ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 56734— 2015

ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Расчет показателя теплозащиты ограждающих конструкций с отражательной теплоизоляцией

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным учреждением «Научно-исследовательский институт строительной физики» Российской академии архитектуры и строительных наук

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 ноября 2015 г. № 1898-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Ноябрь 2019 г.

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru)

© Стандартинформ, оформление, 2016, 2019

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Методы расчета приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций при наличии отражательной теплоизоляции 2
5 Последовательность проведения расчета термического сопротивления воздушной прослойки при наличии отражательной теплоизоляции на ее поверхности 7
Приложение А (справочное) Характеристики алюминиевой фольги 9
Приложение Б (обязательное) Пример расчета термического сопротивления воздушной прослойки толщиной 5 см при наличии отражательной теплоизоляции на ее поверхности 10
Приложение В (справочное) Расчетные теплотехнические показатели теплоизоляционных материалов 13

Введение

Настоящий стандарт устанавливает методы расчета сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций помещений жилых, общественных, административных, бытовых, сельскохозяйственных, производственных зданий и сооружений при наличии на поверхности ограждений отражательной теплоизоляции, применение которой позволяет повысить их тепловую защиту. Стандарт разработан в соответствии с требованиями Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», согласно которому здания и сооружения, с одной стороны должны исключать в процессе эксплуатации нерациональный расход энергетических ресурсов, а с другой — не создавать условий для недопустимого ухудшения параметров среды обитания людей и осуществления различных технологических процессов.

Настоящий стандарт разработан в целях подтверждения соответствия теплотехнических характеристик наружных ограждений зданий и сооружений при наличии отражательной изоляции с низким значением коэффициента излучения на поверхности воздушной прослойки, расположенной в толще ограждения, нормативным значениям согласно СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02—2003 «Тепловая защита зданий» с учетом требований ГОСТ Р 51380 и ГОСТ 31607.

Настоящий стандарт позволяет оценить уровень теплозащиты ограждающих конструкций с отражательной изоляцией на поверхности воздушной прослойки, расположенной в ограждении, при приемке зданий и последующей эксплуатации, а также наметить мероприятия по повышению уровня теплозащиты зданий в случае отклонения энергопотребления от действующих нормативных требований.

В рамках реализации Федерального закона от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» настоящий стандарт является одним из базовых стандартов, обеспечивающих энергетический паспорт и энергоаудит эксплуатируемых зданий теплотехническими параметрами с учетом требований действующих нормативных документов и технической документации.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Расчет показателя теплозащиты ограждающих конструкций с отражательной теплоизоляцией

Buildings and constructions. The calculation of thermal protection of walls with reflective insulation

Дата введения — 2016—06—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает методы расчета температуры внутренней поверхности и сопротивления теплопередаче многослойных наружных ограждающих конструкций с замкнутыми воздушными прослойками, поверхность которых имеет отражающее покрытие с низким коэффициентом излучения поверхности.

1.2 Стандарт распространяется на ограждающие конструкции зданий.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 618 Фольга алюминиевая для технических целей. Технические условия

ГОСТ 745 Фольга алюминиевая для упаковки. Технические условия

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

ГОСТ 31607 Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения

ГОСТ Р 51380 Энергосбережение. Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным значениям. Общие требования[1)]

СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02—2003 Тепловая защита зданий»

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов 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 стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. При применении настоящего стандарта целесообразно проверить действие ссылочного свода правил в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

[1)] Действует ГОСТ 31531—2012.

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

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

3.2 **абсолютно белое тело:** Тело, которое полностью отражает все падающее на него электромагнитное излучение.

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

3.4 **коэффициент излучения:** Отношение мощностей собственного теплового излучения единицы поверхности реального тела и абсолютно черного тела при одинаковых температурах.

3.5 **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.

Примечание — Является коэффициентом пропорциональности в дифференциальном уравнении закона Фурье.

3.6 **конвекция:** Перенос теплоты движущимися частицами жидкости или газа, обусловленный разностью температур и разной плотностью среды.

3.7 **тепловое излучение или излучение:** Перенос энергии в виде электромагнитных волн между двумя взаимно излучающими поверхностями, обусловленный температурой и оптическими свойствами поверхностей излучающих тел.

3.8 **коэффициент теплоотдачи:** Плотность теплового потока на поверхности твердого тела или жидкости в стационарных условиях, отнесенная к разности температур этой поверхности и среды.

3.9 **коэффициент конвективной теплоотдачи:** Физическая величина, численно равная плотности теплового потока, передаваемого от воздуха к поверхности твердого тела путем конвективного теплообмена при разности между температурой воздуха и температурой поверхности тела, граничащей с воздухом, равной 1 °С (К).

3.10 **коэффициент лучистой теплоотдачи:** Физическая величина, численно равная плотности теплового потока, передаваемого от поверхности твердого тела к окружающим ее поверхностям путем лучистого теплообмена при разности между температурой рассматриваемой поверхности и средней температурой окружающих поверхностей, равной 1 °С (К).

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

4 Методы расчета приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций при наличии отражательной теплоизоляции

4.1 Метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче наружной ограждающей конструкции с замкнутыми воздушными прослойками, одна из поверхностей которых имеет теплоотражающее покрытие

4.1.1 Вертикальные ограждающие конструкции с замкнутыми воздушными прослойками без отражающих покрытий на их поверхностях

4.1.1.1 Сопротивление теплопередаче вертикального наружного ограждения (наружной стены) R_0, $м^2 \cdot °С/Вт$, следует определять по формуле

$$R_0 = 1/\alpha_в + R_к + 1/\alpha_н, \quad (1)$$

где $\alpha_в$ — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $Вт/(м^2 \cdot °С)$, для наружных стен $\alpha_в = 8,7$ $Вт/(м^2 \cdot °С)$ (СП 50.13330.2012, таблица 4);

$R_к$ — термическое сопротивление ограждающей конструкции, $м^2 \cdot °С/Вт$;

$\alpha_н$ — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $Вт/(м^2 \cdot °С)$, для наружных стен $\alpha_н = 23$ $Вт/(м^2 \cdot °С)$ (СП 50.13330.2012, таблица 6).

4.1.1.2 Термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции $R_к$, м^2 · °С/Вт, включающей в себя последовательно расположенные конструкционные, теплоизоляционные, облицовочные слои, воздушные прослойки, определяют по формуле

$$R_к = \Sigma(\delta_i/\lambda_i) + R_{в.п}, \quad (2)$$

где δ_i — толщина i-го слоя конструкции, м;

λ_i — расчетный коэффициент теплопроводности материала i-го слоя конструкции, Вт/(м · °С), принимают по СП 50.13330.2012, приложение Т;

$R_{в.п}$ — термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, расположенной параллельно слоям многослойной конструкции, м^2 · °С/Вт. При наличии в конструкции замкнутых воздушных прослоек $R_{в.п}$ следует принимать по таблице 1.

4.1.1.3 Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки $R_{в.п}$ в ограждающей конструкции вычисляют по формуле

$$R_{в.п} = (\tau_{1.в.п} - \tau_{2.в.п})/Q, \quad (3)$$

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

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

Q — количество теплоты, проходящее через 1 м^2 наружного ограждения с воздушной прослойкой, Вт/м^2, измеряют согласно ГОСТ 25380.

4.1.1.4 Количество теплоты Q, проходящее через воздушную прослойку площадью 1 м^2 в течение 1 ч, состоит из количества теплоты, передаваемой излучением $Q_{изл}$, теплопроводностью $Q_{теп}$ и конвекцией $Q_{кон}$:

$$Q = Q_{изл} + Q_{теп} + Q_{кон}, \quad (4)$$

где $Q_{изл}$ — количество теплоты, передаваемое излучением, Вт/м^2;

$Q_{теп}$ — количество теплоты, передаваемое теплопроводностью, Вт/м^2;

$Q_{кон}$ — количество теплоты, передаваемое конвекцией, Вт/м^2.

4.1.1.5 Температуры по слоям многослойного ограждения и на поверхности воздушной прослойки $\tau_{1.в.п}$ и $\tau_{2.в.п}$ вычисляют по формуле

$$\tau_n = t_в - \frac{t_в - t_н}{R_0}\left(R_в + \sum_{n-1} R\right), \quad (5)$$

где τ_n — температура на внутренней поверхности n-го слоя ограждения (нумерация слоев принимается от внутренней поверхности ограждения), °С;

ΣR — сумма термических сопротивлений $(n - 1)$ слоев ограждения, м^2 · °С/Вт;

R_0 — сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м^2 · °С/Вт;

$t_в$ — расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

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

Таблица 1 — Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек без отражательной теплоизоляции

Толщина воздушной прослойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, горизонтальной при потоке тепла снизу вверх и вертикальной $R_{в.п}$, м^2 · °С/Вт	
	при температуре воздуха в прослойке	
	положительной	отрицательной
0,01	0,13	0,15
0,02	0,14	0,15
0,03	0,14	0,16
0,05	0,14	0,17
0,1	0,15	0,18
0,15	0,15	0,18
0,2—03	0,15	0,19

4.1.1.6 Количество теплоты излучением, проходящее через воздушную прослойку с учетом температур на поверхностях воздушной прослойки и принятых коэффициентов излучения (см. таблицу 2) поверхности без учета отражательной теплоизоляции, следует определять по формуле

$$Q_{из} = C_{пр}\left[\left(\frac{\tau_{1.в.п} + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\tau_{2.в.п} + 273}{100}\right)^4\right], \quad (6)$$

где $C_{пр}$ — приведенный коэффициент излучения, определяют по формуле

$$\frac{1}{\frac{1}{C_{1.в.п}} + \frac{1}{C_{2.в.п}} - \frac{1}{C_0}}, \quad (7)$$

где $C_{1.в.п}$ — коэффициент излучения поверхности воздушной прослойки, расположенной со стороны внутренней поверхности ограждения, Вт/(м$^2 \cdot$ К^4);

$C_{2.в.п}$ — коэффициент излучения поверхности воздушной прослойки, расположенной со стороны наружной поверхности ограждения, Вт/(м$^2 \cdot$ К^4);

C_0 — коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт/(м$^2 \cdot$ К^4).

Коэффициенты излучений различных поверхностей принимают по таблице 2.

Таблица 2 — Коэффициенты излучения различных материалов

Материал	Коэффициент излучения, С, Вт/(м$^2 \cdot$ К^4)
Алюминий полированный	0,23—0,34
Алюминий с шероховатой поверхностью	0,34—0,4
Алюминиевая фольга с зеркальной полированной поверхностью (класс обработки не менее 14)	0,3
Алюминиевая фольга в строительных конструкциях	0,5
Алюминий окисленный	0,63—1,09
Алюминиевая окраска	2,88
Алюминиевый лак на шероховатой пластине	2,25
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

Окончание таблицы 2

Материал	Коэффициент излучения, С, Вт/(м^2·К^4)
Асбестоцемент шероховатый	5,52
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

4.1.1.7 Количество теплоты, передаваемое через воздушную прослойку теплопроводностью и конвекцией, следует определять по формуле

$$Q_{к.т} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\delta}(\tau_{1.в.п} - \tau_{2.в.п}), \quad (8)$$

где λ_1 — коэффициент теплопроводности неподвижного воздуха при средней температуре воздушной прослойки, Вт/(м·°С);

λ_2 — коэффициент конвективной теплопередачи, зависящий от толщины воздушной прослойки, температуры воздуха в ней, разности температур на поверхностях воздушной прослойки и расположения прослойки в ограждении, Вт/(м·°С).

4.1.1.8 Значения $\lambda_1 + \lambda_2$ (коэффициент теплопроводности неподвижного воздуха и коэффициент конвективной теплопередачи) в зависимости от толщины воздушной прослойки δ и разности температур на ее поверхности $\tau_{1.в.п} - \tau_{2.в.п}$ приведены в таблице 3.

4.1.1.9 Величину термического сопротивления воздушной прослойки в ограждающей конструкции определяют по формуле

$$R_{в.п} = \frac{\tau_{1.в.п} - \tau_{2.в.п}}{C_{пр}\left[\left(\frac{\tau_{1.в.п} + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\tau_{2.в.п} + 273}{100}\right)^4\right] + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\delta}(\tau_{1.в.п} - \tau_{2.в.п})}. \quad (9)$$

4.1.2 Вертикальные ограждающие конструкции с замкнутыми воздушными прослойками с теплоотражающим покрытием на их поверхности

4.1.2.1 Термическое сопротивление воздушной прослойки определяют в соответствии с 4.1.1.1—4.1.1.9 и формулой (9). На первом этапе расчета принимают, что теплозащиту ограждения осуществляют воздушные прослойки, имеющие серые поверхности. Затем проводят повторный расчет для ограждения, в котором одна из поверхностей воздушной прослойки имеет отражательную изоляцию из алюминиевой фольги по ГОСТ 745, ГОСТ 618. Данный расчет повторяют до получения постоянной величины термического сопротивления воздушной прослойки. Покрытие алюминиевой фольгой обеих поверхностей воздушной прослойки практически не уменьшает тепловой поток излучением через воздушную прослойку.

4.1.2.2 В результате расчета по 4.1.2.1 определяют значения температурного перепада между поверхностями воздушной прослойки и термического сопротивления воздушной прослойки без учета многократного отражения теплового потока излучением между поверхностями воздушной прослойки.

При учете многократного отражения и поглощения лучистого теплового потока параллельными поверхностями воздушной прослойки происходят его многократное отражение, поглощение и передача теплоты теплопроводностью и конвекцией. При этом лучистый тепловой поток от первой поверхности многократно отражается и поглощается второй поверхностью воздушной прослойки и в конечном итоге отражается от нее обратно к первой поверхности.

Таблица 3 — Значение величин $\lambda_1 + \lambda_2$ для вертикальных воздушных прослоек в зависимости от толщины прослойки δ и разности температур на ее поверхности ($\tau_{1.в.п} - \tau_{2.в.п}$)

($\tau_{1.в.п} - \tau_{2.в.п}$), °С	Значения $\lambda_1 + \lambda_2$, Вт/(м · °С), при δ, см									
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25
1	0,0233	0,0244	0,0337	0,0488	0,0628	0,0814	0,0930	0,1116	0,1396	0,1628
2	0,0232	0,0293	0,0394	0,0577	0,0741	0,0968	0,1100	0,1310	0,1639	0,1932
3	0,0234	0,0331	0,0440	0,0648	0,0832	0,1090	0,1237	0,1467	0,1833	0,2162
4	0,0239	0,0355	0,0474	0,0697	0,0895	0,1173	0,1334	0,1578	0,1968	0,2303
5	0,0244	0,0372	0,0500	0,0733	0,0942	0,1233	0,1407	0,1663	0,2070	0,2407
6	0,0248	0,0388	0,0523	0,0765	0,0983	0,1286	0,1468	0,1738	0,2163	0,2518
7	0,0250	0,0402	0,0544	0,0795	0,1021	0,1334	0,1521	0,1806	0,2250	0,2637
8	0,0252	0,0417	0,0562	0,0823	0,1056	0,1377	0,1568	0,1868	0,2332	0,2758
9	0,0254	0,0430	0,0578	0,0848	0,1087	0,1417	0,1611	0,1925	0,2407	0,2870
10	0,0256	0,0442	0,0593	0,0872	0,1116	0,1454	0,1651	0,1977	0,2477	0,2966
11	0,0260	0,0453	0,0606	0,0893	0,1143	0,1488	0,1691	0,2025	0,2540	0,3039
12	0,0264	0,0463	0,0618	0,0913	0,1168	0,1519	0,1730	0,2070	0,2598	0,3093
13	0,0269	0,0472	0,0629	0,0932	0,1191	0,1549	0,1768	0,2111	0,2651	0,3136
14	0,0274	0,0480	0,0640	0,0949	0,1212	0,1577	0,1804	0,2149	0,2700	0,3173
15	0,0279	0,0488	0,0651	0,0965	0,1233	0,1605	0,1838	0,2186	0,2745	0,3210
16	0,0284	0,0495	0,0663	0,0980	0,1253	0,1632	0,1869	0,2221	0,2788	0,3254
17	0,0288	0,0502	0,0675	0,0995	0,1272	0,1659	0,1899	0,2255	0,2828	0,3302
18	0,0293	0,0509	0,0687	0,1009	0,1290	0,1685	0,1926	0,2287	0,2867	0,3353
19	0,0297	0,0516	0,0699	0,1022	0,1308	0,1710	0,1952	0,2319	0,2905	0,3405
20	0,0302	0,0523	0,0709	0,1035	0,1326	0,1733	0,1977	0,2349	0,2942	0,3454
21	0,0307	0,0530	0,0718	0,1047	0,1344	0,1754	0,2001	0,2379	0,2979	0,3499
22	0,0312	0,0538	0,0725	0,1059	0,1361	0,1774	0,2024	0,2408	0,3015	0,3541
23	0,0317	0,0545	0,0732	0,1070	0,1377	0,1792	0,2047	0,2436	0,3051	0,3580
24	0,0322	0,0552	0,0738	0,1082	0,1392	0,1809	0,2070	0,2463	0,3085	0,3616
25	0,0326	0,0558	0,0744	0,1093	0,1407	0,1826	0,2093	0,2489	0,3117	0,3652
26	0,0329	0,0564	0,0751	0,1105	0,1420	0,1843	0,2116	0,2514	0,3147	0,3687
27	0,0332	0,0569	0,0757	0,1116	0,1432	0,1859	0,2139	0,2537	0,3176	0,3722
28	0,0334	0,0573	0,0764	0,1128	0,1444	0,1875	0,2163	0,2560	0,3203	0,3757
29	0,0336	0,0578	0,0772	0,1139	0,1455	0,1891	0,2186	0,2583	0,3230	0,3792
30	0,0337	0,0582	0,0779	0,1151	0,1465	0,1907	0,2210	0,2605	0,3256	0,3826

4.1.2.3 По значению многократного поглощения $A = \frac{C}{C_0}$ и отражения $(1 - A) = \left(1 - \frac{C}{C_0}\right)$ падающего лучистого теплового потока между поверхностями воздушной прослойки определяют значение результирующего теплового потока излучением. При этом температура поверхностей $\tau_{1.в.п} > \tau_{2.в.п}$. Поглощение

отражение падающего теплового потока излучением между поверхностями наглядно представлены в таблице 4 выражением изменения теплового потока на этапах последовательного излучения, поглощения и отражения в воздушной прослойке.

Таблица 4 — Последовательное излучение, поглощение и отражение теплового потока

Отражающие и поглощающие поверхности	Последовательное многократное затухание теплового потока
Первая поверхность излучает на вторую	$Q_{\text{пад.из}}$
Вторая поверхность поглощает излучение от первой поверхности	$Q_{\text{пад.из}} A_2 = Q_{\text{пад.из}} \frac{C_{2.в.п}}{C_0}$
Вторая поверхность отражает обратно на первую поверхность	$Q_{\text{пад.из}}(1 - A_2) = Q_{\text{пад.из}} \left(1 - \frac{C_{2.в.п}}{C_0}\right)$
Первая поверхность поглощает излучение от второй поверхности	$Q_{\text{пад.из}}(1 - A_2)A_1 = Q_{\text{пад.из}} \left(1 - \frac{C_{2.в.п}}{C_0}\right) \frac{C_{1.в.п}}{C_0}$
Первая поверхность отражает обратно излучение на вторую поверхность	$Q_{\text{пад.из}}(1 - A_2)(1 - A_1) = Q_{\text{пад.из}} \left(1 - \frac{C_{2.в.п}}{C_0}\right)\left(1 - \frac{C_{1.в.п}}{C_0}\right)$
Вторая поверхность поглощает излучение от первой поверхности	$Q_{\text{пад.из}}(1 - A_2)(1 - A_1)A_2 = Q_{\text{пад.из}} \left(1 - \frac{C_{2.в.п}}{C_0}\right)\left(1 - \frac{C_{1.в.п}}{C_0}\right)\frac{C_{2.в.п}}{C_0}$

4.1.2.4 Результирующий тепловой поток излучением $Q_{\text{рез.из}}$ между двумя поверхностями следует определять по формуле

$$Q_{\text{рез.из}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{1.в.п}} + \frac{1}{C_{2.в.п}} - \frac{1}{C_0}} \left[\left(\frac{\tau_{1.в.п} + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\tau_{2.в.п} + 273}{100}\right)^4\right] \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{C_{2.в.п}}{C_0}\right)^2 \left(1 - \frac{C_{1.в.п}}{C_0}\right)\right]. \quad (10)$$

4.1.2.5 Термическое сопротивление воздушной прослойки с учетом многократного отражения и поглощения определяют по формуле

$$R_{в.п} = \frac{\tau_{1.в.п} - \tau_{2.в.п}}{Q_{\text{рез.из}} + Q_{к.т}}. \quad (11)$$

5 Последовательность проведения расчета термического сопротивления воздушной прослойки при наличии отражательной теплоизоляции на ее поверхности

5.1 Расчет термического сопротивления воздушной прослойки с отражательной теплоизоляцией включает в себя следующие этапы:

5.1.1 Предварительно задают термическое сопротивление воздушной прослойки $R_{в.п}$ в зависимости от ее толщины δ (см. таблицу 1) и по формуле (5) для многослойной ограждающей конструкции определяют распределение температуры по слоям стены, в том числе температуры поверхностей воздушной прослойки $\tau_{1.в.п}$ и $\tau_{2.в.п}$.

5.1.2 С учетом коэффициентов излучения серых поверхностей воздушной прослойки определяют по формуле (10) передачу теплоты излучением $Q_{из}$. Составляющие теплового потока конвекцией и теплопроводностью принимают по таблице 3. Значение термического сопротивления воздушной прослойки $R_{в.п}$ определяют по формуле (11).

5.1.3 Проводят повторный пересчет, при котором одна из поверхностей воздушной прослойки будет иметь отражательную теплоизоляцию из алюминиевой фольги C = 0,5 Вт/(м^2 · К^4), а другая — серая поверхность.

5.1.4 Вычисляют термическое сопротивление воздушной прослойки $R_{в.п}$ по формуле (11).

5.1.5 Проводят повторный пересчет с полученным $R_{в.п}$, изменяя значения температурного перепада между поверхностями воздушной прослойки до тех значений термического сопротивления воздушной прослойки, при которых оно будет постоянным.

5.1.6 Рассматривают теплообмен лучистого теплового потока между поверхностями воздушной прослойки в стационарных условиях при многократных отражении и поглощении.

По значению многократных поглощения и отражения падающего лучистого теплового потока между поверхностями воздушной прослойки определяют значения результирующего теплового потока излучением по формуле (10).

Приложение А
(справочное)

Характеристики алюминиевой фольги

Таблица А.1

Толщина, мм	Масса 1 $м^2$, г	Количество квадратных метров в 1 кг, $м^2/кг$
0,005	13,5	74,0
0,0075	20,25	55,5
0,009	24,30	41,0
0,010	27,00	37,0
0,012	32,40	31,0
0,014	37,80	26,5
0,016	43,20	23,1
0,020	54,00	18,0
0,025	67,50	15,0
0,030	81,00	12,0
0,050	135,00	7,4
0,080	216,00	4,6
0,100	270,00	3,7
0,120	324,00	3,1
0,150	405,00	2,5
0,200	540,00	1,8

Приложение Б
(обязательное)

Пример расчета термического сопротивления воздушной прослойки толщиной 5 см при наличии отражательной теплоизоляции на ее поверхности

В качестве примера в настоящем приложении приведена конструкция наружной стены, которая состоит из обшивки с внутренней стороны гипсокартоном толщиной 1,3 см с коэффициентом теплопроводности 0,21 Вт/(м · °С), воздушной прослойки толщиной 5 см, пенополистирола ПСБ-С-25 толщиной 4 см с коэффициентом теплопроводности 0,041 Вт/(м · °С) и кладки из полнотелого кирпича толщиной 51 см с коэффициентом теплопроводности 0,7 Вт/(м · °С)[1)].

Температура внутреннего воздуха составляет $t_в$ = 20 °С, температура наружного воздуха $t_н$ = − 28 °С.

Теплотехнический расчет воздушной прослойки толщиной 5 см следует проводить с учетом многократного отражения и поглощения.

Первый этап

В соответствии с таблицей 1 термическое сопротивление воздушной прослойки принимают равным 0,14 (м^2 · °С)/Вт, а согласно таблице 2 коэффициенты излучения на поверхности гипсокартона 4,14 Вт/(м^2 · К^4) и пенополистирола 4,9 Вт/(м^2 · К^4), величина температурного перепада $\Delta\tau_{в.п} = \tau_{1.в.п} - \tau_{2.в.п}$ = 15,9 − 12,65 = 3,25 °С.

Распределение температуры по слоям многослойной стены определяют по формуле (5):

$R_в$ = 0,115 м^2 · °С/Вт, $t_в$ = 20 °С,

$\tau_в$ = 17,34 °С,

$R_{гипкр} = \frac{0,013}{0,21}$ = 0,062 м^2 · °С/Вт, $\tau_{1.в.п}$ = 15,9 °С,

$R_{в.п}$ = 0,14 м^2 · °С/Вт, $\tau_{2.в.п}$ = 12,65 °С,

$R_{пеноп} = \frac{0,04}{0,041}$ = 0,976 м^2 · °С/Вт, τ_3 = − 9,98 °С,

$R_{кирп} = \frac{0,51}{0,7}$ = 0,729 м^2 · °С/Вт, $\tau_н$ = − 26,88 °С,

$R_н$ = 0,05 м^2 · °С/Вт, $t_н$ = − 28 °С,

R_0 = 2,07 м^2 · °С/Вт · $t_н$ = − 28 °С.

Значение температурного перепада на поверхностях воздушной прослойки составляет $\Delta\tau_{в.п} = \tau_{1.в.п} - \tau_{2.в.п}$ = = 15,9 – 12,65 = 3,25 °С.

Результирующий тепловой поток излучением, Вт/м^2, следует рассчитывать по формуле (10):

$$Q_{рез.из} = \frac{1}{\frac{1}{4,14} + \frac{1}{4,9} - \frac{1}{5,76}}\left[\left(\frac{15,9+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{12,65+273}{100}\right)^4\right]\left[1-\left(1-\frac{4,2}{5,76}\right)^2\left(1-\frac{4,14}{5,76}\right)\right] = 9,3.$$

Количество теплоты, передаваемое конвекцией и теплопроводностью, Вт/м^2, определяют по формуле (8):

$$Q_{т.к} = \frac{0,0615}{0,05}3,25 = 3,99.$$

Термическое сопротивление воздушной прослойки, м^2 · °С/Вт, определяют по формуле (11):

$$R_{в.п} = \frac{3,25}{3,99 + 9,3} = 0,24.$$

[1)] Такая многослойная конструкция стены была использована при строительстве жилых зданий в г. Самара.

Второй этап

Проводят повторный пересчет многослойной стены при R_0 = 2,17 м^2 · °С/Вт и термическом сопротивлении воздушной прослойки 0,24 м^2 · °С/Вт. Определяют распределение температур по сечению стены по формуле (5) и вычисляют значение температурного перепада, °С, на поверхностях, обращенных в воздушную прослойку:

$$\Delta\tau_{в.п} = \tau_{1.в.п} - \tau_{2.в.п} = 16,09 - 10,78 = 5,31.$$

По формуле (10) определяют результирующий тепловой поток излучением, Вт/м^2, когда одна из поверхностей выполнена из отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги с коэффициентом излучения 0,5 Вт/(м^2 · К^4):

$$Q_{рез.из} = \frac{1}{\frac{1}{4,14} + \frac{1}{0,5} - \frac{1}{5,76}}\left[\left(\frac{16,09 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{10,78 + 273}{100}\right)^4\right]\left[1 - \left(1 - \frac{0,5}{5,76}\right)^2\left(1 - \frac{4,14}{5,76}\right)\right] = 2,01.$$

Количество теплоты, передаваемое конвекцией и теплопроводностью, Вт/м^2, определяют по формуле (8):

$$Q_{т.к} = \frac{0,0749}{0,05}5,31 = 7,95.$$

Термическое сопротивление воздушной прослойки, м^2 · °С/Вт, определяют по формуле (11):

$$R_{в.п} = \frac{5,31}{2,01 + 7,95} = 0,53.$$

Третий этап

Проводят повторный пересчет многослойной стены при R_U = 2,46 · м^2 · °С/Вт и термическом сопротивлении воздушной прослойки 0,53 м^2 · °С/Вт. Определяют распределение температур по сечению стены по формуле (5) и вычисляют значение температурного перепада, °С, на поверхностях, обращенных в воздушную прослойку:

$$\Delta\tau_{в.п} = \tau_{1.в.п} - \tau_{2.в.п} = 16,55 - 6,21 = 10,24.$$

Результирующий тепловой поток, передаваемый излучением, Вт/м^2, определяют по формуле (10):

$$Q_{рез.из} = \frac{1}{\frac{1}{4,14} + \frac{1}{0,5} - \frac{1}{5,76}}\left[\left(\frac{16,55 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{6,21 + 273}{100}\right)^4\right]\left[1 - \left(1 - \frac{0,5}{5,76}\right)^2\left(1 - \frac{4,14}{5,76}\right)\right] = 3,29.$$

Количество теплоты, передаваемое конвекцией и теплопроводностью, Вт/м^2, определяют по формуле (8):

$$Q_{т.к} = \frac{0,0877}{0,05}10,24 = 17,92.$$

Термическое сопротивление воздушной прослойки, м^2 · °С/Вт, определяют по формуле (11):

$$R_{в.п} = \frac{10,24}{3,29 + 17,92} = 0,48.$$

Четвертый этап

Проводят повторный пересчет многослойной стены R_0 = 2,41 м^2 · °С/Вт и термическим сопротивлением воздушной прослойки 0,48 м^2 · °С/Вт. Определяют величину температурного перепада, °С:

$$\Delta\tau_{в.п} = \tau_{1.в.п} - \tau_{2.в.п} = 16,48 - 6,92 = 9,56.$$

Результирующий тепловой поток, передаваемый излучением, Вт/м^2, определяют по формуле (10):

$$Q_{рез.из} = \frac{1}{\frac{1}{4,14} + \frac{1}{0,5} - \frac{1}{5,76}}\left[\left(\frac{16,48 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{6,92 + 273}{100}\right)^4\right]\left[1 - \left(1 - \frac{0,5}{5,76}\right)^2\left(1 - \frac{4,14}{5,76}\right)\right] = 3,01.$$

Количество теплоты, передаваемое конвекцией и теплопроводностью, Вт/м^2, определяют по формуле (8):

$$Q_{т.к} = \frac{0,083}{0,05}9,56 = 15,86.$$

Термическое сопротивление воздушной прослойки, $м^2 \cdot °С/Вт$, определяют по формуле (11):

$$R_{в.п} = \frac{9,56}{3,01 + 15,86} = 0,5.$$

Таким образом, на основе последовательного теплотехнического расчета многослойной стены с воздушными прослойками различной толщины с одной из поверхностей, состоящей из отражательной теплоизоляции из алюминиевой фольги $C_{1.в.п} = 0,5$ Вт/($м^2 \cdot К^4$) и другой поверхностью из гипсокартона $C_{2.в.п} = 4,14$ Вт/($м^2 \cdot К^4$) с учетом последовательного отражения и поглощения лучистого потока термическое сопротивление воздушных прослоек при толщине 5 см составило 0,5 $м^2 \cdot °С/Вт$.

Приложение В
(справочное)

Расчетные теплотехнические показатели теплоизоляционных материалов

Таблица В.1

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации А и Б						
	Плотность ρ_0, кг/м^3	Удельная теплоемкость c_0, кДж/(кг · °С)	Теплопроводность λ_0, Вт/(м · °С)	Влажность w, %		Теплопроводность λ_0, Вт/(м · °С)		Теплоусвоение (при периоде 24 ч) S, Вт/(м · °С)		Паропроницаемость μ, мг/(м · ч · Па)
				А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
1 Плиты из пенополистирола	До 10	1,34	0,049	А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
2 Плиты из пенополистирола	10—12	1,34	0,041	2	10	0,052	0,059	0,23	0,28	0,05
3 Плиты из пенополистирола	12—14	1,34	0,040	1	10	0,044	0,050	0,23	0,28	0,05
4 Плиты из пенополистирола	14—15	1,34	0,039	1	10	0,043	0,049	0,25	0,30	0,05
5 Плиты из пенополистирола	15—17	1,34	0,038	2	10	0,042	0,048	0,26	0,30	0,05
6 Плиты из пенополистирола	17—20	1,34	0,037	2	10	0,041	0,047	0,27	0,32	0,05
7 Плиты из пенополистирола	20—25	1,34	0,036	2	10	0,040	0,046	0,29	0,34	0,05
8 Плиты из пенополистирола	25—30	1,34	0,036	2	10	0,038	0,044	0,31	0,38	0,05
9 Плиты из пенополистирола	30—35	1,34	0,037	2	10	0,038	0,044	0,34	0,41	0,05
10 Плиты из пенополистирола	35—38	1,34	0,037	2	10	0,040	0,046	0,38	0,45	0,05
11 Плиты из пенополистирола с графитовыми добавками	15—20	1,34	0,033	2	10	0,035	0,040	0,278	0,32	0,05
12 Плиты из пенополистирола с графитовыми добавками	20—25	1,34	0,032	2	10	0,034	0,039	0,030	0,35	0,05
13 Экструдированный пенополистирол	25—33	1,34	0,029	1	2	0,030	0,031	0,30	0,31	0,005
14 Экструдированный пенополистирол	35—45	1,34	0,030	1	2	0,031	0,032	0,35	0,36	0,005
15 Плиты минераловатные из каменного волокна	180	0,84	0,038	2	5	0,045	0,048	0,74	0,81	0,3

Окончание таблицы В.1

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации А и Б						
	Плотность ρ_0, кг/м^3	Удельная теплоемкость c_0 кДж/(кг °С)	Теплопроводность λ_0, Вт/(м · °С)	Влажность w, %		Теплопроводность λ_0, Вт/(м · °С)		Теплоусвоение (при периоде 24 ч) S, Вт/(м · °С)		Паропроницаемость μ, мг/(м · ч · Па)
16 Плиты минераловатные из каменного волокна	140—175	0,84	0,037	2	5	0,043	0,046	0,68	0,75	0,31
17 Плиты минераловатные из каменного волокна	80—125	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,53	0,59	0,32
18 Плиты минераловатные из каменного волокна	40—60	0,84	0,035	2	5	0,041	0,044	0,37	0,41	0,35
19 Плиты минераловатные из каменного волокна	25—50	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,31	0,35	0,37
20 Плиты из стеклянного штапельного волокна	85	0,84	0,044	2	5	0,046	0,05	0,51	0,57	0,5
21 Плиты из стеклянного штапельного волокна	75	0,84	0,04	2	5	0,042	0,047	0,46	0,52	0,5
22 Плиты из стеклянного штапельного волокна	60	0,84	0,038	2	5	0,04	0,045	0,4	0,45	0,51
23 Плиты из стеклянного штапельного волокна	45	0,84	0,039	2	5	0,041	0,045	0,35	0,39	0,51
24 Плиты из стеклянного штапельного волокна	35	0,84	0,039	2	5	0,041	0,046	0,31	0,35	0,52
25 Плиты из стеклянного штапельного волокна	30	0,84	0,04	2	5	0,042	0,046	0,29	0,32	0,52
26 Плиты из стеклянного штапельного волокна	20	0,84	0,04	2	5	0,043	0,048	0,24	0,27	0,53
27 Плиты из стеклянного штапельного волокна	17	0,84	0,044	2	5	0,047	0,053	0,23	0,26	0,54
28 Плиты из стеклянного штапельного волокна	15	0,84	0,046	2	5	0,049	0,055	0,22	0,25	0,55
29 Пенополиэтилен	26	2,0	0,048	1	2	0,049	0,050	0,44	0,44	0,001
30 Пенополиэтилен	30	2,0	0,049	1	2	0,050	0,050	0,47	0,48	0,001

УДК 697.1:006.354 ОКС 91.060.10

Ключевые слова: отражающая теплоизоляция, излучение, конвекция, теплопроводность, термическое сопротивление, тепловой поток

Редактор *О.В. Рябиничева*
Технические редакторы *В.Н. Прусакова, И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Ю.В. Половой*

Сдано в набор 13.11.2019. Подписано в печать 27.11.2019. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,33. Уч.-изд. л. 2,10.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,

117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru