,34 |
| Алюминий с шероховатой поверхностью | 0,34–0,4 |
| Алюминиевая фольга с зеркальной полированной поверхностью | 0,3 |
| Алюминиевая фольга в строительных конструкциях | 0,5 |
| Алюминий окисленный | 0,63–1,09 |
| Алюминиевая окраска | 2,88 |
| Алюминиевый лак на шершавой пластине | 2,25 |
| Асбестоцемент шероховатый | 5,25 |
| Лак черный блестящий, распыленный на пластине | 4,95 |
| Лак белый | 4,6 |
| Лак черный матовый | 5,52 |
| Медь тщательно полированная электролитная | 0,1 |
| Медь полированная | 0,13 |
| Медь, окисленная при нагревании до 600 °С, покрытая толстым слоем окиси | 4,49 |
| Бумага белая | 4,08 |

| | |
|---|---|
| Бумага желтая | 4,14 |
| Бумага красная | 4,37 |
| Бумага зеленая | 4,95 |
| Бумага синяя | 4,83 |
| Гипсокартон | 4,14 |
| Эмалевая краска | 5,18 |
| Бетон с шероховатой поверхностью | 3,61 |
| Ель строганая | 4,44 |
| Дуб строганый | 5,16 |
| Кирпич глиняный обыкновенный шероховатый | 5,1–5,3 |
| Пенополистирол | 4,9 |
| Стекло оконное гладкое | 5,41 |
| Стекло матовое | 5,52 |
| Штукатурка известковая шероховатая | 5,23 |
| Плитка метлахская гладкая | 4,69 |
| Обои бумажные | 4,08–4,95 |

Для повышения теплозащитных характеристик воздушных прослоек целесообразно применять отражательную теплоизоляцию из алюминиевой фольги с коэффициентом излучения поверхности $C$ = 0,5 Вт/(м$^2$ · °С$^4$) (ГОСТ 4.221, ГОСТ 618, ГОСТ 745, ГОСТ 20429). Алюминиевой фольгой следует покрывать только одну (более теплую) поверхность воздушной прослойки. При этом расчетное значение термического сопротивления воздушной прослойки увеличится более, чем в два раза.

Устройство покрытия из отражательной теплоизоляции с алюминиевой фольгой на внутренней поверхности наружных стен обеспечивает теплозащитный эффект. Особенно эффективно устройство отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги на поверхности зарадиаторных участков наружных тен в зимнее время.

Наружную поверхность стен в жарких регионах Российской Федерации целесообразно экранировать полированными алюминиевыми листами ($C$ = 0,34 Вт/(м$^2$·°С$^4$)) с вентилируемой воздушной прослойкой, другая поверхность которой должна быть покрыта отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги.

Эффективно применение тонколистовых алюминиевых экранов с воздушными прослойками в вертикальных и горизонтальных наружных ограждениях отапливаемых зданий. Однако при устройстве таких экранов должны быть обеспечены долговечность и надежность их крепления.

## 6 Процедура теплотехнических расчетов с учетом лучистой, конвективной и кондуктивной теплопередачи в наружных ограждениях при наличии отражательной теплоизоляции

### 6.1 Общие положения

Наружные ограждающие конструкции отапливаемых зданий выполняют функцию защиты эксплуатируемых помещений от воздействия климатических параметров наружной среды, обеспечивая поддержание комфортных условий в помещениях при возможно минимальном расходовании энергетических ресурсов на их поддержание.

Разработанное в ходе теплотехнического проектирования наружное ограждение здания должно иметь теплозащитную характеристику, обеспечивающую в условиях эксплуатации удовлетворение нормативных требований, предъявляемых к конкретному виду гражданского или производственного здания.

С точки зрения теплозащиты наружное ограждение оценивается таким показателем, как коэффициент теплопередачи $k$, Вт/(м$^2$·°С), зависящий от теплотехнических свойств ограждения и условий теплообмена на его поверхностях, взаимодействующих с внутренней и наружной средами, которое оно разделяет.

Величиной, обратной значению коэффициента теплопередачи, является характеристика теплозащиты ограждения, отражающая уровень сопротивляемости ограждения прохождению теплоты и называемая сопротивлением теплопередаче $R_o=1/k$, м$^{2}$·$^{o}$С/Вт, (определяется расчетным путем согласно СП 50.13330 или экспериментально согласно требованиям ГОСТ 31166, ГОСТ Р 54853), которое складывается из трех составляющих:

$$R_o = R_в + R_к + R_н, \quad (6.1)$$

где $R_в = 1/\alpha_в$ – сопротивление теплоотдаче внутренней поверхности ограждающей конструкции м$^{2}$·$^{o}$С/Вт;

здесь $\alpha_в$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м$^{2}$·$^{o}$С), для наружных стен, потолков верхних этажей $\alpha_в$ = 8,7 Вт/(м$^{2}$·$^{o}$С), (таблица 4 СП 50.13330.2012);

$R_к = \sum_{i=1}^{n}(\frac{\delta_i}{\lambda_i}) + R_{в.п.}$ – термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции, м$^{2}$·$^{o}$С/Вт, состоящей из $n$ конструкционно-теплоизоляционных слоев;

здесь $\delta_i$ – толщина $i$-го слоя конструкции, м;

$\lambda_i$ – расчетная теплопроводность материала $i$-го слоя конструкции, принимаемая по приложению Т СП 50.13330.2012 в зависимости от условий эксплуатации (А или Б) района строительства, устанавливаемых в зависимости от влажностного режима помещений (таблица 1 СП 50.13330.2012) и зон влажности района строительства (приложение В СП 50.13330.2012) по таблице 2 СП 50.13330.2012 или экспериментально определяется согласно требованиям ГОСТ 7076;

$R_{в.п}$ – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, расположенной параллельно слоям многослойной конструкции, м$^{2}$·$^{o}$С/Вт, определяемое в зависимости от ее размеров и расположения ограждающей конструкции в теплозащитной оболочке здания по таблице Е.1 СП 50.13330.2012;

$R_н = 1/\alpha_н$ – сопротивление теплоотдаче наружной поверхности ограждающей конструкции, м$^2$·°С/Вт;

здесь $\alpha_н$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м$^2$·°С), для наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами $\alpha_н$ = 23 Вт/(м$^2$·°С) (таблица 6 СП 50.13330.2012).

Таким образом, теплозащита наружной ограждающей конструкции оболочки здания формируется теплоизоляционными слоями, воздушными прослойками, располагаемыми перпендикулярно направлению теплового потока, проходящего через ограждение в условиях эксплуатации, и условиями теплообмена на его внутренней и наружной поверхностях.

В наружных ограждающих конструкциях, воздушных прослойках и на поверхностях наружных ограждений передача теплоты в условиях эксплуатации осуществляется излучением, теплопроводностью и конвекцией.

Сопротивление теплоотдаче внутренней поверхности ограждения характеризует сопротивление при переходе теплоты от внутреннего воздуха с температурой $t_в$ к внутренней поверхности ограждения с температурой $\tau_в$.

Передача теплоты к внутренней поверхности наружного ограждения определяется излучением и конвекцией, причем излучение происходит от поверхностей внутренних конструкций стен, перегородок, потолка, пола, имеющих температуру более высокую, чем температура внутренней поверхности наружного ограждения. В этом случае коэффициент теплоотдачи излучением внутренней поверхности ограждения $\alpha_л^{н.о}$, Вт/(м$^2$·°С), следует определять по формуле

$$\alpha_л^{но} = \frac{C_{пр}^{зд}\left[\left(\frac{\tau_{вн}+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\tau_{нар}+273}{100}\right)^4\right]}{\tau_{вн}-\tau_{нар}} \qquad (6.2)$$

где $C_{пр}^{эо} = 1/(1/C_{вн} + 1/C_{нар} - 1/C_0)$ – приведенный коэффициент излучения поверхностей строительного объекта (здания, помещения), Вт/(м$^2$·°С)$^4$;

здесь $C_{вн}$ – приведенный коэффициент излучения поверхностей внутренних ограждений, Вт/(м$^2$·°С)$^4$, определяемый по формуле (6.3):

$$C_{вн} = \sum_i (C_i A_i) / \sum_i A_i \qquad (6.3)$$

где $C_i A_i$ – коэффициент излучения *i*-й поверхност (м$^2$·°С$^4$), и площадь, м$^2$, *i*-го вида внутренних ограждений здания соответственно (внутренних стен, перегородок, перекрытий);

$C_{нар}$ – приведенный коэффициент излучения внутренних поверхностей элементов наружных ограждений здания (наружных стен, покрытий, чердачных перекрытий, светопрозрачных конструкций, перекрытий над проездами, перекрытий над холодными подвалами, стен и полов, наружных дверей и ворот), Вт/(м$^2$ · °С$^4$), определяемый по формуле

$$C_{нар} = \sum_j (C_j A_j) / \sum_j A_j \qquad (6.4)$$

где $C_j A_j$ – коэффициент излучения, Вт/(м$^2$·°С$^4$), и площадь, м$^2$, внутренней поверхности *j*-го вида наружных ограждений здания соответственно;

$C_0$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м$^2$·°С$^4$), $C_0$ = 5,76 Вт/(м$^2$·°С$^4$);

$\tau_{вн}$ – средняя температура внутренних ограждений здания, °С;

$\tau_{нар}$ – средняя температура внутренних поверхностей наружных ограждений, °С.

Коэффициент теплоотдачи конвекцией $\alpha_к$, Вт/(м$^2$·°С$^4$), внутренней поверхности наружного ограждения зависит от разности температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности наружного ограждения $\Delta t$, коэффициентов теплопроводности, температуропроводности, кинематической вязкости воздуха у поверхности наружного ограждения, линейного размера поверхности. На основе этих характеристик вычисляются безразмерные

комплексы в виде критериев подобия: Прандтля (Pr), Грасгофа (Gr), Нуссельта (Nu), которые объединяются в критериальное уравнение для внутренних поверхностей ограждающих конструкций:

$$Nu = 135\sqrt[3]{Gr\,\mathrm{Pr}} \tag{6.5}$$

На основе решения этого уравнения относительно $\alpha_к$ получены выражения для определения значений коэффициентов теплоотдачи конвекцией:

- для внутренних поверхностей наружных стен и полов, контактирующих с холодными подвалами и грунтом

$$\alpha_к^{ст+пол} = 1,66\sqrt[3]{t_в - \tau_{в.п}} \tag{6.6}$$

где $t_в$ - температура внутреннего воздуха в помещении, °С;

$\tau_{в.п}$ - температура внутренних поверхностей стен и полов, °С.

- для потолков покрытий и чердачных перекрытий

$$\alpha_к^{пот} = 2,16\sqrt[3]{t_в - \tau_{в.п}} \tag{6.7}$$

здесь $\tau_{в.п}$ - температура внутренних поверхностей потолков покрытий и чердачных перекрытий, °С.

Допускают определение коэффициента теплоотдачи конвекцией внутренней поверхности наружного ограждения отапливаемого помещения здания $\alpha_к^{но}$, Вт/(м$^2$ · °С), в первом приближении по формуле

$$\alpha_к^{но} = \frac{\alpha_к^{ст+пол} A_{ст+пол} + \alpha_к^{пот} A_{пот}}{A_{ст+пол} + A_{пот}} \tag{6.8}$$

Количество теплоты, воспринимаемой 1 м$^2$ внутренней поверхности ограждения (плотность теплового потока) с учетом теплообмена излучением и конвекцией от внутренней среды $q$, Вт/м$^2$, определяют по формуле

$$q = (t_в - \tau_{вп})\alpha_в = (t_в - \tau_{вп})(\alpha_л^{но} + \alpha_к^{но}) \tag{6.9}$$

где $t_в$ – температура воздуха внутренней среды здания, помещения, °С;

$\tau_{в.п}$ – температура внутренней поверхности наружного ограждения, °С;

$\alpha_{л}^{н.а}$ – коэффициент теплоотдачи излучением внутренней поверхности наружного ограждения отапливаемого здания определяют (6.2), Вт/(м$^2$·°С);

$\alpha_{к}^{н.а}$ – коэффициент теплоотдачи конвекцией внутренней поверхности наружного ограждения отапливаемого здания, определяемый по формуле (6.8), Вт/(м$^2$·°С).

**6.2 Применение отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги на внутренней поверхности наружных ограждений и зарадиаторных участков стен для повышения теплозащиты наружной оболочки здания.**

При проводимых расчетах теплозащитных качеств наружных ограждений с применением отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги установлено, что многократное отражение и поглощение лучистой теплоты незначительно влияет на их термическое сопротивление и, следовательно, в инженерной практике при решении задач лучистого теплообмена в объеме помещений возможно не учитывать многократное отражение лучистых потоков теплоты в ограждающих конструкциях. Поэтому при определении температуры внутренней поверхности наружного ограждения $\tau_{в.п}$ с учетом излучательных характеристик теплообменивающихся поверхностей помещений здания можно воспользоваться следующим уравнением

$$\tau_{вп} = \frac{t_в\left(\alpha_л^{но}\frac{C_{нар}C_{вн}}{C_{пр}^{зд}C_0}+\alpha_к^{но}\right)+kt_н}{\alpha_л^{но}\frac{C_{нар}C_{вн}}{C_{пр}^{зд}C_0}+\alpha_к^{но}+k} \qquad (6.10)$$

где $\alpha_л^{но}$, $C_{нар}$, $C_{вн}$, $C_0$, $C_{пр}^{зд}$ – то же, что в формулах (6.2) - (6.4);

$\alpha_к^{но}$ – то же, что в формуле (6.8);

$t_в$, $t_н$ – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха соответственно, °С; $t_в$ принимают для жилых и общественных зданий в соответствии с

требованиями ГОСТ 30494, для производственных зданий – по нормам проектирования соответствующих зданий;

$k$ – коэффициент теплопередачи наружного ограждения, Вт/(м$^2$·°С).

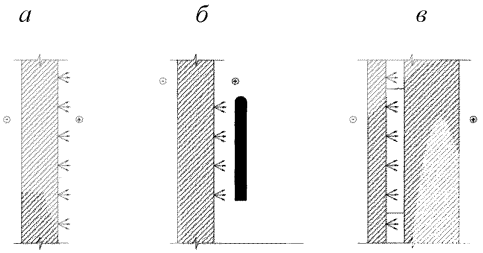



***Рисунок 6.1* – Схемы эффективного размещения отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги на поверхности наружной стены отапливаемого здания: на внутренней поверхности наружной стены (*а*); на зарадиаторном участке наружной стены (*б*); на одной из поверхностей замкнутой воздушной прослойки, расположенной ближе к наружной поверхности (*в*)**

Для обеспечения энергосбережения особое внимание следует обратить на теплозащиту зарадиаторных участков наружных стен, в непосредственной близости которых размещены отопительные приборы, располагаемые обычно под оконными заполнениями светопроемов. Отопительный прибор (ГОСТ 31311) устанавливают с некоторым зазором от внутренней поверхности наружной стены, что позволяет образовать воздушную прослойку, в которой при работе отопительного прибора происходит повышенный по сравнению с другими участками стены теплообмен, приводящий к более высоким теплопотерям через зарадиаторный участок наружного ограждения.

Средняя разность температуры между поверхностью отопительного прибора, обращенной к наружной стене, и поверхностью зарадиаторного участка наружной стены $\Delta t_{ср}$, °С, принимают равной 70 °С. Исходя из условий теплообмена этих поверхностей в условиях эксплуатации расчетная площадь

зарадиаторного участка наружной стены $A_{зар.ст}$, м$^2$, на 10 % больше, чем площадь теплоотдающей поверхности отопительного прибора $A_{отп}$, м$^2$. При малой толщине воздушной прослойки между поверхностями отопительного прибора и зарадиаторной части наружной стены допускается не учитывать в теплотехнических расчетах конвективную составляющую.

В данном случае передача теплоты через воздушную прослойку будет осуществляться за счет лучистого теплообмена, который описывается следующим уравнением:

$$Q_{зар.ст} = Q_{отп}^{пад} - Q_{зар.ст}^{отр} \tag{6.11}$$

где $Q_{отп}^{пад}$ – количество лучистой теплоты, падающей от отопительного прибора на поверхность зарадиаторного участка наружной стены, Вт;

$$Q_{отп}^{пад} = \alpha_л \frac{C_{отп} C_{зар.ст}}{C_{пр}^{оз} C_0} (\tau_{отп} - \tau_{зар.ст}) A_{отп} \tag{6.12}$$

$Q_{зар.ст}^{отр}$ – количество теплоты излучением, отраженное от поверхности зарадиаторной стенки на противолежащую поверхность отопительного прибора, Вт;

$$Q_{зар.ст}^{отр} = \alpha_л \frac{C_{отп} C_{зар.ст}}{C_{пр}^{оз} C_0} (\tau_{зар.ст} - \tau_{отп})(1 - C_{зар.ст} C_0) A_{зар.ст} \tag{6.13}$$

$Q_{зар.ст.}$– количество теплоты, Вт, проходящей через зарадиаторный участок наружной стены, определяемое для участка сечения стены, ограниченного внутренней поверхностью наружной стены с температурой $\tau_{зар.ст}$, °С, и наружным воздухом с температурой $t_н$, °С:

$$Q_{зар.ст} = \alpha_н (\tau_{зар.ст} - t_н) A_{зар.ст} \tag{6.14}$$

где $\tau_{зар.ст}$ – температура внутренней поверхности зарадиаторного участка наружного ограждения, °С;

$A_{зар.ст}$ – площадь зарадиаторного участка наружного ограждения, $A_{зар.ст} = 1{,}1A_{отп}$, м$^2$;

$t_н$ – расчетная температура наружного воздуха, °С.

Формула (6.14) позволяет рассчитать количество теплоты, проходящее через зарадиаторный участок наружной стены. Это позволяет использовать уравнение теплового баланса (6.11) для решения задач вычисления теплотехнических характеристик участков наружных ограждений, расположенных за отопительными приборами.

На основе уравнения теплового баланса (6.11) можно получить выражение для определения температуры на поверхности зарадиаторной стенки $\tau_{зар.ст}$ в зависимости от теплотехнических показателей, характеризующих тепловой режим системы «отопительный прибор – зарадиаторный участок наружного ограждения»:

$$\tau_{зар.ст} = \frac{\alpha_л \dfrac{C_{отп} C_{зар.ст}}{C_{пр}^{оз} C_0}\left[A_{отп} + (1 - \dfrac{C_{зар.ст}}{C_{пр}^{оз}})A_{зар.ст}\right]\tau_{отп} + kt_н A}{\alpha_л \dfrac{C_{отп} C_{зар.ст}}{C_{пр}^{оз} C_0}\left[A_{отп} + (1 - \dfrac{C_{зар.ст}}{C_{пр}^{оз}})A_{зар.ст}\right] + kA} \qquad (6.15)$$

где $\alpha_л$ – коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(м$^2$·°С);

$C_{зар.ст}$ – коэффициент излучения поверхности зарадиаторного участка наружного ограждения, Вт/(м$^2$·°С$^4$);

$C_{отп}$ – коэффициент излучения поверхности отопительного прибора, Вт/(м$^2$·°С$^4$);

$C_{пр}^{оз}$ – приведенный коэффициент излучения системы «отопительный прибор – зарадиаторный участок наружного ограждения», Вт/(м$^2$·°С$^4$), вычисляют по формуле

$$C_{пр}^{оз} = 1/(1/C_{отп} + 1/C_{зар.ст} - 1/C_0) \qquad (6.16)$$

$C_о$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $C_о$ = 5,76 Вт/(м$^2$·°С$^4$);

$\tau_{отп}$ – температура поверхности отопительного прибора, °С;

$A_{отп}$ – площадь излучающей поверхности отопительного прибора, м$^2$;

$k$ – коэффициент теплопередачи зарадиаторного участка наружной стены, Вт/(м·°С), определяемый по формуле

$$k = 1/(R_k + R_н) \quad (6.17)$$

здесь $R_k$ – термическое сопротивление зарадиаторного участка наружного ограждения, м$^2$· °С/Вт;

$R_н$ – сопротивление теплообмену у наружной поверхности стены, м$^2$ · °С/Вт.

## 6.3 Замкнутые воздушные прослойки с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги в наружных ограждающих конструкциях

Наличие в наружной ограждающей конструкции отапливаемого здания замкнутых воздушных прослоек позволяет повысить теплозащитные качества ограждения за счет снижения величины теплового потока, проходящего через многослойную конструкцию, благодаря теплозащитным характеристикам воздуха замкнутых воздушных прослоек, расположенных поперек теплового потока, проходящего из помещения в окружающую наружную воздушную среду.

Поверхности внутренних замкнутых воздушных прослоек, расположенных параллельно друг другу, являются элементами многослойного ограждения. Воздушные прослойки предпочтительно с теплотехнической точки зрения располагать ближе к наружной поверхности ограждающей конструкции.

Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки $R_{в.п}$, м$^2$ °С/Вт, расположенной внутри ограждающей конструкции, определяется по формуле

$$R_{в.п} = (\tau_{1в.п} - \tau_{2в.п}) / Q \quad (6.18)$$

где $\tau_{1в.п}$ – температура на поверхности воздушной прослойки со стороны внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С;

$\tau_{2в.п}$ – температура на поверхности воздушной прослойки со стороны наружной поверхности ограждающей конструкции, °С;

$Q$ – количество теплоты, проходящее в течение 1 ч через 1 м$^2$ наружного ограждения с воздушной прослойкой, Вт/м$^2$, согласно ГОСТ 25380.

Прохождение теплоты через воздушную прослойку $Q$ в условиях эксплуатации происходит излучением, теплопроводностью и конвекцией, величина которой определяется по формуле

$$Q = (\tau_{1в.п} - \tau_{2в.п})\frac{\alpha_л \delta + \lambda_1 + \lambda_2}{\delta} \qquad (6.19)$$

где $\tau_{1в.п}$ и $\tau_{2в.п}$ – то же, что и в формуле (6.18);

$\alpha_л$ – коэффициент теплопередачи излучением в воздушной прослойке, определяемый по формуле

$$\alpha_л = \frac{1}{\frac{1}{C_{1в.п}} + \frac{1}{C_{2в.п}} - \frac{1}{C_0}} \frac{\left(\frac{\tau_{1в.п}+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\tau_{2в.п}+273}{100}\right)^4}{\tau_{1в.п} - \tau_{2в.п}} \qquad (6.20)$$

здесь $C_{1.в.п}$, $C_{2.в.п}$ – коэффициенты излучения поверхностей замкнутой воздушной прослойки, расположенных со стороны внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции соответственно, Вт/(м$^2$·°С$^4$);

$\lambda_1$ –теплопроводность неподвижного воздуха, Вт/(м·°С ) (при $t$ = 0 °С $\lambda$ = 0,023 Вт/(м ·°С));

$\lambda_2$ – условный коэффициент передачи теплоты конвекцией Вт/(м·°С);

$\delta$ – толщина прослойки, м.

Температуры на поверхностях воздушной прослойки $\tau_{1в.п}$ и $\tau_{2в.п}$ определяют по формуле

$$\tau_{в.л} = t_в - (t_в - t_н)(R_в + \sum_{n-1} R)/R_0 \qquad (6.21)$$

где $t_в$, $t_н$ – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха соответственно, °С, устанавливаемые соответственно для внутреннего воздуха

согласно ГОСТ 12.1.005, ГОСТ 30494, для наружного воздуха – согласно СП 131.13330;

$R_в$ , $R_о$ – то же, что в формуле (6.1);

$\Sigma_{n-1} R$ – сумма термических сопротивлений ($n$ – 1) слоев ограждения, м$^2$·°С/Вт.

### 6.4 Графический метод определения коэффициента теплообмена излучением в замкнутых воздушных прослойках с учетом коэффициентов излучения поверхностей

6.4.1 Для проведения расчетов коэффициента теплообмена излучением с учетом коэффициентов излучения поверхностей замкнутых воздушных прослоек разработан графический метод с помощью номограмм (рисунки 6.2 и 6.3).

### 6.4.2 Расчет приведенного коэффициента излучения поверхностей замкнутой воздушной прослойки

Расчет приведенного коэффициента излучения поверхностей замкнутой воздушной прослойки проводят в такой последовательности:

- принимают значения коэффициентов излучения материалов поверхностей, обращенных в замкнутую воздушную прослойку, $C_{1в.п}$ и $C_{2в.п.}$;

- на графике на рисунке 6.2 на горизонтальной оси отмечают значение коэффициента излучения материала одной из поверхностей, обращенных в воздушную прослойку, $C_{1в.п.}$;

- на графике на рисунке 6.2 в поле наклонных линий *1–7* для точки $C_{1в.п}$ находят значение коэффициента излучения второй поверхности воздушной прослойки $C_{2в.п.}$;

- на вертикальной оси рисунка 6.2 находят значение приведенного коэффициента излучения воздушной прослойки $C_{пр}$.

### 6.4.3 Расчет коэффициента лучистого теплообмена в замкнутой воздушной прослойке

Расчет коэффициента лучистого теплообмена в замкнутой воздушной прослойке проводят в такой последовательности:

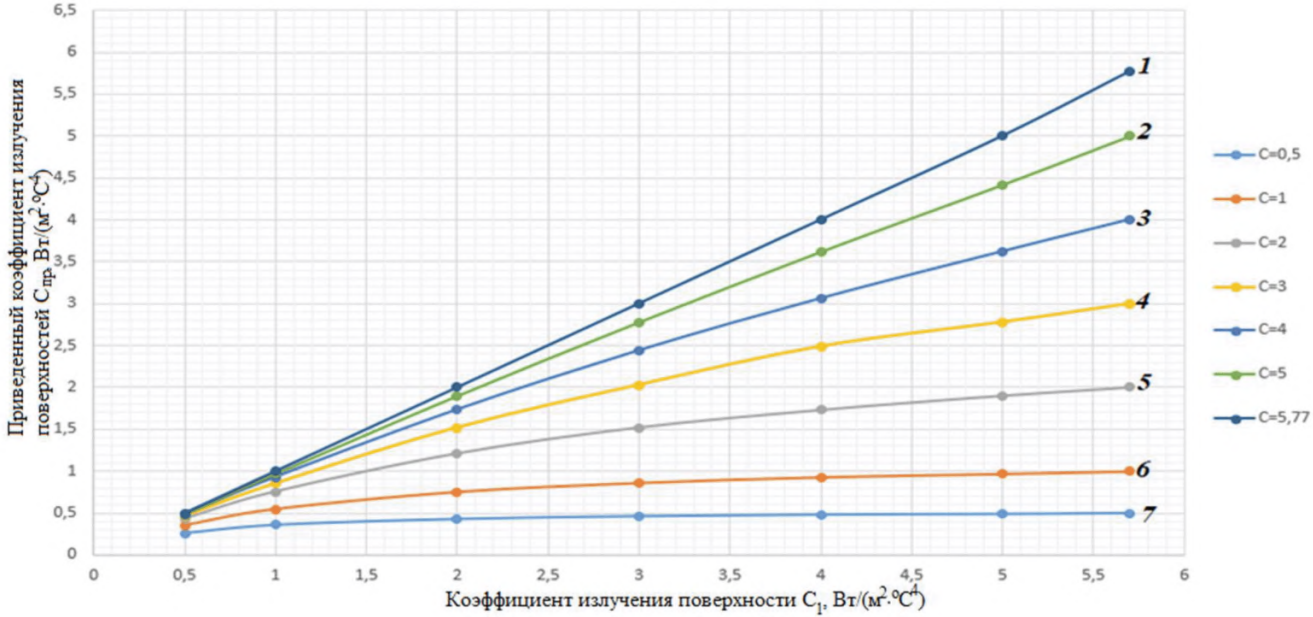
- на правом графике рисунка 6.3 находят кривую, соответствующую значению приведенного коэффициента излучения, определенного по графику на рисунке 6.2;

- определяют среднюю температуру воздуха в замкнутой воздушной прослойке как среднее арифметическое значение температур поверхностей, обращенных в воздушную прослойку;

- на левом графике на рисунке 6.3 на горизонтальной оси откладывают среднюю температуру воздуха в воздушном пространстве и по вертикали проводят линию до пересечения с кривой Ω;

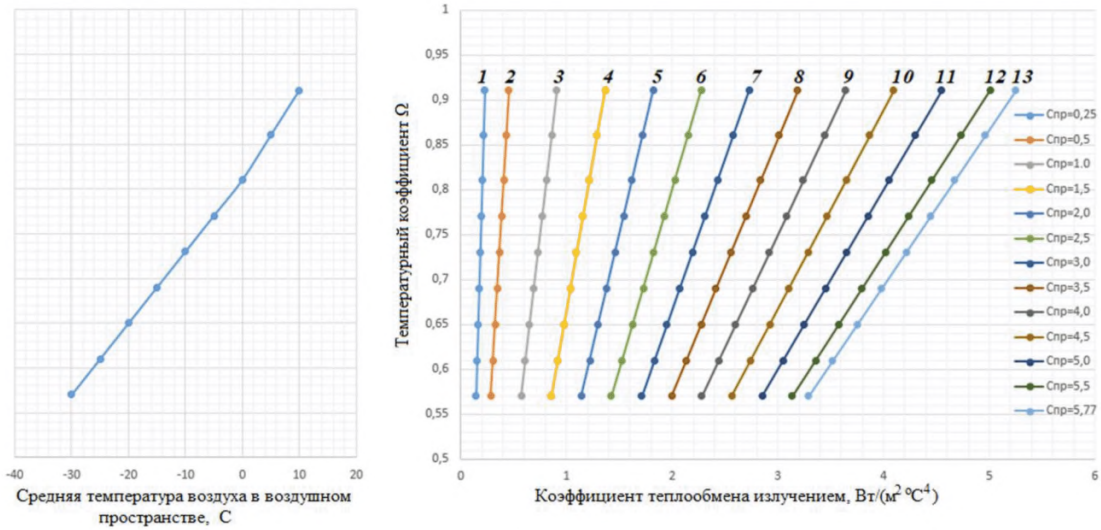
- от точки пересечения с кривой Ω проводят горизонтальную прямую к правому графику на рисунке 6.3 до пересечения с наклонной линией, соответствующей приведенному коэффициенту излучения поверхностей;

- на правом графике рисунка 6.3 на горизонтальной оси находят значение коэффициента лучистого теплообмена в замкнутой воздушной прослойке.




*1* – $C_2$ = 5,76 Вт/ (м$^2$· °C$^4$); *2* – $C_2$ = 5,0 Вт/(м$^2$·°C$^4$); *3* – $C_2$ = 4,0 Вт/(м$^2$·°C$^4$); *4* – $C_2$ = 3,0 Вт/(м$^2$·°C$^4$); *5* – $C_2$ = 2,0 Вт/(м$^2$· °C$^4$); *6* – $C_2$ = 1,0 Вт/(м$^2$·°C$^4$); *7* – $C_2$ = 0,5 Вт/(м$^2$·°C$^4$)

***Рисунок 6.2*** **– Определение приведенного коэффициента излучения в зависимости от коэффициентов излучения поверхностей, обращенных в воздушное пространство при коэффициенте излучения поверхности**




*1* – $C_{пр}$ = 0,25 Вт/(м$^2$·°С$^4$); *2* – $C_{пр}$ = 0,5 Вт/(м$^2$·°С$^4$); *3* – $C_{пр}$ = 1,0 Вт/(м$^2$·°С$^4$); *4* – $C_{пр}$ = 1,5 Вт/(м$^2$·°С$^4$); *5* – $C_{пр}$ = 2,0 Вт/(м$^2$·°С$^4$); *6* – $C_{пр}$ = 2,5 Вт/(м$^2$·°С$^4$); *7* – $C_{пр}$ = 3,0 Вт/(м$^2$·°С$^4$); *8* – $C_{пр}$ = 3,5 Вт/(м$^2$·°С$^4$); *9* – $C_{пр}$ = 4,0 Вт/(м$^2$·°С$^4$); *10* – $C_{пр}$ = 4,5 Вт/(м$^2$·°С$^4$); *11* – $C_{пр}$ = 5,0 Вт/(м$^2$·°С$^4$); *12* – $C_{пр}$ = 5,5 Вт/(м$^2$·°С$^4$); *13* – $C_{пр}$ = 5,7 Вт/(м$^2$·°С$^4$)

***Рисунок 6.3* – Определение коэффициента теплообмена излучением в зависимости от средней температуры воздуха в воздушном пространстве с учетом приведенного коэффициента излучения поверхностей воздушного пространства**

## 7 Требования к конструктивным решениям наружных ограждений с системами отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги

7.1 На основе приведенного анализа результатов расчетно-теоретических и экспериментальных исследований различных видов ограждающих конструкций с применением отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги были установлены требования, приведенные в пунктах 7.2–7.9.

7.2 Для снижения тепловых потерь через наружную стеновую конструкцию за счет уменьшения потока теплоты излучением необходимо использовать материалы на основе алюминиевой фольги, имеющие низкий коэффициент излучения поверхности порядка 0,5 Вт/(м$^2$·°С).

7.3 Для обеспечения энергосберегающего эффекта отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги она должна быть установлена в конструкции наружного ограждения с образованием воздушной прослойки.

7.4 Для повышения уровня тепловой защиты наружных ограждений при проектировании воздушных прослоек отражательная теплоизоляция из алюминиевой фольги должна быть установлена на одной поверхности воздушной прослойки. Применение воздушных прослоек, имеющих отражательную теплоизоляцию на двух противоположных поверхностях, не является целесообразным, так как не обеспечивает значительного увеличения термического сопротивления прослойки.

7.5 В воздушных прослойках с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги величина теплого потока излучением в 3,0–3,5 раза меньше по сравнению с воздушными прослойками без отражательной теплоизоляции. Однако за счет того, что перепад между температурами на противоположных поверхностях прослойки в 1,5 раза больше, конвективная составляющая теплового потока в воздушной прослойке при наличии отражательной теплоизоляции увеличивается. Поэтому для уменьшения конвективной составляющей теплообмена не рекомендуется устройство

воздушных прослоек с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги большой толщины.

7.6 Для уменьшения интенсивности теплообмена конвекцией в воздушных прослойках с отражательной теплоизоляцией большой высоты рекомендуется устройство горизонтальных рассечек в уровне междуэтажных перекрытий.

7.7 Для повышения уровня тепловой защиты наружных ограждений целесообразно использовать теплоизоляционные материалы, имеющие покрытие из отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги.

7.8 Целесообразно применение теплоизоляционных материалов с покрытием из отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги, обращенной внутрь помещения без устройства воздушных прослоек, для утепления складских помещений, цехов промышленных предприятий, сельскохозяйственных и других зданий.

7.9 При проектировании конструкций и расчете тепловых потерь через ограждения с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги целесообразно принимать расчетные параметры:

- при расчете наружных стеновых ограждений с воздушными прослойками толщиной 0,05 м с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги их термическое сопротивление следует принимать $R_{в.п.отр} = 0,5$ м$^2$·°С/Вт;

- при расчете наружных стеновых ограждений с внутренней поверхностью из отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги следует принимать коэффициент теплоотдачи у внутренней поверхности $\alpha_в = 3,90$ Вт/(м$^2$·°С).

7.10 Таким образом, применение на внутренних поверхностях наружных ограждений и устройство в замкнутых воздушных прослойках наружных стеновых ограждений отражательной теплоизоляции на основе алюминиевой фольги с низким коэффициентом излучения являются одним из путей повышения эффективности наружных ограждений и способствуют энергосбережению при эксплуатации отапливаемых зданий.

## 8 Оценка энергоэффективности применения отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги в конструкциях наружных стен отапливаемых зданий

В условиях эксплуатации зданий у внутренних и наружных поверхностях ограждений передача теплоты между ограждением и воздушной средой осуществляется излучением и конвекцией. Следовательно, коэффициенты теплоотдачи внутренней ($\alpha_в$) и наружной ($\alpha_н$) поверхностей ограждения представляют собой сумму коэффициентов отдачи теплоты излучением ($\alpha_л$) и конвекцией ($\alpha_к$)

$$\begin{aligned} \alpha_в &= 1/R_в = \alpha_л^в + \alpha_к^в; \\ \alpha_н &= 1/R_н = \alpha_л^н + \alpha_к^н \end{aligned} \qquad (8.1)$$

Передача теплоты излучением к внутренней поверхности ограждения происходит от поверхностей внутренних конструкций, имеющих температуру более высокую, чем температура внутренней поверхности наружного ограждения.

Наружная поверхность ограждений отдает теплоту излучением в окружающую среду.

Передача теплоты конвекцией у внутренней поверхности ограждения происходит в результате конвенции, вызываемой разностью температур воздуха и поверхности, а у наружной поверхности ограждения – в результате вынужденной конвекции, вызываемой действием ветра. На величину коэффициента теплоотдачи $\alpha_в$ главное влияние оказывают разность температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждения и коэффициенты излучения поверхностей. Поверхности наружных и внутренних ограждающих конструкций имеют коэффициенты излучения в диапазоне 3,6–5,5 Вт/(м$^2$·$^o$С$^4$). Применение алюминиевой фольги на теплой поверхности ограждений снижает коэффициент ее излучения до 0,5 Вт/(м$^2$·$^o$С$^4$). Если при отсутствии теплоотражающего покрытия на внутренней поверхности наружного

ограждения сопротивление теплопередаче у этой поверхности составляет $R_в$ = 1/8,7 = 0,115 м$^2$·°С/Вт, то наличие алюминиевой фольги на внутренней поверхности ограждения увеличивает это сопротивление до $R_в$ = 1/3,9 = 0,256 м$^2$·°С/Вт, или в 2,23 раза больше, чем при отсутствии теплоотражающего покрытия с алюминиевой фольгой.

Процедура расчета теплозащиты и энергопотребления отапливаемого здания с наружными ограждениями, внутренняя поверхность которых содержит теплоотражающее покрытие с алюминиевой фольгой, приведена в А.1 приложения А.

Отопительные приборы системы отопления здания обычно устанавливают у наружных стен под оконным проемом. Температура теплоносителя (горячей воды, подаваемой из источника теплоснабжения) в системе отопления обеспечивает температуру на поверхности отопительного прибора равную $t_{от}$ = 70 °С. При малой толщине воздушной прослойки между поверхностями отопительного прибора и зарадиаторного участка наружной стены передача теплоты от поверхности отопительного прибора к расположенной за ней поверхности стены происходит в основном за счет передачи теплоты излучением.

Приведенный коэффициент излучения $C_{пр}$ между поверхностями отопительного прибора и зарадиаторным участком наружной стены, определяют по формуле

$$C_{пр} = 1/(1/C_{отп} + 1/C_{зар.ст} - 1/C_0), \qquad (8.2)$$

где $C_0$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $C_0$ = 5,76 Вт/(м$^2$·°С$^4$).

Для рассматриваемой системы «отопительный прибор – зарадиаторный участок наружной стены» коэффициент теплоотдачи излучения $\alpha_л$ при отсутствии отражательной теплоизоляции равен 5,72 Вт/(м$^2$·°С), при наличии отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги $\alpha_л$ = 0,66 Вт/(м$^2$·°С).

Для различных уровней теплозащиты наружных стен определены теплопотери через зарадиаторные участки при отсутствии и наличии

теплоотражающего покрытия с алюминиевой фольгой на их внутренних поверхностях (таблица 8.1).

С увеличением сопротивления теплопередаче наружного ограждения здания происходит снижение теплопотерь через зарадиаторный участок наружной стены при устройстве теплоотражающего покрытия в зарадиаторной зоне. Но во всех случаях согласно таблице 8.1 доля тепловых потерь существенно уменьшается. Поэтому применение отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги на поверхностях зарадиаторных участков наружных стен является целесообразным для повышения энергоэффективности ограждающей оболочки здания.

Таблица 8.1 – **Эффективность применения отражательной теплоизоляции на поверхности зарадиаторной стенки при наличии и отсутствии отражательной теплоизоляции**

| | Конструкции наружных стен (зарадиаторные участки) при $t_{отп}$ = 70 °С, $t_в$ = 20 °С, $t_н$ = –26 °С | | | |
|---|---|---|---|---|
| Теплопотери через зарадиаторный участок стены | Стена из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 51 см, $R_о$ = 0,67 м$^{2}$·°С/Вт | Стена из щелевого кирпича толщиной 51 см, $R_о$ = 0,92 м$^{2}$·°С/Вт | Стена из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 51 см, утепленного минеральной ватой толщиной 5 см, $R_о$ = 1,8 м$^{2}$·°С/Вт | Стена из обыкновенного глиняного кирпича толщиной 51 см, утепленного минеральной ватой толщиной 10 см, $R_о$ = 2,93 м$^{2}$·°С/Вт |
| Величина теплового потока при отсутствии покрытия из отражательной теплоизоляции, | 115 | 87 | 49 | 31 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Вт/м$^2$ | | | | |
| Величина теплового потока при наличии отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги, Вт/м$^2$ | 59 | 51 | 35 | 25 |
| Доля снижения теплового потока при устройстве теплоотражающего покрытия с алюминиевой фольгой, % | 48,7 | 41,4 | 28,6 | 19,4 |

Для повышения теплозащиты наружных ограждающих конструкций широко применяются замкнутые воздушные прослойки, располагаемые в толще ограждений. Применение покрытий из алюминиевой фольги на поверхности этих прослоек позволяет увеличить их теплозащитные свойства за счет снижения лучистого теплообмена между поверхностями, расположенными перпендикулярными направлению проходящего через ограждение теплового потока.

С теплотехнической точки зрения воздушные прослойки толщиной 20–50 мм целесообразно располагать ближе к холодной стороне наружного ограждения.

Для этих видов замкнутых воздушных прослоек проведены теплотехнические расчеты термического сопротивления при отсутствии и наличии покрытий из отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги на поверхностях замкнутых воздушных прослоек. Результаты расчета приведены в таблице 8.2.

Таким образом, установка покрытия из отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги в замкнутой воздушной прослойке позволяет увеличить ее термическое сопротивление на 0,25–0,33 м$^2$·°С/Вт. Наличие трех-четырех рядов теплоизоляционных воздушных прослоек толщиной 20–50 мм, расположенных друг за другом вдоль ограждения в зоне конструкционно-теплоизоляционных слоев, приводит к возрастанию термического сопротивления наружного ограждения без использования эффективного утеплителя в теплоизоляционном слое.

Таблица 8.2 – **Эффективность использования отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги на поверхности замкнутых воздушных прослоек**

| Толщина замкнутой воздушной прослойки, м | Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, м$^2$·°С/Вт | | |
|---|---|---|---|
| | Воздушная прослойка без отражательной теплоизоляции $R$ | Воздушная прослойка с покрытием из отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги $R_{т.о}$ | Прирост термического сопротивления прослойки при установке покрытия из отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги $\Delta R = R_{т.о} - R$ |
| 0,02 | 0,15 | 0,4 | 0,25 |
| 0,03 | 0,16 | 0,43 | 0,27 |
| 0,05 | 0,17 | 0,5 | 0,33 |

Теплотехнический расчет индивидуального жилого дома с наружными ограждениями с теплоотражающей замкнутой воздушной прослойкой,

расположенной с внутренней стороны наружных стен, приведен в А.2 приложения А.

При разработке надежных конструктивных решений наружных ограждений с системой параллельно расположенных теплоотражающих экранов допускается реализация инновационных энергоэффективных конструкций стен со сниженным расходом малотеплопроводных утеплителей для повышения теплозащиты зданий.

Расчет теплозащитных характеристик слоистой конструкции наружной стены с системой замкнутых воздушных прослоек с поверхностями, имеющими различные коэффициенты излучения, приведен для конструктивной схемы наружной стены в А.3 приложения А (Схема многослойной стеновой панели с тремя замкнутыми воздушными прослойками, расположенными между слоями из керамзитобетона).

## Приложение А

## Примеры расчета теплотехнических и энергетических характеристик ограждающих конструкций с применением отражательной теплоизоляции

### А.1 Производственно-складское здание

А.1.1 Производственно-складское здание запроектировано и построено в г. Переславле-Залесском Ярославской области. Согласно СП 131.13330 «Строительная климатология» расчетные климатические параметры района строительства следующие:

- расчетная температура наружного воздуха в холодный период года $t_н$ (равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92) $t_н = –31$ °С;

- средняя температура отопительного периода $t_{от} = –4$ °С;

- продолжительность отопительного периода $Z_{от} = 221$ сут.

Расчетную температуру внутреннего воздуха помещения склада принимают $t_в = 10$ °С согласно [12]. Величину градусо-суток отопительного периода (ГСОП) определяют по формуле (5.2) СП 50.13330.2012:

$$ГСОП = (t_в – t_{от})\, z_{от} = (10 – (–4))\, 221 = 3094 \text{ °С·сут.}$$

Помещение склада имеет размеры в плане 18 × 57,9 м, высоту 10,2 м. Стены складского здания выполнены из оцинкованного профилированного листа ВС 18 (высота профиля 18 мм).

Кровля складского здания выполнена из стального оцинкованного профилированного листа ВН 45 (высота профиля 45 мм). К внутренней поверхности профилированных листов (точнее, полок профилей, обращенных внутрь помещения) прикреплен теплозащитный слой вспененного утеплителя толщиной 60 мм, состоящий из слоя вспененного пенополиэтилена, покрытого с внутренней стороны ограждения помещения отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги.

Наружные вертикальные ограждения (стены) здания включают два теплозащитных слоя: слой пенополиэтилена ($\lambda_Б$ = 0,47 Вт/( м$^{2}$·$^{o}$С)) толщиной 60 мм, покрытого изнутри алюминиевой фольгой, и прерывистую замкнутую воздушную прослойку, толщиной 16,5 мм и шириной 90 мм, образованную наружным профилированным металлическим листом ВС 18 и наружной поверхностью пенополиэтиленового слоя, примыкающего к профилированному листу.

Слой пенополиэтилена, покрытый изнутри алюминиевой фольгой, имеет сопротивление теплопередаче

$$R_o^{пэ} = R_в^{к+л} + R_{ут} + R_н^{к+л} = 0,256 + 1,28 + 0,043 = 1,58 \text{ (м}^2\cdot^o\text{С)/Вт},$$

где $R_в^{к+л}$ = 1/(3,55 + 0,35) = 0,256 (м$^{2}$·$^{o}$С)/Вт;

$R_{ут}$ = 0,06/0,047 = 1,28 (м$^{2}$·$^{o}$С)/Вт;

$R_н^{к+л}$ = 1/23 = 0,043 (м$^{2}$·$^{o}$С)/Вт.

Термическое сопротивление воздушной прослойки толщиной 16,5 мм и шириной 90 мм, образованной гофром профильного листа $R_{в.п}$ = 0,24 (м$^{2}$·$^{o}$С)/Вт. Тогда

$$R_o^{пэ+в.л} = R_o^{пэ} + R_{в.л} = 1,58 + 0,24 = 1,82 \text{ (м}^2\cdot^o\text{С)/Вт}$$

и приведенное сопротивление теплопередаче стены с учетом прерывистости замкнутой воздушной прослойки

$$R_o^{ст} = 1,82 \cdot 0,7 + 1,58 \cdot 0,3 = 1,75 \text{ (м}^2\cdot^o\text{С)/Вт}.$$

Образованное таким образом наружное ограждение здания включает слой пенополиэтилена толщиной 60 мм, покрытого изнутри алюминиевой фольгой ($R_{ут}$ = 1,58 м$^{2}$·$^{o}$С/Вт), и воздушную прослойку толщиной 16,5 мм и шириной 90 мм ($R_{в.п}$ = 0,24 м$^{2}$·$^{o}$С/Вт). Сопротивление теплопередаче такого ограждения $R_{ост}$ = 1,75 м$^{2}$·$^{o}$С/Вт.

Входные ворота и дверь – металлические утепленные с сопротивлением теплопередаче $R_o^{пр}$ = 0,86 м$^{2}$·$^{o}$С/Вт.

### А.1.2 Геометрические характеристики здания и его ограждающих конструкций

Отапливаемая площадь – $A_h$ = 18 × 57,9 = 1042 м$^2$.

Отапливаемый объем $V_h$ = 1042 × 10,2 = 10628 м$^3$.

Площадь стен с проемами $A_{ст+дв}$ = 2 (18+57,9)·10,2 = 1548 м$^3$.

Площадь ворот и двери $A_{дв}$ = 5×6,9+1,45×2,9 = 38,7 м$^2$.

Площадь наружных стен $A_{ст}$ = 1548 – 38,7 = 1509 м$^2$.

Площадь покрытия $A_{кр}$ = 1042 м$^2$.

Площадь пола по грунту $A_{пол}$ = 1042 м$^2$.

### А.1.3 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен, покрытия, пола по грунту

Наружные стены производственно-складского здания включают следующие стыковочные расчетные элементы:

- примыкание стен к цоколю;
- примыкание стен к покрытию;
- наружные углы стен;
- примыкание стен к заполнениям наружных ворот и дверей.

Основной расчетный участок – плоский элемент – стена по глади (зона, удаленная от элементов теплотехнических неоднородностей).

Для расчета приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен рассмотрены следующие элементы:

- плоский элемент 1 – пенофол (слой пенополиэтилена, покрытый с одной стороны алюминиевой фольгой), закрепленный на внутренних полках профилированного стального листа с расположением теплоотражающего слоя из алюминиевой фольги внутрь помещения;
- линейный элемент 1 – примыкание стеновой конструкции к горизонтальному торцу массивного цоколя;

- линейный элемент 2 – примыкание стеновой конструкции с тепловым отражением к кровельной конструкции с тепловым отражением;

- линейный элемент 3 – угловое соединение наружных стен с тепловым отражением;

- линейный элемент 4 – примыкание наружной стены с тепловым отражением к заполнению наружных ворот или двери.

### А.1.4 Геометрические характеристики элементов наружных стен

Все фасады здания, включая проемы, имеют общую площадь 1548 м$^2$.

Проемы фасадов заполнены наружными воротами площадью 34,5 м$^2$ и входной дверью площадью 4,2 м$^2$.

Площадь стен без проемов для расчета $R_o^{тр}$ составляет 38,7 м$^2$.

Линейный элемент 1 – примыкание стены к цоколю; длина сопряжения стен с цоколем

$$L_1 = (18 + 57{,}9)\ 2 = 151{,}8 \text{ м}.$$

Длина сопряжения стен с цоколем, приходящаяся на 1 м площади стен:

$$l_1 = 151{,}8/1509 = 0{,}1 \text{ м}^{-1}.$$

Линейный элемент 2 – примыкание наружных стен к покрытию

$$L_2 = 151{,}8 \text{ м}; \ l_2 = 0{,}1 \text{ м}^{-1}.$$

Линейный элемент 3 – угловое соединение наружных стен:

$$L_3 = 10{,}2 \times 4 = 40{,}8 \text{ м (4 наружных угла)};$$

$$l_3 = 40{,}8/1509 = 0{,}027 \text{ м}^{-1}.$$

Линейный элемент 4 – примыкание наружной стены к воротам и входной двери:

$L_4 = 6{,}9 \times 2 + 5 + 2{,}9 \times 2 + 2{,}1 = 18{,}8 + 7{,}9 = 26{,}7$ м ; $l_4 = 26{,}7/1509 = 0{,}018$ м$^{-1}$.

### А.1.5 Расчет удельных потерь теплоты, обусловленных элементами

Коэффициент теплопередачи однородной части стены $U_1$, Вт/(м$^2$·°С), (удельные потери теплоты через плоский элемент 1) рассчитывают по формуле

$$U_1 = 1/R_o^{усл} = 1/1{,}75 = 0{,}571 \text{ Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{C)}.$$

Удельные потери теплоты линейных элементов определяются по таблицам [13].

Удельные потери теплоты $\psi_1$, Вт/(м·°С), линейного элемента 1 принимают по [13, таблица 9] для примыкания наружной стены к неутепленному цоколю.

Параметры, влияющие на потери теплоты через узел (линейный элемент 1):

- теплопроводность утеплителя стены $\lambda_{ут} = 0{,}047$ Вт/(м·°С);

- толщина утеплителя стены $\delta_{ут} = 60$ мм.

В [13, таблица 9] приведены расчеты, выполненные для $\lambda_{ут} = 0{,}047$ Вт/(м·°С) и $\delta_{ут} = 60$ мм.

Удельные потери теплоты на основе данных по проекту $\psi_1 = 2{,}05$ Вт/(м·°С).

Удельные потери теплоты линейного элемента 2 (примыкание стены к покрытию) принимают по [13, таблица 16].

Параметры, влияющие на потери теплоты через узел (линейный элемент 2):

- теплопроводность утеплителя стены $\lambda_{ут} = 0{,}047$ Вт/(м·°С);

- толщина утеплителя стены $\delta_{ут} = 60$ мм.

В [13, таблица 16] приведены расчеты, выполненные для $\lambda_{ут} = 0{,}047$ Вт/(м·°С) и $\delta_{ут} = 60$ мм.

Удельные потери теплоты на основе данных по проекту $\psi_2 = 0{,}032$ Вт/(м·°С).

Удельные потери теплоты линейного элемента 3 (наружный угол наружных стен) принимают по [13, таблица 6].

Параметры, влияющие на потери теплоты через наружный угол 1 (линейный элемент 3):

- теплопроводность утеплителя стены $\lambda_{ут} = 0{,}047$ Вт/(м·°С);

- толщина утеплителя стены $\delta_{ут}$ = 60 мм.

В [13, таблица 6] приведены расчеты, выполненные для $\lambda_{ут}$ = 0,047 Вт/(м·°С) и $\delta_{ут}$ = 60 мм.

Удельные потери теплоты на основе данных по проекту $\psi_3$ = 0,0385 Вт/(м·°С).

Удельные потери теплоты линейного элемента 4 (примыкание наружной стены к воротам) допускается принимать по [13, таблица 2].

Параметры, влияющие на потери теплоты через примыкание стены к воротам (линейный элемент 4):

- теплопроводность утеплителя стены $\lambda_{ут}$ = 0,047 Вт/(м·°С);

- толщина утеплителя стены $\delta_{ут}$ = 60 мм.

В [13, таблица 11] приведены расчеты, выполненные для $\lambda_{ут}$ = 0,047 Вт/(м·°С) и $\delta_{ут}$ = 60 мм.

Удельные потери теплоты на основе данных по проекту $\psi_4$ = 0,6 Вт/(м · °С).

Результаты расчетов приведенного сопротивления теплопередаче стены сведены в таблицу А.1 в соответствии с приложением Е СП 50.13330.2012.

Таблица А.1

| Элемент конструкции | Удельный геометрический показатель | Удельные потери теплоты | Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м$^2$ · °С) | Доля общего потока теплоты через фрагмент, % |
|---|---|---|---|---|
| Плоский элемент 1 | $a_1$ = 1 м/м$^2$ | $U_1$ = 0,571 Вт/(м$^2$·°С) | $U_1a_1$ = 0,571 | 72,18 |
| Линейный элемент 1 | $l_1$= 0,1 м/м$^2$ | $\psi_1$ = 2,05 Вт/(м ·°С) | $\psi_1 l_1$ = 0,205 | 25,92 |
| Линейный элемент 2 | $l_2$ = 0,1 м/м$^2$ | $\psi_2$ = 0,032 Вт/(м·°С) | $\psi_2 l_2$ = 0,0032 | 0,404 |
| Линейный | $l_3$ = 0,027 м/м$^2$ | $\psi_3$ = 0,0385 | $\psi_3 l_3$ = 0,001 | 0,13 |

| Элемент конструкции | Удельный геометрический показатель | Удельные потери теплоты | Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м² · °С) | Доля общего потока теплоты через фрагмент, % |
|---|---|---|---|---|
| элемент 3 | | Вт/(м·°С) | | |
| Линейный элемент 4 | $l_4$ = 0,018 м /м² | $\psi_4$ = 0,6 Вт/(м·°С) | $\psi_4 l_4$ = 0,0108 | 1,37 |
| | | | Итого: $1/R_o^{пр}$ = 0,791 | 100 |

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен определяется по формуле (Е.1) СП 50.13330.2012.

$R_{пр}$ = 1/(0,571 + 0,205 + 0,0032 + 0,001 + 0,0108 ) = 1/0,791 = 1,26 м²·°С/Вт.

Коэффициент теплотехнической однородности

$$r = 0{,}571/0{,}791 = 0{,}722.$$

**А.1.6 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче покрытия**

Покрытие здания включает следующие расчетные элементы:

- плоский элемент 1 – покрытие здания: площадь покрытия 1042 м²;

- периметр покрытия $L_2$ = 151,8м;

$R_o^{усл}$ = 1,75 м²·°С/Вт; $U_1$ = 1/1,75 = 0,571 Вт/(м²·°С);

- линейный элемент 1 – примыкание к наружным стенам: удельная геометрическая характеристика $l_1$ = 151,8/1042 = 0,146м$^{-1}$;

- теплопроводность утеплителя покрытия $\lambda_{ут}$ = 0,047 Вт/(м·°С);

- толщина утеплителя стены $\delta_{ут}$ = 60 мм.

Удельные потери теплоты для линейного элемента 1 (примыкание покрытия к стене) $\psi_1$, Вт/(м·°С), принимаются для $\lambda_{ут}$ = 0,047 Вт/(м·°С), $\delta_{ут}$ = 60 мм по [13, таблице 2] $\psi_1$ = 0,032 Вт/(м·°С).

Результаты расчетов сведены в таблицу А.2.

Таблица А.2

| Элемент конструкции | Удельный геометрический показатель | Удельные потери теплоты, Вт/(м$^2$·°С) | Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м$^2$·°С). | Доля общего потока теплоты через фрагмент, % |
|---|---|---|---|---|
| Плоский элемент 1 | $a_1$ = 1 м/м$^2$ | $U_1$ = 0,571 | $U_1a_1$ = 0,571 | 99,2 |
| Линейный элемент 1 | $l_1$ = 0,146 м/м$^2$ | $\psi_1$ = 0,032 | $\psi_1 l_1$ = 0,0047 | 0,8 |
| | | | $1/R_o^{пр}$ = 0,5757 | 100 % |

Приведенное сопротивление теплопередаче покрытия определяют по формуле (Е.1) СП 50.13330.2012:

$$R_o^{пр} = 1/(0,571+ 0,047) = 1/0,5757 = 1,74 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{С/Вт}.$$

Коэффициент теплотехнической однородности равен $r$ = 0,571/0,5757 = 0,992.

**А.1.7 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче цокольного перекрытия (пола по грунту)**

Пол по грунту производственно-складского здания включает следующие расчетные элементы:

а) плоский элемент 1 – пол по грунту, примыкающий к цоколю: площадь пола 1042 м$^2$, наружный периметр площади пола $L_1$ = 151,8 м.

Сопротивление теплопередаче пола по грунту определяется по методике, приведенной в СП 50.13330. Для этой цели пол по грунту ($A_{пол}$ = 1042 м$^2$) разбивается на зоны шириной 2 м, начиная от внутренней поверхности наружных стен ($\lambda_{ут}$ = 0,047 Вт/(м·°С)), $\delta_{ут}$ = 60 мм.

Площади зон и их сопротивление теплопередаче:

- зона I $A_I$ = 288 м$^2$; $R_I$ = 2,1 м$^2$·°С/Вт;

- зона II $A_{II}$ = 256 м$^2$; $R_I$ = 4,3 м$^2$·°С/Вт;

- зона III $A_{III}$ = 224 м$^2$; $R_I$ = 8,6 м$^2$·°С/Вт;

- зона IV $A_{IV}$ = 274 м$^2$; $R_I$ = 14,2 м$^2$·°С/Вт.

Сопротивление теплопередаче по грунту равно

$$R_o^{усл} = 1042/(288/2,1 + 256/4,3 + 224/8,6 + 274/14,2) = 4,3 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{С/Вт},$$

$$U_1 = 1/4,3 = 0,233 \text{ Вт/(м·°С)};$$

б) линейный элемент 1 – примыкание пола по грунту к наружным стенам.

Удельная геометрическая характеристика $l_1$ = 151,8/1042 = 0,146 м$^{-1}$.

Удельные потери теплоты для линейного элемента 1 (примыкание пола по грунту к стене) $\psi_1$, Вт/(м·°С), определенные согласно данным по [13, таблица 11], равны $\psi_1$ = 2,05 Вт/(м·°С).

Результаты расчетов сведены в таблицу А.3.

Таблица А.3

| Элемент конструкции | Удельный геометрический показатель | Удельные потери теплоты, Вт/(м$^2$·°С) | Удельный поток теплоты обусловленный элементом, Вт/(м$^2$·°С). | Доля общего потока теплоты через фрагмент, % |
|---|---|---|---|---|
| Плоский элемент 1 | $a_1$ = 1 м/м$^2$ | $U_1$ = 0,233 | $U_1a_1$ = 0,233 | 43,8 |
| Линейный элемент 1 | $l_1$ = 0,146 м/м$^2$ | $\psi_1$ = 2,05 | $\psi_1 l_1$ = 0,299 | 56,2 |
| | | | $1/R_o^{пр}$ = 0,532 | 100 % |

Приведенное сопротивление теплопередаче пола по грунту определяется по формуле (Е.1) СП 50.13330.2012.

$$R_o^{пр} = 1/(0,233 + 0,299) = 1/0,532 = 1,88 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{С/Вт}.$$

Коэффициент теплотехнической однородности равен

$$r = 0,233/0,532 = 0,438.$$

Наружные ворота и входная дверь здания – металлические утепленные $R_o^{тр} = 0{,}86$ м$^2$·°С/Вт.

Площадь наружных ворот и входной двери здания $A_{дв} = 38{,}7$ м$^2$.

Отапливаемый объем здания $V = 10628$ м$^3$.

### А.1.8 Удельная теплозащитная характеристика здания

Удельную теплозащитную характеристику здания $k_{об}$, Вт/(м$^3$·°С), рассчитывают по формуле (Ж.1) СП 50.13330.2012:

$$k_{об} = (1/V_{от})\Sigma(n_{ti} \cdot A\text{i}/ R_{o.i}^{тр}),$$

$$k_{об} = (1/10628)(1509/1{,}26 + 1042/1{,}74 + 1042/1{,}88 + 38{,}7/0{,}86) =$$

$$= 0{,}225 \text{ Вт/(м}^3\text{·°С)}.$$

Для производственно-складского здания ($t_в = 10$ °С), построенного в г. Переславль-Залесском, $t_{от} = -4$ °С; $z_{от} = 221$ сут; ГСОП = 3094 °С·сут.

Согласно таблице 7 СП 50.13330.2012 для $V_{от} = 10628$ м$^3$ и ГСОП = 3094 °С· сут:

$$k_{об}^{тр} = (0{,}16 + 10/\sqrt{V_{от}})/(0{,}00013 \cdot \text{ГСОП} + 0{,}61) = (0{,}16 + 10/\sqrt{10628})/$$

$$(0{,}00013 \times 3094 + 0{,}61) = 0{,}254 \text{ Вт/(м}^3\text{·°С)}$$

Поскольку $k_{об} = 0{,}225$ Вт/(м$^3$·°С) < $k_{об}^{тр} = 0{,}254$ Вт/(м$^3$·°С) ($k_{об}$ меньше нормируемой величины $k_{об}$ на 11,4 %), удельная теплозащитная характеристика рассматриваемого здания удовлетворяет требованиям СП 50.13330.

Сопротивление теплопередаче зон стены, в которых пенофол контактирует с полками профилированного листа, с учетом отражающих свойств покрытия из алюминиевой фольги, равно

$$R_{о.ст} = R_в + R_{п.ф} + R_н = 0{,}256 + 1{,}28 + 0{,}043 = 1{,}58 \text{ м}^2\text{·°С/Вт}$$

В этом случае температура внутренней поверхности стены равна

$$\tau_в = 10 - (10 + 31)/(1{,}58 \cdot 3{,}9) = 3{,}35 \text{ °С}.$$

Температура точки росы при $t_в = 10$ °С; $\varphi_в = 40$ % – $t_р = -2{,}62$ °С.

Следовательно, при расчетных условиях $\tau_в$ = 3,35 °С > $t_р$ = –2,62 °С – конденсат на внутренней поверхности стены не выпадет, что удовлетворяет требованиям СП 50.13330.

## А.2 Одноэтажный жилой дом на одну семью для применения на территории Российской Федерации

А.2.1 Одноэтажный жилой дом запроектирован для строительства в г. Владимире. Расчетные климатические параметры района строительства приняты по СП 131.13330:

- расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, $t_н$ = –28 °С;

- средняя температура отопительного периода $t_{от}$ = –3,5 °С;

- продолжительность отопительного периода $z_{от}$ = 213 сут;

- расчетная температура внутреннего воздуха жилого здания $t_в$ = 20 °С.

На основе климатических характеристик района строительства и микроклимата здания по формуле (5.2) СП 50.13330.2012 рассчитывают величину ГСОП:

$$ГСОП = (t_в – t_{от})\, z_{от} = (20 – (–3,5))213 = 5006 \text{ °С·сут}.$$

Проектируемый одноэтажный жилой дом с холодным чердаком имеет в плане прямоугольную форму с размерами по наружным стенам 9,46 × 9 м, высота помещений от пола до потолка 2,5 м. В состав помещений входят гостиная, две спальни, кухня, совмещенный санузел, холл, коридор. Жилая площадь – 41,42 м$^2$.

Полы помещений – ламинат в жилых помещениях, керамическая плитка в кухне, санузле – выполнены по монолитной железобетонной плите толщиной 200 мм, уложенной на песчаной подушке из уплотненного среднезернистого песка. Между слоем пола и несущей железобетонной плитой уложены слои

пенополистирола толщиной 100 мм и уплотненного песка толщиной 100 мм. По внутреннему периметру наружных стен утепление пола выполнено в виде полосы шириной 750 мм и толщиной 200 мм.

Наружные стены представляют собой кладку из газобетонных блоков толщиной 300 мм с внутренним утеплением многослойной системой, включающей отражательную теплоизоляцию (алюминиевую фольгу), расположенную на внутренней поверхности воздушной прослойки. Теплоизоляционная система состоит из следующих слоев, начиная от внутренней поверхности газобетонной кладки: пенополистирол ПСБ-С-25 толщиной 40 мм, теплопароизоляция «Армофол»/«Пенофол 2000» толщиной 5 мм, воздушная прослойка 27 мм, гипсокартонные листы ГКЛ толщиной 12,5 мм по металлическому каркасу.

Чердачное перекрытие выполнено из железобетонных плит толщиной 160 мм с утеплением из пенополистирола ПСБ-С-25 толщиной 150 мм, цементно-песчаной стяжкой толщиной 40 мм со стороны чердачного пространства.

Заполнение проемов выполнено из оконных блоков с переплетами из ПВХ-профилей с двухкамерными стеклопакетами и вентиляционными клапанами. Входная дверь – металлическая утепленная.

**А.2.2 Геометрические характеристики здания и его ограждающих конструкций**

Отапливаемая площадь $A_h = 8{,}86 \times 8{,}4 = 74{,}4$ м$^2$.

Отапливаемый объем $V_h = 74{,}4 \times 2{,}5 = 186$ м$^3$.

Площадь стен с проемами $A_{ст+ок+дв} = (8{,}86 + 8{,}4) \times 2 \times 2{,}5 = 86{,}3$ м$^2$.

Площадь окон $A_{ок} = 1{,}3 \times 1{,}5 \times 3 + 1{,}8 \times 1{,}5 = 5{,}85 + 2{,}7 = 8{,}6$ м$^2$.

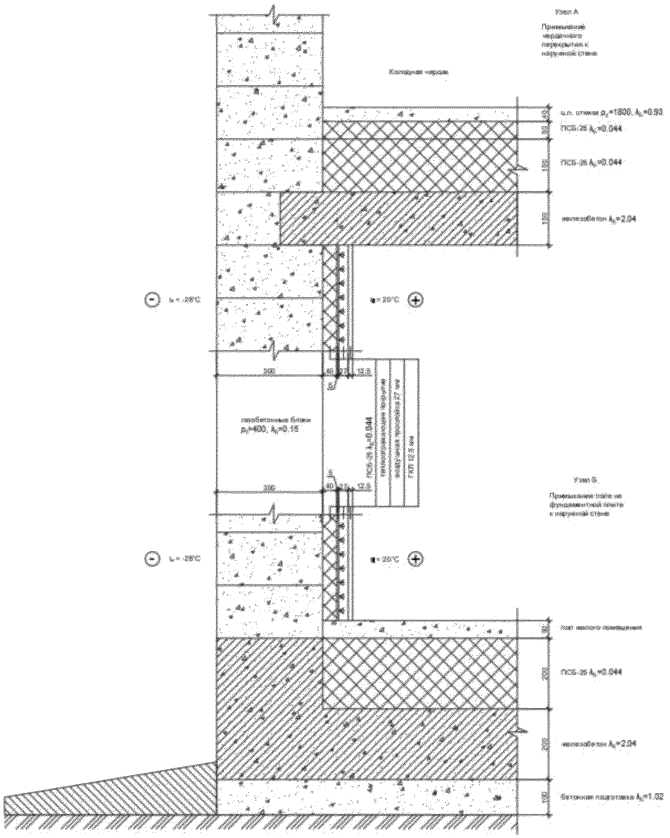


***Рисунок А.1*** **– Узел примыкания наружной стены одноэтажного жилого дома к покрытию и полу по грунту**

Площадь двери $A_{дв} = 2{,}1 \times 1 = 2{,}1$ м$^2$.

Площадь стен $A_{ст} = 86{,}3 - 8{,}6 - 2{,}1 = 75{,}6$ м$^2$.

Площадь чердачного перекрытия $A_{ч.п} = 74{,}4$ м$^2$.

Площадь пола по грунту $A_{пол} = 74{,}4$ м$^2$.

**А.2.3 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждений (согласно приложению Е СП 50.13330.2012)**

Наружные стены площадью $A_{ст}$ = 75,6 м$^2$, включающие следующие слои, начиная с внутренней стороны:

- гипсокартонные листы ($\rho_0$ = 1050 кг/м$^3$, $\lambda_Б$ = 0,36 Вт/(м·°С)) – 12,5 мм;

- невентилируемая воздушная прослойка с теплоотражающим покрытием из алюминиевой фольги $R_{в.п}$ = 0,53 м$^2$·°С/Вт – 50 мм;

- пенофол ($\rho_0$ = 25 кг/м$^3$, $\lambda_Б$ = 0,044 Вт/(м·°С )) – 40 мм;

- кладка из газобетонных блоков ($\rho_0$ = 400 кг/м$^3$, $\lambda_Б$ = 0,15 Вт/(м·°С )) – 300 мм.

Условное сопротивление теплопередаче:

$$R^{усл}_{о.ст} = 1/8,7 + 0,0125/0,36 + 0,53 + 0,005/0,032 + 0,04/0,044 + 0,3/0,15 +$$

$$+1/23 = 3,79 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт};$$

$$U_1 = 1/ R^{усл}_{о.ст} = 1/3,79 = 0,264 \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)}.$$

Чердачное перекрытие, включающее слои, начиная с внутренней стороны:

- железобетонная плита перекрытия ($\rho_0$ = 2500 кг/м$^3$, $\lambda_Б$ = 2,04 Вт/(м·°С)) – 160 мм;

- пенополистирол $\rho_0$ = 25 кг/м$^3$, $\lambda_Б$ = 0,044 Вт/(м·°С)) – 150 мм;

- цементно-песчаная стяжка $\rho_0$ = 1800 кг/м$^3$, $\lambda_Б$ = 0,93 Вт/(м·°С)) – 40 мм;

$$R^{усл}_{о.ч.п} = 1/8,7 + 0,16/2,04 + 0,15/0,044 + 0,04/ 0,93 + 1/23 = 3,69 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт};$$

$$U_1 = 1/ R^{усл}_{о.ч.п} = 1/3,69 = 0,271 \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)}.$$

Пол по грунту площадью $A_{пол}$ = 74,4 м$^2$, утепленный пенополистирольными плитами, ($\rho_0$ = 40 кг/м$^3$, $\lambda_Б$ = 0,046 Вт/(м·°С)).

Определение приведенного сопротивления теплопередаче ограждений, контактирующих с грунтом, осуществляется по методике, приведенной в СП 50.13330. Для этой цели пол по грунту (площадью $A_{пол}$ = 74,4 м$^2$) разбивается на зоны шириной 2 м, начиная от внутренней поверхности наружных стен.

Площади зон и их сопротивления теплопередаче:

- зона I: $A_I = 53$ м$^2$; $R_I = 2,1 + 0,15/0,046 = 5,36$ м$^2$·°С/Вт;

- зона II: $A_{II} = 21,4$ м$^2$; $R_{II} = 4,3 + 0,1/0,046 = 6,47$ м$^2$·°С/Вт.

Сопротивление теплопередаче пола по грунту:

$$R^{усл}_{о.пол} = 74,4/(53/5,36 + 21,4/6,47) = 5,64 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт};$$

$$U = 1/R^{усл}_{о.пол} = 1/5,64 = 0,177 \text{ Вт/(м}^2\text{·°С)}.$$

Окна площадью $A_{ок} = 8,6$ м$^2$ выполнены из профилей ПВХ с заполнением двухкамерными стеклопакетами СПД 4М1-12-4М$_1$-12-4М1, $R^{пр}_{о.ок} = 0,54$ м$^2$·°С/Вт.

Входная дверь площадью $A_{дв} = 2,1$ м$^2$, металлическая утепленная, $R^{пр}_{о.дв} = 0,86$ м$^2$·°С/Вт.

### А.2.4 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стен

А.2.4.1 Наружные стены коттеджа включают следующие стыковочные элементы:

- стыки стен с оконными блоками и наружной входной дверью;

- наружные углы стен;

- сопряжение стен с чердачным перекрытием;

- примыкание стен к полу по грунту.

А.2.4.2 Для расчета приведенного сопротивления теплопередаче стен рассмотрены следующие элементы:

а) плоский элемент – стена по глади (зона, удаленная от элементов теплотехнических неоднородностей):

- плоский элемент 1 – стена из газобетонных блоков, утепленная снаружи плитами из пенополистирола, с невентилируемой воздушной прослойкой с теплоотражающим покрытием из алюминиевой фольги;

б) линейные элементы:

- линейный элемент 1 – примыкание оконных блоков и наружной входной двери к стенам;

- линейный элемент 2 – угловое соединение стен;

- линейный элемент 3 – примыкание чердачного перекрытия к стенам;

- линейный элемент 4 – примыкание пола по грунту к стенам.

**А.2.5 Геометрические характеристики элементов наружных стен**

Все фасады здания, включая проемы, имеют общую площадь 86,3 м$^2$. Проемы фасадов заполнены следующими конструкциями: окнами и наружной входной дверью. Общая площадь окон 8,6 м$^2$. Наружная дверь площадью 2,1 м$^2$.

Площадь стен без проемов для расчета $R_{o.cm}^{np}$ составляет

$$A_{ст} = 86{,}3 - (8{,}6 + 2{,}1) = 75{,}6 \text{ м}^2$$

Линейный элемент 1 – примыкание окон и наружной двери к стенам

Общая длина откосов окон и наружной двери определяется по экспликации этих заполнений и равна $L_1 = 28{,}6$ м. Длина откосов, приходящихся на 1 м$^2$ площади стен, равна:

$$l_1 = 28{,}6/75{,}6 = 0{,}378 \text{ м}^{-1}.$$

Линейный элемент 2 – угловое соединение стен: $L_2 = 2{,}5 \times 4 = 10$ м (четыре наружных угла) – высота здания в месте расположения угла, умноженная на количество углов:

$$l_2 = 10/75{,}6 = 0{,}132 \text{ м}^{-1}.$$

Линейный элемент 3 – примыкание чердачного перекрытия к стенам, длина сопряжения чердачного перекрытия со стенами $L_3 = 34{,}5$ м.

$$l_3 = 34{,}5/75{,}6 = 0{,}456 \text{ м}^{-1}.$$

Линейный элемент 4 – примыкание пола по грунту к стенам;

Длина сопряжения пола по грунту со стенами $l_4 = 34{,}5$ м.

$$l_4 = 34{,}5/75{,}6 = 0{,}456 \text{ м}^{-1}.$$

Расчет удельных потерь теплоты, обусловленных элементами.

Коэффициент теплопередачи однородной части стены $U$, Вт/(м$^2$·°С) (удельные потери теплоты через плоский элемент 1):

$$U_1 = 1/R_{o.cm}^{усл} = 1/3{,}79 = 0{,}264 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С}/\text{ Вт}.$$

Удельные потери теплоты линейных и точечных элементов определяются по таблицам СП 230.1325800. Удельные потери теплоты $\psi_1$, Вт/(м·°С), линейного элемента 1 принимаются по таблице Г.38 СП 230.1325800.2015 для узла примыкания оконного блока к стене с внутренним утеплением.

Параметры, влияющие на потери теплоты через узел (линейный элемент 1):

- термическое сопротивление утеплителя в стене $R_{ут}$ = 1,6 м²·°С/Вт;

- теплопроводность кладки из газобетонных блоков $\rho_0$ = 400 кг/м³, $\lambda_о$ = 0,15 Вт/(м·°С);

- выступ за нижнюю поверхность рамы $d_н$ = 20 мм.

В таблице Г.38 СП 230.1325800.2015 приведены расчеты, выполненные для $R_{ут}$ = 1,0 и 2,5 м²·°С/Вт (на стене), $\lambda_о$ = 0,2 Вт/(м·°С).

Удельные потери теплоты, скорректированные интерполяцией на основе данных по проекту $\psi_1$ = 0,013 Вт/(м·°С).

Удельные потери теплоты линейного элемента 2 (для углов стен) принимают по таблице Г.27 СП 230.1325800.2015.

Параметры, влияющие на потери теплоты через угол стены – линейный элемент 2:

- в примечании к таблице Г.27 СП 230.1325800.2015 указано, что для стен с внутренним утеплением, как это выполнено в проекте коттеджа, учет углов стен при расчетах приведенного сопротивления теплопередаче несущественен. Следовательно, $\psi_2$ = 0.

Удельные потери теплоты линейного элемента 3 (примыкание чердачного перекрытия к наружной стене) допускается принимать по таблице Г.26 СП 230.1325800.2015.

Параметры, влияющие на потери теплоты через сопряжение (линейный элемент 3):

- термическое сопротивление утеплителя в стене $R_{ут}$ = 1,6 м²·°С/ Вт;

- толщина и теплопроводность кладки из газобетонных блоков $\rho_0$ = 400 кг/м³ – $d_о$ = 300 мм, $\lambda_о$ = 0,15 Вт/(м·°С);

- толщина плиты перекрытия $d_п$ = 160 мм

В таблице Г.26 СП 230.1325800.2015 приведены расчеты, выполненные для $R_{ут}$ = 1,6 м$^2$·°С/Вт (на стене); $d_о$ = 200 и 400 мм; $\lambda_о$ = 0,2 Вт/(м·°С); $d_п$ = 160 мм.

Удельные потери теплоты, скорректированные интерполяцией на основе данных по проекту, $\psi_3$ = 0,217 Вт/(м·°С).

Удельные потери теплоты линейного элемента 4 (примыкание пола по фундаментной плитке к наружной стене) допускается принимать по таблице Г.39 СП 230.1325800.2015.

Параметры, влияющие на потери теплоты через примыкание стены к цокольному ограждению (линейный элемент 4):

- термическое сопротивление утеплителя в цокольном ограждении

$$R_{ут} = 0,2/0,044 = 4,5 \text{ м}^2\cdot\text{°С/ Вт};$$

- толщина и теплопроводность кладки из газобетонных блоков плотностью $\rho_0$ = 400 кг/м$^3$ – $d_{кл}$ = 300 мм, $\lambda_{кл}$ = 0,15 Вт/(м·°С).

В таблице Г.39 СП 230.1325800.2015 приведены расчеты, выполненные для $R_{ут}$ = 3,13 и 5,0 м$^2$·°С/Вт (на железобетонном перекрытии), $d_{кл}$ = 300 мм, $\lambda_{кл}$ = 0,1 и 0,18 Вт/(м·°С).

Удельные потери теплоты, скорректированные интерполяцией на основе данных по проекту, $\psi_4$ = 0,097.

Результаты расчетов приведенного сопротивления теплопередаче стены сведены в таблицу А.4 в соответствии с приложением Е СП 50.13330.2015.

Таблица А.4

| Элемент конструкции | Удельный геометрический показатель | Удельные потери теплоты, Вт/(м$^2$·°С) | Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м$^2$ · °С). | Доля общего потока теплоты через фрагмент, % |
|---|---|---|---|---|
| Плоский элемент 1 | $a_1$ = 1 м/м$^2$ | $U_1$ = 0,264 | $U_1a_1$ = 0,264 | 64,08 |
| Линейный элемент 1 | $l_1$ = 0,378 м/м$^2$ | $\psi_1$ = 0,013 | $\psi_1 l_1$ = 0,0049 | 1,2 |
| Линейный элемент 2 | $l_2$ = 0,132 м/м$^2$ | $\psi_2$ = 0,0 | $\psi_2 l_2$ = 0,0 | 0 |
| Линейный элемент 3 | $l_3$ = 0,456 м/м$^2$ | $\psi_3$ = 0,217 | $\psi_3 l_3$ = 0,099 | 24,02 |
| Линейный элемент 4 | $l_4$ = 0,456 м /м$^2$ | $\psi_4$ = 0,097 | $\psi_4 l_4$ = 0,044 | 10,7 |
| | | | Итого: $1/R_o^{пр}$ = 0,412 | 100 |

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен определяют по формуле (Е.1) СП 50.13330.2012:

$$R_o^{пр} = 1/(0{,}264 + 0{,}0049 + 0{,}099 + 0{,}044) = 1/0{,}412 = 2{,}43 \text{ м}^2\cdot\text{°С/ Вт}.$$

Коэффициент теплотехнической однородности:

$$r = 0{,}264/0{,}412 = 0{,}641$$

**А.2.6 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия**

Чердачное перекрытие коттеджа включает следующие расчетные элементы:

- плоский элемент 1 – чердачное перекрытие здания: площадь перекрытия 74,4 м$^2$, периметр перекрытия $L_1$ = (8,86 + 8,4)2 = 34,5 м;

$$R_{о.ч.п}^{усл} = 3{,}69 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)}; \; U_1 = 1/3{,}69 = 0{,}271 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)};$$

- линейный элемент 1 – примыкание перекрытия к наружным стенам.

Удельная геометрическая характеристика $l_1 = 34,5/74,4 = 0,464$ м$^{-1}$.

Удельные потери теплоты для линейного элемента 1 (примыкания чердачного перекрытия к стене) $\psi_1$, Вт/(м·°С), определенные интерполяцией по таблице Г.26 СП 230.1325800.2015, равны $\psi_1 = 0,217$ Вт/(м·°С).

Результаты расчетов сведены в таблицу А.5.

Приведенное сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия определяется по формуле (Е.1) СП 50.13330.2012:

$$R_o^{пр} = 1/(0,271 + 0,1) = 1/0,371 = 2,69 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт}.$$

Коэффициент теплотехнической однородности:

$$r = 0,271/0,371 = 0,73.$$

Таблица А.5

| Элемент конструкции | Удельный геометрический показатель | Удельные потери теплоты, Вт/(м$^2$·°С) | Удельный поток теплоты обусловленный элементом, Вт/(м$^2$·°С). | Доля общего потока теплоты через фрагмент,% |
|---|---|---|---|---|
| Плоский элемент 1 | $a_1 = 1$ м/м$^2$ | $U_1 = 0,271$ | $U_1 a_1 = 0,271$ | 73,05 |
| Линейный элемент 1 | $l_1 = 0,464$ м/м$^2$ | $\psi_1 = 0,217$ | $\psi_1 1_1 = 0,1$ | 26,95 |
| | | | $1/R_o^{пр} = 0,371$ | 100 % |

**А.2.7 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче цокольного перекрытия (пола по грунту)**

Пол по грунту коттеджа включает следующие расчетные элементы:

- плоский элемент 1 – пол по грунту, утепленный пенополистирольными плитами: площадь пола 74,4 м$^2$, наружный периметр площади пола, равный

$L_1 = 34,5$м, $R_{o.пол}^{усл} = 5,64$ м$^2$·°С/Вт; $U_1 = 1/5,64 = 0,177$ Вт/(м$^2$·°С);

- линейный элемент 1 – примыкание пола по грунту к наружным стенам.

Удельная геометрическая характеристика $l_1 = 34,5/74,4 = 0,464$ м$^{-1}$.

Удельные потери теплоты для линейного элемента 1 (примыкание пола по грунту к стене) $\psi_1$, Вт/(м·°С), определенные интерполяцией по таблице Г.26 СП 230.1325800.2015, равны $\psi_1 = 0,217$ Вт/(м$^2$·°С).

Результаты расчетов сведены в таблицу А.6.

Таблица А.6

| Элемент конструкции | Удельный геометрический показатель | Удельные потери теплоты, Вт/(м$^2$·°С) | Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м$^2$·°С). | Доля общего потока теплоты через фрагмент, % |
|---|---|---|---|---|
| Плоский элемент 1 | $a_1 = 1$ м/м$^2$ | $U_1 = 0,177$ | $U_1 a_1 = 0,177$ | 63,9 |
| Линейный элемент 1 | $l_1 = 0,464$ м/м$^2$ | $\psi_1 = 0,217$ | $\psi_1 l_1 = 0,1$ | 36,1 |
| | | | $1/R_o^{пр} = 0,277$ | 100 % |

Приведенное сопротивление теплопередаче пола по грунту определяется по формуле (Е.1) СП 50.13330.2012:

$$R_o^{пр} = 1/(0,177 + 0,1) = 1/0,277 = 3,61 \text{ м}^2\cdot\text{°С/ Вт}$$

Коэффициент теплотехнической однородности равен

$$r = 0,177/0,277 = 0,639$$

Оконные проемы коттеджа заполнены оконными блоками, выполненными из ПВХ-профилей с остеклением двухкамерными стеклопакетами СПД 4М1-12-4М1-12-4М1:

$$A_{ок} = 8,6 \text{ м}^2;\ R_o^{пр} = 0,54 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт};\ \tau_{1ок} = 0,8;\ k_{ок} = 0,74.$$

Входная дверь – металлическая утепленная:

$A_{дв} = 2{,}1$ м$^2$; $R_o^{тр} = 0{,}86$ м$^2$·°С/Вт.

Отапливаемый объем здания $V_{от} = 186$ м$^3$

Удельную теплозащитную характеристику здания $k_{об}$, Вт/(м$^3$·°С), рассчитывают по формуле (Ж.1) СП 50.13330.2012:

$$k_{об} = (1/V_{от})\Sigma(n_{ti} \cdot A_i / R_{oi}^{тр}),$$

$$k_{об} = (1/186)(75{,}6/2{,}43 + 74{,}4/3{,}06 + 74{,}4/3{,}61 + 74{,}4/3{,}61 + 8{,}6/0{,}54 +$$

$$+ 2{,}1/0{,}86) = 0{,}617 \text{ Вт/(м}^3\text{·°С)}.$$

Для г. Владимира $z_{от} = 213$ сут, $t_{от} = -3{,}5$°С.

ГСОП $= (t_в - t_{от})\, z_{от} = (20 - (-3{,}5)) \cdot 213 = 5006$ °С·сут/год.

Согласно таблице 7 СП 50.13330.2012 для $V_{от} = 186$ м$^3$ и ГСОП = 5006 °С·сут/год:

$$k_{об}^{тр} = [4{,}74/(0{,}00013 \cdot \text{ГСОП} + 0{,}61)](1/\sqrt[3]{V_{от}}) = [4{,}74/(0{,}00013 \cdot 5006 +$$

$$0{,}61)] \times (1/\sqrt[3]{186}) = 0{,}659 \text{ Вт/(м}^3\text{·°С)}.$$

Поскольку $k_{об} = 0{,}617$ Вт/(м$^3$·°С) $< k_{об}^{тр} = 0{,}659$ Вт/(м$^3$·°С) ($k_{об}$ меньше нормируемой величины $k_{об}^{тр}$ на 19 %), удельная теплозащитная характеристика рассматриваемого здания удовлетворяет требованиям СП 50.13330.

### А.2.8 Расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию

Расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания $q_{от}^{р}$, Вт/(м$^3$·°С), следует определять по формуле (Г.1) СП 50.13330.2012:

$$q_{от}^{р} = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад})\,\nu\zeta](1 - \xi)\beta_h,$$

где $k_{об}$ – удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м$^3$·°С), определяется в соответствии с приложением Ж СП 50.13330.2012;

$k_{вент}$ – удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/(м$^3$·°С);

$k_{быт}$ – удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, Вт/(м$^3$·°С);

$k_{рад}$ – удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м$^3$·°С);

$\xi$ – коэффициент, учитывающий снижение теплопотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление, при отсутствии данных $\xi$ равна 0,1;

$\beta_h$ – коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системы отопления; для рассматриваемого здания с квартирным генератором тепла $\beta_h$ = 1,05;

$\nu$ – коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций, определяемый по формуле

$$\nu = 0,7 + 0,000025(ГСОП - 1000) = 0,7 + 0,000025\ (5006 - 1000) = 0,8;$$

$\zeta$ – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления; $\zeta$ = 0,9 в двухтрубной системе отопления с термостатами и без авторегулирования на вводе.

Удельную вентиляционную характеристику здания $k_{вент}$ , Вт/(м$^3$·°С), определяют по формуле (Г.2 ) СП 50.13330.2012:

$$k_{вент} = 0,28\ c n_в \rho_в^{вент} \beta_в (1 - k_{эф}),$$

где $c$ – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг · °С);

$n_в$ –средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч$^{-1}$;

$\beta_в$ – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций. Принимают равным $\beta_в$ = 0,85;

$\rho_в^{вент}$ – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м$^3$, определяется по формуле (Г.3 ) СП 50.13330.2012:

$$\rho_в^{вент} = 353/(273 + t_{от}) = 353/(273 - 3,5) = 1,31 \text{ кг/м}^3,$$

здесь $t_{от}$ – средняя температура отопительного периода, °С;

$k_{эф}$ – коэффициент эффективности рекуператора, для односемейного жилого дома принимают $k_{эф}$ = 0.

Среднюю кратность воздухообмена здания за отопительный период $n_в$, определяют согласно пункту Г.3 СП 50.13330.2012:

$$n_в = L_{вент}/ \beta_v V_{от}.$$

В качестве $L_{вент}$ принимают большее из двух значений:

$$L_{вент} = 30\ m = 30 \times 3 = 90\ м^3/ч;$$

$$L_{вент} = 0{,}35 \times 2{,}5 \times A_{кв} = 0{,}35 \times 2{,}5 \times 41{,}42 = 36\ м^3/ч.$$

В данном случае первое значение больше, поэтому оно используется в расчете.

$$n_в = 90/(0{,}85 \times 186) = 0{,}569\ ч^{-1}.$$

Удельную вентиляционную характеристику здания определяют по формуле (Г.2) СП 50.13330.2012

$$k_{вент} = 0{,}28 \times 1 \times 0{,}569 \times 0{,}85 \times 1{,}31 = 0{,}177\ Вт/(м^3 \cdot °С)$$

Удельную характеристику бытовых тепловыделений здания $k_{быт}$, Вт/(м$^3$·°С), определяют по формуле (Г.6) СП 50.13330.2012:

$$k_{быт} = (q_{быт} A_ж)/[V_{от} (t_в - t_{от})],$$

где $q_{быт}$ – величина бытовых тепловыделений на 1 м$^2$ расчетной площади жилых помещений ($A_ж$);

$t_в$, $t_{от}$, $A_ж$ – см. выше.

В жилой части здания на одного жильца приходится 41,42/3 = 13,8 м$^2$, удельные бытовые выделения составят $q_{быт}$ = 17 Вт/м$^2$.

Жилая площадь квартир равна 41,42 м$^2$, следовательно

$$k_{быт} = (17 \times 41{,}42)/[186(20 + 3{,}5)] = 0{,}161\ Вт/(м^3 \cdot °С).$$

Удельную характеристику теплопоступлений в здание от солнечной радиации $k_{рад}$, Вт/(м$^3$·°С), определяют по формуле (Г.7) СП 50.13330.2012:

$$k_{рад} = 11{,}6\ Q^{год}_{рад}/(V_{от}\ ГСОП), \qquad (А2.8\ )$$

где $Q^{год}_{рад}$ – теплопоступления через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж/год, определяемые по формуле

$$Q^{год}_{рад} = \tau_{1ок}\ \tau_{2ок}\ (A_{ок1}\ I_1 + A_{ок2}\ I_2 + A_{ок3}\ I_3 + A_{ок4}\ I_4),$$

здесь $I_1 - I_4$ – средняя за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальные поверхности стен при действительных условиях облачности МДж/(м$^2$· год).

Для Владимирской области значения $I$ на вертикальные поверхности дома с ориентацией на четыре стороны света приведены в [14, таблица 3.4].

Таблица А.7

| № | Сторона света, на которую выходит окно | $A$, м$^2$ | $I$, Дж/м$^2$ | $AI$, МДж |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Юг | 4,65 | 1462 | 6798 |
| 2 | Север | 3,9 | 612 | 2387 |
| 3 | Восток | 0 | 0 | 0 |
| 4 | Запад | 0 | 0 | 0 |
| | | | | Всего: 9185 |

$$Q_s^y = 0{,}8 \times 0{,}74 \times 9185 = 5438 \text{ МДж/м}^2;$$

$$k_{\text{рад}} = 11{,}6 \times 5438/(186 \times 5006) = 0{,}0677 \text{ Вт/(м}^3\cdot{}^\circ\text{С)}.$$

Удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания $q_{от}^p$, Вт/(м$^3$·°С), определяют по формуле

$$q_{от}^p = [k_{\text{об}} + k_{\text{вент}} - (k_{\text{быт}} + k_{\text{рад}})\,\nu\zeta](1 - \xi)\beta_h;$$

$$q_{от}^p = [0{,}488 + 0{,}177 - (0{,}161 + 0{,}0677)\,0{,}8 \times 0{,}9]1 \times 1{,}05 = 0{,}525 \text{ Вт/(м}^3\cdot{}^\circ\text{С)}.$$

Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий $q_{от}^{тр}$, Вт/(м$^3$·°С), по таблице 14 СП 50.13330.2012 для одноэтажного одноквартирного жилого дома площадью 74,4 м$^2$, предназначенного для строительства во Владимирской области, равна:

$$q_{от}^{р} = 0{,}525 \leq q_{от}^{тр} = 0{,}55;$$

$$[(0{,}55 - 0{,}525)]/0{,}55 \times 100 = 4{,}5\ \%.$$

Таким образом, требование соблюдается.

Класс энергосбережения рассматриваемого здания – С (нормальный).

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $Q_{рад}^{год}$, кВт/год, определяют по приложению Г СП 50.13330.2012:

$$Q_{рад}^{год} = 0{,}024\ ГСОП\ V_{от}\ q_{от}^{р} = 0{,}024 \times 5006 \times 186 \times 0{,}525 = 11732\ кВт \cdot ч/год.$$

Общие теплопотери здания за отопительный период $Q_{общ}^{год}$, кВт · ч/год, определяют по приложению Г СП 50.13330.2012:

$$Q_{общ}^{год} = 0{,}024\ ГСОП\ V_{от}\ (k_{об} + k_{вент}) = 0{,}024 \cdot 5006 \cdot 186(0{,}488 + 0{,}177) =$$

$$= 14861\ кВт \cdot ч/год$$

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $q$, кВт·ч/(м$^2$· год), определяют по формуле (Г.9а) СП 50.13330.2012:

$$q = 0{,}024\ ГСОП\ q_{от}^{р} h = 0{,}024 \cdot 5006 \cdot 0{,}525 \cdot 2{,}5 = 157{,}7\ кВт \cdot ч/год.$$

**А.3 Теплотехнический расчет схемы многослойной стеновой панели с тремя замкнутыми воздушными прослойками, расположенными между слоями керамзитобетона**

**Схема стеновой панели**: керамзитобетонная стеновая панель толщиной 310 мм с тремя замкнутыми воздушными прослойками толщиной 50 мм, расположенными друг за другом перпендикулярно направлению теплового потока.

А.3.1 Расчетные температуры:

- внутреннего воздуха $t_{в} = +20$ ° С;

- наружного воздуха $t_{н} = -30$ ° С.

Сопротивление теплоотдаче:

- внутренней поверхности панели $R_в = 1/\alpha_в = 1/8,7 = 0,115$ м$^2$·°С/Вт;

- наружной поверхности панели $R_н = 1/\alpha_н = 1/23 = 0,043$ м$^2$·°С/Вт.

Панель выполнена из керамзитобетона на керамзитовом песке плотностью $\rho_0 = 1200$ кг/м$^3$ (расчетная теплопроводность в условиях эксплуатации Б $\lambda_Б = 0,52$ Вт/(м·°С)).

Термическое сопротивление керамзитобетонных слоев толщиной 40 мм между прослойками $R_{к.б1} = 0,04/0,52 = 0,077$ м$^2$· °С/Вт; $R_{к.б.1–4} = 0,077 \cdot 4 =$ $= 0,308$ м$^2$·°С/Вт.

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек толщиной 50 мм:

- для прослойки 1 (положительная температура воздуха в прослойке)

$$R_{вп1} = 0,14 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт};$$

- для прослойки 2 (отрицательная температура воздуха в прослойке)

$$R_{вп2} = 0,17 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт};$$

- для прослойки 3 (отрицательная температура воздуха в прослойке)

$$R_{вп3} = 0,17 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт};$$

Термическое сопротивление трех воздушных прослоек без учета коэффициентов излучения поверхностей:

$$R_{вп\ 1–3} = 0,14 + 0,17 + 0,17 = 0,48 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}.$$

Сопротивление теплопередаче слоистой конструкции без учета коэффициентов излучения поверхностей воздушных прослоек (по глади):

$$R_о = R_в + R_{к.б.1} + R_{в.п.1} + R_{к.б.2} + R_{в.п.2} + R_{к.б.3} + R_{в.п.3} + R_{к.б.4} + R_н;$$

$$R_о = 0,115 + 0,077 + 0,14 + 0,077 + 0,17 + 0,077 + 0,17 + 0,077 + 0,043 =$$

$$= 0,946 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт};$$

$$0,115 \rightarrow 0,192 \rightarrow 0,332 \rightarrow 0,409 \rightarrow 0,579 \rightarrow 0,656 \rightarrow 0,826 \rightarrow 0,903 \rightarrow 0,946;$$

Температуры поверхностей многослойной конструкции и воздушных прослоек, определяемые по формуле

$$\tau_п = t_в - (t_в - t_н)\,(R_в + \Sigma_{п-1}\,R)/R_о,$$

составят для различных поверхностей:

- внутренней поверхности стеновой панели

$$\tau_в = 20 - [20 - (-30)]0{,}115/0{,}946 = 20 - 6{,}08 = 13{,}92\ ^oC;$$

- внутренней поверхности прослойки 1

$$\tau_1^+ = 20 - 50 \cdot 0{,}192/0{,}946 = 20 - 10{,}15 = 9{,}85\ ^oC;$$

- наружной поверхности прослойки 1

$$\tau_1^- = 20 - 50 \cdot 0{,}332/0{,}946 = 20 - 17{,}55 = 2{,}45\ ^oC;$$

- внутренней поверхности прослойки 2

$$\tau_2^+ = 20 - 50 \cdot 0{,}409/0{,}946 = 20 - 21{,}62 = -1{,}62\ ^oC;$$

- наружной поверхности прослойки 2

$$\tau_2^- = 20 - 50 \cdot 0{,}579/0{,}946 = 20 - 30{,}6 = -10{,}6\ ^oC;$$

- внутренней поверхности прослойки 3

$$\tau_3^+ = 20 - 50 \cdot 0{,}656/0{,}946 = 20 - 34{,}67 = -14{,}67\ ^oC;$$

- наружной поверхности прослойки 3

$$\tau_3^- = 20 - 50 \cdot 0{,}826/0{,}946 = 20 - 43{,}66 = -23{,}66\ ^oC;$$

- наружной поверхности стеновой панели

$$\tau_н = 20 - 50 \cdot 0{,}903/0{,}946 = 20 - 47{,}33 = -27{,}73\ ^oC.$$

Для теплотехнического расчета многослойной конструкции с учетом коэффициентов излучения поверхностей воздушных прослоек принимаем коэффициенты излучения:

- абсолютно черного тела $C_0 = 5{,}76$ Вт/(м$^2 \cdot$ °C$^4$)

- керамзитобетона $C_{к.б} = 4{,}0$ Вт/(м$^2$·°C$^4$);

- алюминиевой фольги $C_{а.ф} = 0{,}5$ Вт/(м$^2$·°C$^4$).

Термическое сопротивление п-й замкнутой воздушной прослойки $R_{п.в.п}$ с учетом коэффициентов излучения поверхностей:

$$R_{п.в.п} = \frac{\tau_п^+ - \tau_п^-}{\frac{1}{\frac{1}{C_п^+} + \frac{1}{C_п^-} - \frac{1}{C_0}}\left[\left(\frac{\tau_п^+ + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\tau_п^- + 273}{100}\right)^4\right] + (\lambda_1 + \lambda_2)\frac{(\tau_п^+ - \tau_п^-)}{\delta_п}}$$

Воздушная прослойка 1: $\tau_1^+ = 9{,}85$ °С; $\tau_1^- = 2{,}45$ °С; $\tau_1^+ - \tau_1^- = 9{,}85 - 2{,}45 = 7{,}4$ °С ; при $\tau_1^+ - \tau_1^- = 7{,}4$ °С $\rightarrow \lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0809$;

$R_{в.п.1} = (9{,}85 - 2{,}45)/\{([(9{,}85 + 273)/100]^4 - [(2{,}45 + 273)/100]^4\}/(1/4 + 1/4 - 1/5{,}76) + 0{,}0809 \cdot 7{,}4/0{,}05\} = 7{,}4/[(64 - 57{,}57)/0{,}327 + 11{,}9732] = 7{,}4/31{,}6 = 0{,}234$ м$^2 \cdot$ °С/Вт.

Воздушная прослойка 2: $\tau_2^+ = -1{,}62$ °С; $\tau_2^- = -10{,}6$ °С; $\tau_2^+ - \tau_2^- = -1{,}62 - (-10{,}6) = 9$ °С при $\tau_2^+ - \tau_2^- = 9$ °С $\rightarrow \lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0848$;

$R_{в.п.2} = (-1{,}62 - (-10{,}6))/\{([(-1{,}62 + 273)/100]^4 - [(-10{,}6 + 273)/100]^4/(1/4 + 1/4 - 1/5{,}76) + 0{,}0848 \cdot 9/0{,}05\} = 9/[(54{,}24 - 47{,}41)/0{,}327 + 15{,}264] = 9/36{,}06 = 0{,}249$ м$^2 \cdot$ °С/Вт.

Воздушная прослойка 3: $\tau_3^+ = -14{,}67$; $\tau_3^- = -23{,}66$ °С; $\tau_3^+ - \tau_3^- = -14{,}67 - (-23{,}66) = 9$ °С при $\tau_3^+ - \tau_3^- = 9$ °С $\rightarrow \lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0848$;

$R_{в.п.3} = (-14{,}67 - (-23{,}66))/\{([(-14{,}67 + 273)/100]^4) - [(-23{,}66) + 273)/100^4)/(1/4 + 1/4 - 1/5{,}76) + 0{,}0848 \cdot 9/0{,}05\} = 9/[(44{,}535 - 38{,}65)/0{,}327 + 15{,}264] = 9/33{,}19 = 0{,}271$ м$^2 \cdot$°С/Вт;

Термическое сопротивление трех воздушных прослоек с учетом коэффициентов излучения поверхностей из керамзитобетона:

$$R_{в.п.1\text{-}3} = 0{,}234 + 0{,}249 + 0{,}271 = 0{,}754 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт};$$

Сопротивление теплопередаче многослойной конструкции (по глади) с учетом коэффициентов излучения поверхностей:

$R_o^1 = 0{,}115 + 0{,}077 + 0{,}234 + 0{,}077 + 0{,}249 + 0{,}077 + 0{,}271 + 0{,}077 + 0{,}043 = 1{,}22$ м$^2 \cdot$°С/Вт.

0,115 → 0,192 → 0,426 → 0,503 → 0,752 → 0,829 → 1,10 → 1,177 → 1,220;

Температуры поверхностей многослойной конструкции и воздушных прослоек при вычисленных термических сопротивлениях составят:

$\tau_в^1$ =20 – [20 – (–30)]0,115/1,22 = 20 – 4,71 = 15,29 °С;

$\tau_1^{+1}$ = 20 – 50 · 0,192/1,22 = 20 – 7,87 = 12,13 °С;

$\tau_1^{-1}$ = 20 – 50 · 0,426 /1,22 = 20 – 17,45 = 2,54 °С;

$\tau_2^{+1}$ = 20 – 50 · 0,503/1,22 = 20 – 20,61 = – 0,61 °С;

$\tau_2^{-1}$ = 20 – 50 · 0,752 /1,22 = 20 – 30,82 = –10,82 °С;

$\tau_3^{+1}$ = 20 – 50· 0,829 /1,22 = 20 – 33,98 = –13,98 °С;

$\tau_3^{-1}$ = 20 – 50 · 1,10 /1,22 = 20 – 45,08 = – 25,08 °С;

$\tau_н^1$ = 20 – 50 · 1,177 /1,22 = 20 – 48,23 = – 28,23 °С.

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек с учетом коэффициентов излучения поверхностей:

Воздушная прослойка $1^1$: $\tau_1^{+1}$ = 12,13 °С; $\tau_1^{-1}$ = 2,54 °С; $\tau_1^{+1} - \tau_1^{-1}$ = 12,13 – 2,54 = 9,59 °С. При $\tau_1^{+1} - \tau_1^{-1}$ = 9,59 °С → $\lambda_1 + \lambda_2$ = 0,0862;

$R'_{в.п.1}$ = (12,13 – 2,54)/{([(12,13 + 273)/100]$^4$ – [(2,54 + 273)/100]$^4$}/0,327 + 0,0862 · 9,59/0,05} = 9,59/[(66,09 – 57,64)/0,327 + 16,53] = 9,59/42,31 = 0,227 м$^{2\cdot{}0}$С/Вт.

Воздушная прослойка $2^1$: $\tau_2^{+1}$ = – 0,61 °С; $\tau_2^{-1}$ = – 10,82 °С; $\tau_2^{+1} - \tau_2^{-1}$ = – 0,61 – (–10,82) = 10,21 °С. При $\tau_2^{+1} - \tau_2^{-1}$ = 10,21 °С → $\lambda_1 + \lambda_2$ = 0,0876.

$R'_{в.п.2}$ = [–0,61 – (–10,82)]/{([(–0,61 + 273)/100]$^4$ – [(–10,82 + 273)/100]$^4$/0,327 + 0,0876 · 10,21/0,05 } = 10,21/[(55,051 – 47,249)/ 0,327 + 17,6] = 10,21/41,39 = 0,247 м$^2$ ·°С/Вт.

Воздушная прослойка $3^1$: $\tau_3^{+1}$ = –13,98 °С; $\tau_3^{-1}$ = –25,08 °С; $\tau_3^{+1} - \tau_3^{-1}$ = –13,98 – (–25,08) = 11,10 °С → $\lambda_1 + \lambda_2$ = 0,0895;

$R'_{в.п.3}$ = [–13,98 – (–25,08)]/{([(–13,98 + 273)/100]$^4$ – [–25,08 + 273)/100]$^4$)/ 0,327 + 0,0895 · 11,10/0,05] = 11,10/[(45,09 – 37,2)/ 0,327 + 19,87] = 11,10/41,93 = 0,265 м$^2$ ·°С/Вт;

Термическое сопротивление трех воздушных прослоек с учетом коэффициентов излучения поверхностей:

$R'_{в.п.1–3}$ = 0,227 + 0,247 + 0,265 = 0,739 м$^2$ ·°С/Вт;

Сопротивление теплопередаче многослойной конструкции с учетом коэффициентов излучения поверхностей воздушных прослоек:

$R'_O$ = 0,115 + 0,077 + 0,227 + 0,077 + 0,247 + 0,077 + 0,265 + 0,077 + 0,043 = 1,205 м$^2$·°С/Вт;

0,115→ 0,192 → 0,419→0,496→ 0,743 → 0,820 → 1,085 → 1,162 → 1,205;

Температуры поверхностей многослойной конструкции и воздушных прослоек составят:

$\tau''_в$ =20 – 50 · 0,115/1,205 = 20 – 4,77 = 15,23 °С;

$\tau_1^{+''}$ = 20 – 50 · 0,192/1,205 = 20 – 7,97 = 12,03 °С;

$\tau_1^{-''}$ ·= 20 – 50 · 0,419/1,205 = 20 – 17,38 = 2,62 °С;

$\tau_2^{+''}$ = 20 – 50 · 0,496/1,205 = 20 – 20,57 = –0,58 °С;

$\tau_2^{-''}$ = 20 – 50· 0,743 /1,205 = 20 – 30,83 = –10,83 °С;

$\tau_3^{+''}$ = 20 – 50 · 0,820 /1,205 = 20 –34,02 = –14,02 °С;

$\tau_3^{-''}$ = 20 – 50 · 1,085 /1,205 = 20 – 45,02 = – 25,02 °С;

$\tau''_н$ = 20 – 50 · 1,162 /1,205 = 20 – 48,21 = –28,21 °С.

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек с учетом коэффициента излучения поверхностей:

Воздушная прослойка 1": $\tau_1^{+''}$ = 12,03 °С; $\tau_1^{-''}$ = 2,62 °С $\tau_1^{+''} - \tau_1^{-''}$ = 12,03 – 2,62 = 9,41 °С.

При $\tau_1^{+"} - \tau_1^{-"} = 9{,}41 \rightarrow \lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0858$.

$R''_{в.п.1}$ = (12,03 – 2,62)/{([(12,03 + 273)/100]$^4$ – [( 2,62 +273)/100]$^4$)/0,327 + 0,0858 · 9,41/0,05} = 9,41/[(66,00 – 57,71)/0,327 + 16,15] = 9,41/41,44 = 0,227 м$^2$ ·°С/Вт.

Воздушная прослойка 2": $\tau_2^{+"} = -0{,}58$ °С; $\tau_2^{-"} = -10{,}83$ °С; $\tau_2^{+"} - \tau_2^{-"} = -0{,}58 - (-10{,}83) = 10{,}25$ °С.

При $\tau_2^{+"} - \tau_2^{-"} = 11{,}42 \rightarrow \lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0877$.

$R''_{в.п.2}$ =(–0,58 + 10,83)/{([( –0,58 + 273)/100]$^4$ – [(–10,83 + 273)/100]$^4$)/0,327 + + 0,0877· 10,25/0,05} = 10,25/41,86 = 0,246 м$^2$ ·°С/Вт.

Воздушная прослойка 3": $\tau_3^{+"} = -14{,}02$ °С; $\tau_3^{-"} = -25{,}02$ °С; $\tau_3^{+"} - \tau_3^{-"} =$ – 14,02+ 25,02 = 11,00 °С. При $\tau_3^{+"} - \tau_3^{-"} = 11{,}00 \rightarrow \lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0893$;

$R''_{в.п.3}$ = [–14,02 – (–25,02)]/{([(–14,02 + 273)/100]$^4$ – [( –25,02 + 273)/100]$^4$)/0,327 + 0,0893· 11,00/0,05} = 11,00/41,56 = 0,265 м$^2$·°С/Вт;

Термическое сопротивление трех воздушных прослоек с учетом коэффициентов излучениях их поверхностей из керамзитобетона:

$R''_{в.п}$ = 0,227 + 0,246 + 0,265 = 0,738 м$^2$·°С/Вт

Сопротивление теплопередаче многослойной конструкции (по глади) с учетом коэффициентов излучения поверхностей воздушных прослоек из керамзитобетона:

$R''_o$ = 0,115 + 0,077 + 0,227 + 0,077 + 0,246 + 0,077 + 0,265 + 0,077 + 0,043 = 1,204 м$^2$·°С/Вт.

**Керамзитобетонная панель с тремя замкнутыми воздушными прослойками с покрытиями стенок отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги (теплоотражающая теплоизоляция)**

В качестве исходного принимают вариант расчета с сопротивлением теплопередаче $R''_o$ = 1,204 м$^2$·°С/Вт.

$R''_{в.п} = 0{,}227 + 0{,}246 + 0{,}265 = 0{,}738$ м$^2$·°С/Вт

$R''_{о} = 0{,}115 + 0{,}077 + 0{,}227 + 0{,}077 + 0{,}246 + 0{,}077 + 0{,}265 + 0{,}077 + 0{,}043 =$ 1,204 м$^2$·°С/Вт

0,115 → 0,192 → 0,419 → 0,496 → 0,742 →0,819 → 1,084 → 1,161 → 1,204;

$\tau_н^{ф1} = 15{,}23$ °С; $\tau_1^{+ф1} = 12{,}03$ °С; $\tau_1^{-ф1} = 2{,}62$ °С; $\tau_2^{+ф1} = -0{,}58$ °С; $\tau_2^{-ф1} =$ – 10,83 °С; $\tau_3^{+ф1} = -14{,}02$ °С; $\tau_3^{-ф1} = -25{,}02$ °С; $\tau_к^{ф1} = -28{,}21$ °С.

**Вариант ф$_1$ – теплая поверхность прослоек покрыта алюминиевой фольгой ($C$ = 0,5 Вт/(м$^2$ · °С$^4$))**

Приведенный коэффициент излучения прослойки $C_{пр}$ = 1/ (1/0,5 + 1/4,0 – 1/5,76 = =1/2,076 = 0,48.

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек с учетом коэффициентов излучения поверхностей:

Воздушная прослойка 1$^ф$: $\tau_1^{+ф1} - \tau_1^{-ф1} = 9{,}41$ °С → $\lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0858$;

$$R_{в.п.1}^{ф1} = 9{,}41/[(66{,}00 - 57{,}71)/(1/0{,}5 + 1/4 - 1/5{,}76) + 0{,}0858 \cdot 9{,}41/0{,}05] =$$

$$= 9{,}41/20{,}14 = 0{,}467 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}.$$

Воздушная прослойка 2$^{ф1}$: $\tau_2^{+ф1} - \tau_2^{-ф1} = 10{,}25$ °С → $\lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0877$;

$$R_{в.п.2}^{ф1} = 10{,}25/[(55{,}07 - 47{,}24)/2{,}076 + 0{,}0877 \cdot 10{,}25/0{,}05] = 10{,}25/21{,}74 =$$

$$= 0{,}472 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}.$$

Воздушная прослойка 3$^{ф1}$: $\tau_3^{+ф1} - \tau_3^{-ф1} = 11{,}00$ °С → $\lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0893$;

$$R_{в.п.3}^{ф1} = 11{,}00/[(44{,}98 - 37{,}81)/2{,}076 + 0{,}0893 \cdot 11{,}00/0{,}05\ ] = 11{,}00/23{,}09 =$$

$$= 0{,}476 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт};$$

Термическое сопротивление трех воздушных прослоек с учетом коэффициентов излучения:

$$R_{в.п.1-3}^{ф1} = 0{,}467 + 0{,}472 + 0{,}476 = 1{,}415 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт};$$

Сопротивление теплопередаче многослойной конструкции (по глади) с учетом коэффициентов излучения поверхностей воздушных прослоек:

$R_о^{ф1} = 0{,}115 + 0{,}077 + 0{,}467 + 0{,}077 + 0{,}472 + 0{,}077 + 0{,}476 + 0{,}077 + 0{,}043 =$

$= 0{,}115 + 0{,}308 + 1{,}415 + 0{,}043 = 1{,}881$ м²·°С/Вт;

$0{,}115 \rightarrow 0{,}192 \rightarrow 0{,}659 \rightarrow 0{,}736 \rightarrow 1{,}208 \rightarrow 1{,}285 \rightarrow 1{,}761 \rightarrow 1{,}838 \rightarrow 1{,}881$;

Температуры поверхностей многослойной конструкции и воздушных прослоек составят:

$\tau_{в.1}^{ф1} = 20 - 50 \cdot 0{,}115/1{,}881 = 20 - 3{,}05 = 16{,}94$ °С;

$\tau_{в.1}^{+ф1} = 20 - 50 \cdot 0{,}192/1{,}881 = 20 - 5{,}18 = 14{,}89$ °С;

$\tau_{в.1}^{-ф1} = 20 - 50 \cdot 0{,}659/1{,}881 = 20 - 17{,}51 = 2{,}48$ °С;

$\tau_{в.2}^{+ф1} = 20 - 50 \cdot 0{,}736/1{,}881 = 20 - 19{,}56 = 0{,}44$ °С;

$\tau_{в.2}^{-ф1} = 20 - 50 \cdot 1{,}208/1{,}881 = 20 - 32{,}11 = -12{,}11$ °С;

$\tau_{в.3}^{+ф1} = 20 - 50 \cdot 1{,}285/1{,}881 = 20 - 34{,}15 = -14{,}15$ °С;

$\tau_{в.3}^{-ф1} = 20 - 50 \cdot 1{,}761/1{,}881 = 20 - 46{,}81 = -26{,}81$ °С;

$\tau_{н.1}^{ф1} = 20 - 50 \cdot 1{,}838/1{,}881 = 20 - 48{,}85 = -28{,}86$ °С.

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек с учетом коэффициентов излучения поверхностей:

Воздушная прослойка 1 ($ф_1$): $\tau_{1(ф1)}^{+} - \tau_{1(ф1)}^{-} = 14{,}82 - 2{,}48 = 12{,}34$ °С $\rightarrow \lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0921$;

$$R_{в.п}^{ф1} = (14{,}82 - 2{,}48)/\{([(14{,}82 + 273)/100]^4 - [(2{,}48 + 273)/100]^4)/(1/0{,}5 + 1/4 - 1/5{,}76) + 0{,}0921 \cdot 12{,}34/0{,}05\};$$

$R_{в.п.1}^{ф1} = 12{,}34/[(68{,}62 - 57{,}59)/2{,}076 + 22{,}73] = 12{,}34/28{,}04 = 0{,}440$ м²·°С/Вт.

Воздушная прослойка 2 ($ф_1$): $\tau_{2(ф1)}^{+} - \tau_{2(ф1)}^{-} = 0{,}44 - (-12{,}11) = 12{,}55$ °С $\rightarrow$ $\lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0923$;

$$R_{в.п.2(ф2)} = [0{,}44 - (-12{,}11)]/\{([([0{,}44 + 273)/100]^4 - [(-12{,}11 + 273)/100]^4)/2{,}076 + 0{,}0923 \cdot 12{,}55/0{,}05\} = 12{,}55/[(55{,}90 - 46{,}33)/2{,}076 + 23{,}17] = 12{,}55/27{,}76 = 0{,}452$$ м²·°С/Вт.

Воздушная прослойка 3($ф_1$): $\tau_{3(ф1)}^{+} - \tau_{3(ф1)}^{-} = -14{,}15 - (-26{,}81) = 12{,}66$ °С $\rightarrow$ $\lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0926$;

$R_{в.п.3(ф2)}$ = [–14,15 – (– 26,81)] /{([(–14,15 + 273)/100]$^4$ –[(–26,81 + 273)/100]$^4$)/2,076 + 0,0926 ·12,66/0,05} = 12,66/27,36 = 0,463 м$^2$·°С/Вт;

Термическое сопротивление трех воздушных прослоек, одна поверхность которых покрыта отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги, а другая выполнена из керамзитобетона, с учетом их коэффициентов излучения:

$$R_{в.п1-3(ф1)} = 0,440 + 0,452 + 0,463 = 1,355 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{С/Вт};$$

Сопротивление теплопередаче многослойной конструкции (по глади) с учетом коэффициентов излучения поверхностей воздушных прослоек, одна поверхность которых покрыта отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги, а другая выполнена из керамзитобетона:

$$R_{о(ф1)} = 0,115 + 0,077 + 0,440 + 0,077 + 0,452 + 0,077 + 0,463 + 0,077 + 0,043 = 1,821 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{С/Вт}.$$

**Вариант ф$_2$ – обе поверхности прослоек покрыты алюминиевой фольгой**

Приведенный коэффициент излучения прослойки $C_{пр}$ = 1/ (1/0,5 + 1/0,5 – 1/5,76 = =1/3,826 = 0,26.

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек с учетом коэффициента излучения поверхностей:

Воздушная прослойка 1(ф$_2$): $\tau^+_{1(ф2)} - \tau^-_{1(ф2)}$ = 14,82 – 2,48 = 12,34 °С → $\lambda_1$ + $\lambda_2$ = 0,0921;

$$R_{в.п1(ф2)} = (14,82 - 2,48)/\{([(14,82 + 273)/100]^4 - [(2,48 + 273)/100]^4)/(1/0,5 + 1/0,5 - 1/5,76) + 0,0921 \cdot 12,34/0,05\};$$

$R_{в.п1(ф2)}$ = 12,34/[(68,62 – 57,59)/3,826 + 22,73] = 12,34/25,61 = 0,482 м$^2$·°С/Вт.

Воздушная прослойка 2 (ф$_2$): $\tau^+_{2(ф2)} - \tau^-_{2(ф2)}$ = 0,44 – (–12,11) = 12,55 °С → $\lambda_1$ + $\lambda_2$ = 0,0926;

$R_{в.п2(ф2)}$ = [0,44 – (–12,11)]/{([([0,44 + 273)/100]$^4$ – [(–12,11 + 273)/100]$^4$)/3,826 + 0,0926·12,55/0,05} = 12,55/[(55,90 – 46,33)/3,826 + 23,24] = =12,55/25,74 = 0,489 м$^2$·°С/Вт.

Воздушная прослойка 3 (ф$_2$): $\tau^{+}_{3(\phi 2)} - \tau^{-}_{3(\phi 2)} = -14{,}15 - (-26{,}81) = 12{,}66$ °С → $\lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0926$;

$R_{в.п3(\phi 2)} = [-14{,}15 - (-26{,}81)] / \{([(-14{,}15 + 273)/100]^4 - [(-26{,}81 + 273)/100]^4)/3{,}826 + 0{,}0926 \cdot 12{,}66/0{,}05\} = 12{,}66/25{,}58 = 0{,}495$ м$^2$·°С/Вт;

Термическое сопротивление трех воздушных прослоек с учетом коэффициентов излучения поверхностей:

$$R_{в.п1-3(\phi 2)} = 0{,}482 + 0{,}489 + 0{,}495 = 1{,}466 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{С/Вт};$$

Сопротивление теплопередаче многослойной конструкции (по глади) с учетом коэффициентов излучения поверхностей воздушных прослоек:

$$R_o^{\phi 2} = 0{,}115 + 0{,}077 + 0{,}482 + 0{,}077 + 0{,}489 + 0{,}077 + 0{,}495 + 0{,}077 + 0{,}043 = 1{,}931 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{С/Вт};$$

0,115 → 0,192 → 0,674 → 0,751→ 1,240 →1,317 → 1,812 → 1,889→ 1,932;

Температуры поверхностей многослойной конструкции и воздушных прослоек составят:

$\tau_в^{\phi 2} = 20 - 50 \cdot 0{,}115/1{,}932 = 20 - 2{,}97 = 17{,}03$ °С;

$\tau_1^{+\phi 2} = 20 - 50 \cdot 0{,}192/1{,}932 = 20 - 4{,}96 = 15{,}04$ °С;

$\tau_1^{-\phi 2} = 20 - 50 \cdot 0{,}675/1{,}932 = 20 - 17{,}47 = 2{,}53$ °С;

$\tau_2^{+\phi 2} = 20 - 50 \cdot 0{,}752/1{,}932 = 20 - 19{,}46 = 0{,}54$ °С;

$\tau_2^{-\phi 2} = 20 - 50 \cdot 1{,}241/1{,}932 = 20 - 32{,}11 = -12{,}11$ °С;

$\tau_3^{+\phi 2} = 20 - 50 \cdot 1{,}318/1{,}932 = 20 - 34{,}11 = -14{,}11$ °С;

$\tau_3^{-\phi 2} = 20 - 50 \cdot 1{,}814/1{,}932 = 20 - 46{,}95 = -26{,}95$ °С;

$\tau_{н.\phi 2} = 20 - 50 \cdot 1{,}891/1{,}932 = 20 - 48{,}94 = -28{,}94$ °С.

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек с учетом коэффициентов излучения поверхностей:

Воздушная прослойка 1 (ф$_2$): $\tau^{+}_{1(\phi 2)} - \tau^{-}_{1(\phi 2)} = 15{,}04 - 2{,}53 = 12{,}51$ °С → $\lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0923$;

$$R_{в.п1(ф2)} = 12{,}51 /\{([(15{,}04 + 273)/100]^4 - [(-2{,}53 + 273)/100]^4)]/3{,}826 +$$

$$0{,}0923 \cdot 12{,}51/0{,}05\} = 12{,}51/27{,}09 = 0{,}462 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт}.$$

Воздушная прослойка 2(ф$_2$): $\tau^+_{2(ф2)} - \tau^-_{2(ф2)} = 0{,}54 - (-12{,}11) = 12{,}65$ °С

$\rightarrow \lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0925$;

$$R_{в.п2(ф2)} = 12{,}65/\{([(0{,}54 + 273)/100]^4 - [(-12{,}11 + 273)/100]^4)]/3{,}826 +$$

$$0{,}0925 \cdot 12{,}65/0{,}05\} = 12{,}65/25{,}92 = 0{,}488 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт}.$$

Воздушная прослойка 3(ф2): $\tau^+_{3(ф2)} - \tau^-_{3(ф2)} = -14{,}11 - (-26{,}95) = 12{,}84$ °С

$\rightarrow \lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0928$;

$$R_{в.п3(ф2)} = 12{,}84/\{([(-14{,}11 + 273)/100]^4 - [(-26{,}95 + 273)/100]^4)]/3{,}826 +$$

$$0{,}0928 \cdot 12{,}84/0{,}05\} = 12{,}84/25{,}99 = 0{,}494 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт};$$

Термическое сопротивление трех воздушных прослоек, все поверхности которых покрыты отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги, с учетом коэффициентов излучения:

$$R_{в.п1-3(ф2)} = 0{,}462 + 0{,}488 + 0{,}494 = 1{,}444 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт};$$

Сопротивление теплопередаче многослойной конструкции (по глади) с учетом коэффициентов излучения поверхностей воздушных прослоек с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги:

$$R_o^{ф2} = 0{,}115 + 0{,}077 + 0{,}462 + 0{,}077 + 0{,}488 + 0{,}077 + 0{,}494 + 0{,}077 +$$

$$0{,}043 = 1{,}910 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт}.$$

### А.3.2 Теплозащитные характеристики многослойной стеновой панели

Результаты проведенного расчета многослойной конструкции панели, выполненной из керамзитобетона плотностью $\rho_0 =$ 1200 кг/м$^3$ с расчетным значением теплопроводности для условий эксплуатации Б равным $\lambda_Б$ = 0,52 Вт/(м · °С), толщиной 310 мм с тремя замкнутыми воздушными прослойками толщиной по 50 мм каждая, расположенными в толще панели друг за другом параллельно наружным поверхностям наружного ограждения, представлены в таблице А.8.

Таблица А.8

| Конструктивное решение воздушных прослоек | Теплотехнические характеристики | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Термическое сопротивление слоев панели, $м^2 \cdot {}^oC/Вт$ | | | | | Сопротивление теплопередаче панели при $t_в = 20\ {}^oC$ и $t_н = -30\ {}^oC$ |
| | воздушных прослоек | | | | керамзитобетонных слоев | |
| | $\frac{R_{в.п1}}{\lambda_{экв}}$ | $\frac{R_{в.п2}}{\lambda_{экв}}$ | $\frac{R_{в.п3}}{\lambda_{экв}}$ | $R_{в.п1} + R_{в.п2} + R_{в.п3}$ | $R_{кб1} + 4\ \lambda_{кб}$ | $R_o$ |
| Без теплоотражающих поверхностей с $R_{в.п}$, по требованиям СП 50.13330 | 0,14/0,357 | 0,17/0,294 | 0,17/0,234 | 0,48 | 0,308/0,52 | 0,946 |
| 2. С учетом излучательной способности бетонных поверхностей | 0,227/0,220 | 0,246/0,203 | 0,265/0,189 | 0,738 | 0,308/0,52 | 1,204 |
| С теплоотражающей поверхностью из алюминиевой фольги на одной стороне(теплой) | 0,440/0,113 | 0,452/0,111 | 0,463/0,108 | 1,355 | 0,308/0,52 | 1,821 |
| С теплоотражающими поверхностями из алюминиевой фольги на обеих поверхностях прослоек | 0,462/0,104 | 0,488/0,102 | 0,494/0,101 | 1,444 | 0,308/0,52 | 1,910 |

## \Библиография

[1] Научно-технический отчет «Исследование влияния отражательной теплоизоляции на тепловую защиту наружных ограждающих конструкций», № госрегистрации АААА-А17-117051110103-5. – М.: НИИСФ РААСН. – 2017. – 142 с.

[2] Андреев Д.А., Могутов В.А. Теплотехнические характеристики многослойных ограждающих конструкций со слоями отражающей изоляции // Сборник трудов НИИСФ, 2002.

[3] Ахременков А.А., Кузьмин В.А., Цирлин А.М., Цыганков В.М. Энергетическая эффективность покрытия внутренней поверхности помещения отражательной теплоизоляцией // Строительные материалы, – № 12. – 2013.

[4] Блох А. Г. Основы теплообмена излучением. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 332 с.

[5] Кузьмин В.А. Исследование возможностей применения отражательной теплоизоляции в многослойных сэндвич-панелях с учетом многократного отражения // Журнал «Строительные материалы». – № 6. – 2017. – С. 35–40.

[6] Кузьмин В.А., Умнякова Н.П. Применение отражательной теплоизоляции в многослойных панелях с эффектом многократного отражения теплового потока // Жилищное строительство. – 2016. – № 6. – С. 21–24

[7] Умнякова Н.П. Теплозащита замкнутых воздушных прослоек с отражательной теплоизоляцией // Жилищное строительство. – № 1–2. – 2014. – С. 16–20

[8] Умнякова Н.П. Инновационные материалы с отражательной теплоизоляцией в строительстве // Вестник российского Союза строителей. – № 2. – 2016. – С.42–43

[9] Умнякова Н.П., Кузьмин В.А. Применение отражательной теплоизоляции в многослойных панелях с эффектом многократного отражения теплового поток // Жилищное строительство. – № 6. – 2016. – С. 21–23

[10] Умнякова Н.П. Теплообмен в вентилируемой воздушной прослойке вентфасадов с учетом коэффициента излучения поверхностей // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – № 5 (365). – 2016. – С.199–205

[11] Умнякова Н.П., Цыганков В.М., Кузьмин В.А. Экспериментальные теплотехнические исследования для рационального проектирования стеновых конструкций с отражательной теплоизоляцией // Жилищное строительство. – № 1–2.– 2018. – С. 38–42

[12] Приказ Комитета Российской Федерации по торговле от 28 июня 1993 г. № 44 «Об утверждении Правил охраны труда на торговых складах, базах и холодильниках»

[13] Научно-технический отчет «Разработка теплотехнического раздела для рекомендаций по применению сэндвич-панелей производства ООО «Мособлстрой-31» / НИИСФ РААСН (договор от 2 декабря 2013 г. № 11080) – М.: НИИСФ РААСН, 2014.

[14] ТСН 23-312-2000 Тепловая защита жилых и общественных зданий. Нормативы по теплозащите. Владимирская область

УДК 699.86 ОКС 91.120.10

Ключевые слова: здания и сооружения, отапливаемые здания, ограждающие конструкции, теплотехнические расчеты, исходные данные, энергоэффективность, воздушные прослойки, системы отражательной теплоизоляции, конструктивные решения

gost.e-ecolog.ru