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

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

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

ПО НАЗНАЧЕНИЮ РАСЧЕТНЫХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Москва 2019

gost.e-ecolog.ru

Содержание

1 Область применения.....1
2 Нормативные ссылки.....1
3 Термины и определения.....3
4 Назначение расчетной теплопроводности строительных материалов для теплотехнических расчетов ограждающих конструкций.....4
5 Определение расчетной теплопроводности строительных материалов с использованием коэффициента теплотехнического качества.....6
6 Определение теплопроводности строительных материалов в сухом состоянии.....8
7 Назначение расчетной влажности строительных материалов для условий эксплуатации конструкции А и Б.....15
8 Определение коэффициента теплотехнического качества строительных материалов.....19
Приложение А Определение коэффициентов условий эксплуатации для теплоизоляционных слоев в различных конструкциях.....23
Приложение Б Обобщенные расчетные влажности строительных материалов при условиях эксплуатации конструкции А и Б.....28
Приложение В Форма протокола испытаний теплопроводности строительных материалов.....34
Приложение Г Расчет эксплуатационной влажности материалов ограждающих конструкций по результатам математического моделирования температурно-влажностного режима.....36
Приложение Д Выражение расчетной теплопроводности через коэффициенты теплотехнического качества.....39
Библиография.....43

Введение

Важнейшей частью теплотехнических расчетов ограждающих конструкций зданий является выбор расчетных теплотехнических показателей строительных материалов.

В процессе эксплуатации зданий влажностное состояние материалов ограждающих конструкций (т. е. содержание в них влаги во всех фазах) изменяется в зависимости от конструктивных особенностей, свойств материалов, температурно-влажностных условий в помещениях, климатических условий района строительства [1]. Эксплуатационной влажностью называется равновесное влагосодержание материала в ограждении в условиях воздействующих на него факторов внутренней и наружной среды во время эксплуатации. Влагосодержание в материале становится равновесным после прохождения стадии строительства и следующей за ней послепостроечной стадии выхода конструкции на квазистационарный (практически неизменяемый в течение одних суток, однако периодически изменяемый в течение года) влажностный режим. Срок этого установления колеблется и зависит от начальной (строительной/технологической) влажности материала, состава конструкции и климатических условий региона строительства. Расчетной влажностью строительных материалов называют эксплуатационную влажность материалов для обобщенных условий эксплуатации А или Б. Соответственно расчетной теплопроводностью материалов называют теплопроводность материала или изделия при условиях эксплуатации конструкции А или Б, т. е. при расчетной влажности А или Б. На основании значений теплопроводности материалов при условиях эксплуатации конструкции А или Б рассчитываются толщины теплоизоляционных слоев многослойной конструкции или же необходимая толщина кладки для однослойной конструкции из условий соответствия нормативным требованиям по тепловой защите.

Основным способом определения эксплуатационной влажности являются натурные исследования. Однако результаты таких исследований даже для одного типа конструкций при одних и тех же климатических условиях региона строительства могут иметь большой разброс. На основании обобщения базы данных натурных исследований во всех климатических зонах Российской Федерации были назначены значения расчетной влажности в условиях эксплуатации А и Б в таблице теплотехнических показателей (таблица Т.1 приложения Т СП 50.13330.2012). Эта таблица в настоящее время является основным справочным пособием по теплотехническим характеристикам строительных материалов при проведении проектировщиками расчетов. Однако для некоторых современных строительных материалов значения в ней неактуальны либо вообще отсутствуют [2].

Для корректного учета теплопроводности строительных материалов при теплотехнических расчетах необходимо решение двух задач – грамотное определение теплопроводности материала в сухом состоянии в лабораторных условиях и безошибочное назначение расчетной теплопроводности в зависимости от выбранных условий эксплуатации конструкции (с учетом поправки теплопроводности в сухом состоянии на эксплуатационную влажность).

Настоящее издание является методическим пособием для проектировщиков к действующим нормативным документам СП 50.13330.2012, СП 345.1325800.2017 в части выбора расчетных теплотехнических показателей строительных материалов и изделий. Настоящее методическое пособие опирается на результаты ранее проведенных исследований [1]–[7].

Для освоения специалистами новых методик расчетов [5]–[7] и описания возможности использования справочных значений расчетных теплотехнических показателей по приложению Т СП 50.13330.2012 настоящее методическое пособие включает в себя подробное изложение

алгоритма выбора показателей материалов для теплотехнических расчетов, необходимые справочные материалы, а также примеры расчетов. До настоящего времени подобных методических материалов не существовало, что зачастую приводило к ошибочному выбору проектировщиками расчетных показателей строительных материалов и изделий при теплотехнических расчетах, а с введением новых методик эта проблема может еще более усугубиться.

Настоящее методические пособие разработано авторским коллективом федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (д-р техн. наук *В.Г. Гагарин* – разделы 4, 5, приложение Д; канд. техн. наук *П.П. Пастушков* – общее научное редактирование всех разделов; канд. техн. наук *Н.В. Павленко* – раздел 6, приложение Б; канд. техн. наук *В.В. Козлов* – раздел 4; канд. техн. наук *Д.Ю. Желдаков* – раздел 7).

1 Область применения

Настоящее методическое пособие распространяется на все строительные материалы и изделия заводского изготовления, используемые в ограждающих конструкциях зданий, и предназначено для назначения расчетных теплотехнических показателей строительных материалов и изделий в том числе: расчетная влажность, расчетная теплопроводность, коэффициент теплотехнического качества.

Настоящее методическое пособие является вспомогательным документом к СП 50.13330, СП 345.1325800.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом пособии использованы нормативные ссылки на следующие документы:

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

ГОСТ 24816–2014 Материалы строительные. Метод определения равновесной сорбционной влажности

ГОСТ 25820–2014 Бетоны легкие. Технические условия

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

ГОСТ 32494–2013 Здания и сооружения. Метод математического моделирования температурно-влажностного режима ограждающих конструкций

ГОСТ 32496–2013 Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия

ГОСТ 33929–2016 Полистиролбетон. Технические условия

ГОСТ Р 53228–2008 Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания

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

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

ГОСТ Р 56732–2015 Материалы и изделия теплоизоляционные. Методы определения характеристик эмиссии волокон при обдувании воздухом

ГОСТ Р 57418–2017 Материалы и изделия минераловатные теплоизоляционные. Метод определения срока эффективной эксплуатации

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

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

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

Примечание – При пользовании настоящим методическим пособием 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 настоящего методического пособия 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 настоящем методическом пособии применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **влажностное состояние ограждающей конструкции:** Состояние ограждающей конструкции, характеризующееся влажностью материалов, из которых она состоит.

3.2 **влажность материала по массе:** Отношение массы влаги в килограммах, содержащейся в парообразной, жидкой и твердой фазах в порах материала, к массе сухого материала, выраженное в процентах.

3.3 **зона влажности района строительства:** Характеристика района территории Российской Федерации, на котором осуществляется строительство.

3.4 **коэффициент теплотехнического качества:** Коэффициент, численно равный отношению приращения теплопроводности материала на 1 % влажности к теплопроводности в сухом состоянии.

3.5 **расчетная влажность:** Эксплуатационная влажность материалов для обобщенных условий эксплуатации конструкции А или Б, принимаемая при определении расчетной теплопроводности.

3.6 **расчетная теплопроводность:** Теплопроводность материала или изделия при условиях эксплуатации конструкции А или Б, используемая в теплотехнических расчетах.

3.7 **теплопроводность в сухом состоянии:** Теплопроводность материала или изделия после сушки.

3.8 **условия эксплуатации ограждающих конструкций:** Характеристика совокупности параметров воздействия внешней и внутренней сред, оказывающих существенное влияние на влажность материалов наружной ограждающей конструкции.

3.9 **холодный (отопительный) период года:** Период года, характеризующийся средней суточной температурой наружного воздуха, равной и ниже 10 °С или 8 °С в зависимости от вида здания.

3.10 **эксплуатационная влажность:** Влажность материала по массе в процессе его эксплуатации в ограждающей конструкции здания.

3.11 **эксплуатационная теплопроводность:** Теплопроводность материала или изделия, определенная в том влажностном состоянии, в котором материал или изделие эксплуатировалось, без предварительной сушки.

4 Назначение расчетной теплопроводности строительных материалов для теплотехнических расчетов ограждающих конструкций

4.1 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции без вентилируемых воздушных прослоек проводят в соответствии с приложением Е СП 50.13330.2012. При расчете термического сопротивления слоя однородной части фрагмента R_s, (м^2·°С)/Вт, для материальных слоев следует учитывать коэффициент условий эксплуатации слоя материала по формуле (Е.7) СП 50.13330.2012

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s} \cdot y_s^{у.э}, \qquad (4.1)$$

где δ_s – толщина слоя, м;

λ_s – теплопроводность материала слоя при условиях эксплуатации конструкции А или Б, Вт/(м·°С), принимаемая по приложению Т СП 50.13330.2012 либо определяемая по разделу 5;

$y_s^{у.э}$ – коэффициент условий эксплуатации слоя материала, доли ед., принимаемый согласно приложению Е СП 345.1325800.2017. При отсутствии данных принимается равным 1.

Примечание – В приложении А к настоящему методическому пособию приведены примеры определения коэффициентов условий эксплуатации для слоев из основных типов теплоизоляционных материалов.

4.2 Условия эксплуатации ограждающих конструкций А или Б в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности района

строительства, необходимые для выбора теплотехнических показателей материалов наружных ограждений, следует устанавливать по таблице 4.1.

Таблица 4.1 – **Условия эксплуатации ограждающих конструкций**

Влажностный режим помещений зданий (по таблице 4.2)	Условия эксплуатации А и Б в зоне влажности (по 4.4)		
	сухой	нормальной	влажной
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б

4.3 Влажностный режим помещений зданий в холодный период года в зависимости от относительной влажности и температуры внутреннего воздуха следует устанавливать по таблице 4.2.

Таблица 4.2 – **Влажностный режим помещений зданий**

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

4.4 Зоны влажности территории Российской Федерации следует определять согласно рисунку 4.1.

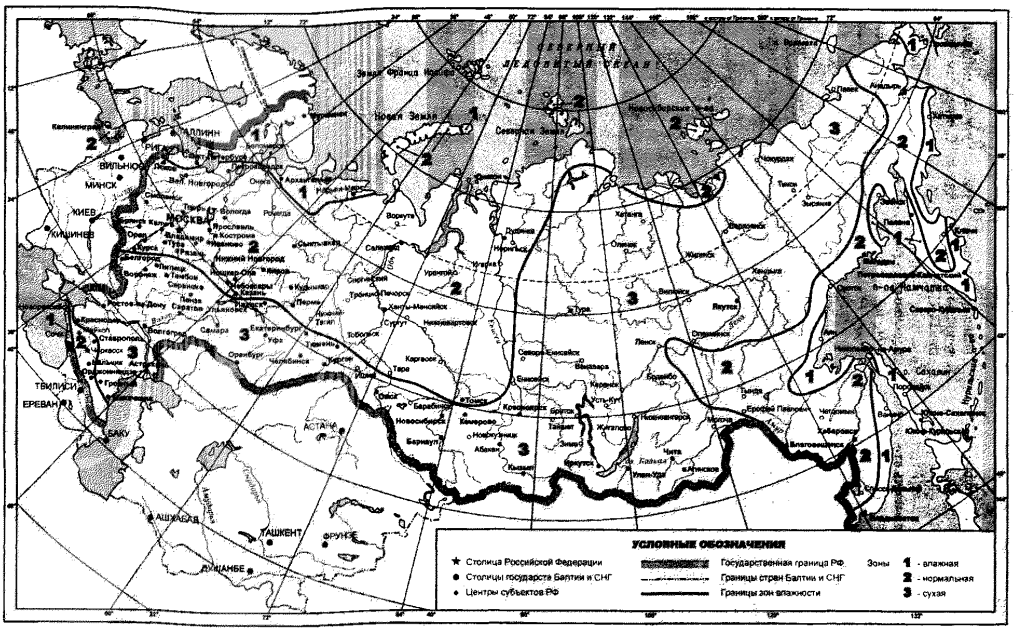

Рисунок 4.1 – **Карта зон влажности**

Пример – При выборе теплотехнических показателей в г. Чита для строительства жилого дома с нормальным влажностным режимом помещений следует использовать условия эксплуатации А. Теплопроводность, например, цементно-песчаного раствора плотностью 1800 кг/м^{3}при условиях эксплуатации А согласно приложению Т СП 50.13330.2012 составляет 0,76 Вт/(м·°С).

5 Определение расчетной теплопроводности строительных материалов с использованием коэффициента теплотехнического качества

5.1 Теплопроводность строительных материалов и изделий при эксплуатационных условиях (при эксплуатационной влажности $w_э$, %), $\lambda_э$, Вт/(м·°С), определяют [5] по формуле

$$\lambda_э = \lambda_0 (1 + \eta \cdot w_э), \qquad (5.1)$$

где λ_0 – теплопроводность материала в сухом состоянии, Вт/(м·°С), определяемая по методике ГОСТ 7076 с учетом положений раздела 6;

η – коэффициент теплотехнического качества, 1/%, определяемый по разделу 8;

$w_э$ – эксплуатационная влажность материала, % по массе.

5.2 Теплопроводность теплоизоляционных материалов и изделий при условиях эксплуатации конструкции А и Б (расчетную теплопроводность) – $\lambda_А$ и $\lambda_Б$, Вт/(м·°С), определяют соответственно по формулам:

$$\lambda_А = \lambda_0(1+\eta \cdot w_А), \quad (5.2а)$$

$$\lambda_Б = \lambda_0(1+\eta \cdot w_Б), \quad (5.2б)$$

где λ_0, η – то же, что в формуле (5.1);

$w_А$, $w_Б$ – расчетные влажности материалов для условий эксплуатации конструкции А и Б соответственно, %, принимаемые по приложению Т СП 50.13330.2012 для данного типа материала либо определяемые по разделу 7.

Примечание – В приложении Б к настоящему методическому пособию приведены обобщенные по данным СП 50.13330 и проведенным исследованиям расчетные влажности строительных материалов для условий эксплуатации А и Б.

5.3 Пример: Необходимо определить расчетную теплопроводность плит минераловатных теплоизоляционных с теплопроводностью в сухом состоянии, λ_0, Вт/(м·°С), при средней температуре 25 °С – 0,038 Вт/(м·°С).

Коэффициент теплотехнического качества η, 1/%, принимают равным 0,04 1/%, как для любой минеральной ваты согласно таблице 8.1.

Расчетные влажности по массе для условий эксплуатации А и Б $w_А$, $w_Б$, %, принимают согласно приложению Т СП 50.13330.2012 для минераловатных плит из каменного волокна – 2 % и 5 % соответственно.

Тогда по формулам (5.2а) и (5.2б) расчетная теплопроводность $\lambda_А$ и $\lambda_Б$ для условий эксплуатации А и Б соответственно равна (с округлением до 0,001Вт/(м^2·°С)): $\lambda_А$ = 0,041 Вт/(м^2·°С), $\lambda_Б$ = 0,046 Вт/(м^2·°С).

6 Определение теплопроводности строительных материалов в сухом состоянии

6.1 Теплопроводность строительных материалов в сухом состоянии следует определять по методике ГОСТ 7076 с учетом дополнений и пояснений, приведенных в настоящем разделе.

6.2 Образцы для испытаний

Изготовляют образцы в виде прямоугольных параллелепипедов, наибольшие (лицевые) грани которых имеют форму квадрата со стороной, равной стороне рабочих поверхностей прибора. Толщина испытуемого образца должна быть меньше длины ребра лицевой грани не менее чем в пять раз.

Примечание – Образцы следует изготовлять и размещать в приборе для испытаний таким образом, чтобы тепловой поток через них был направлен так же, как при эксплуатации материала в составе ограждающей конструкции. Например, при испытаниях минераловатных изделий для сэндвич-панелей образец с необходимыми размерами собирают из нескольких ламелей, нарезанных из плиты так же, как если бы их нарезали для заполнения сэндвич-панели – перпендикулярно к лицевой грани плиты.

Грани образца, контактирующие с рабочими поверхностями прибора, должны быть плоскими и параллельными. Отклонение лицевых граней жесткого образца от параллельности не должно быть более 0,5 мм. Жесткие образцы, имеющие разнотолщинность и отклонения от плоскостности, шлифуют.

Примечание – При испытаниях мягких образцов (например, минераловатных плит малой плотности) допускается «поджатие» образца рабочими поверхностями прибора, но так, чтобы толщина образца уменьшилась от номинальной не более чем на 5 %. При этом рабочие поверхности прибора должны оставаться параллельными друг другу.

Толщину образцов измеряют штангенциркулем с погрешностью не более 0,1 мм в четырех углах на расстоянии (50,0 ± 5,0) мм от вершины угла и посредине каждой стороны. За толщину образца принимают среднее арифметическое значение результатов всех измерений. Толщина образца не должна быть менее 20 мм.

Примечание – Если изделие имеет толщину больше, чем максимальное расстояние между рабочими поверхностями прибора, то образец разрезают на несколько частей с необходимой толщиной. При этом каждая часть образца нумеруется соответствующим образом для дальнейших испытаний по 6.4. Например, если минераловатная плита имеет толщину 150 мм, а прибор рассчитан на толщину образцов не более 50 мм, то образец разрезают на три части, которые нумеруются следующим образом: № образца.1, № образца.2, № образца.3.

Если изделие имеет толщину менее 20 мм, то образец составляют из нескольких слоев до достижения минимально необходимой толщины, при этом слои должны плотно прилегать друг к другу без зазоров с воздухом.

Длину и ширину образца в плане измеряют линейкой с погрешностью не более 0,5 мм.

Правильность геометрической формы и размеры образца теплоизоляционного материала определяют по ГОСТ 17177.

Минимальное число образцов для испытаний одной марки материала – три. При этом должна быть возможность, при необходимости, подготовить еще два образца для дополнительных испытаний.

6.3 Подготовка к испытанию

Если не требуется определение коэффициента теплотехнического качества по разделу 8, то проводят сушку образцов в сушильном шкафу. Температуру сушки образцов принимают по техническим условиям на материал или изделие. Стандартная температура сушки для полимерных материалов составляет 65 °С, для остальных – 105 °С.

Образец считают высушенным до постоянной массы, если потеря его массы за два последовательных взвешивания с интервалом 0,5 ч не превышает 0,1 %. По окончании сушки определяют массу образца m_0, кг, и его плотность ρ_0, кг/м^3.

Сравнивают полученные плотности образцов. Они не должны отличаться между собой более чем на 3 %. В противном случае это может сказаться на большом разбросе результатов испытаний теплопроводности, и для испытаний необходимо будет изготовление новых образцов.

6.4 Проведение испытаний

Испытания проводят на поверенном в установленном порядке приборе.

Разность температур между рабочими поверхностями прибора должна устанавливаться от 10 °С до 30 °С.

Примечание – Допускается пользоваться следующей зависимостью при определении оптимальной разности температур между рабочими поверхностями – на каждый 1 мм толщины образца должно приходиться 0,5 °С. Например, для образца толщиной 50 мм оптимальной разностью температур между рабочими поверхностями будет 25 °С.

Температура в помещении, где проводят испытания, должна отличаться от средней температуры испытания не более чем на 5 °С (в любую сторону) и быть неизменной на всем протяжении проведения испытаний. Если необходимая температура для испытаний в помещении не может быть достигнута, то прибор помещают в климатическую камеру с заданной необходимой температурой окружающего воздуха, соответствующей средней температуре испытания.

Температуры на рабочих поверхностях прибора устанавливают таким образом, чтобы среднее значение совпадало с заданной средней температурой испытаний. Например, при испытаниях при средней температуре 25 °С и разностью между рабочими поверхностями 25 °С, температуры на поверхностях должны быть установлены 12,5 °С и 37,5 °С соответственно.

6.5 Обработка результатов испытаний

После проведения испытаний всех образцов анализируют полученные результаты.

Если на всех трех образцах получены одинаковые результаты испытаний теплопроводности, то это значение считается результатом испытаний для данного материала

В случае если для двух образцов материала были получены одинаковые результаты испытаний теплопроводности, при этом для третьего получен

иной результат, но отличающийся на величину, не выходящую за пределы погрешности используемого прибора (в большинстве случаев для современных приборов относительная погрешность составляет ±5 %), то за результат испытаний принимают среднее арифметическое значение всех испытанных образцов с округлением до 0,001 Вт/(м·°С).

В случае если для всех трех образцов получены различные результаты испытаний теплопроводности, дополнительно испытывают еще два образца. Далее сравнивают разброс между полученными результатами испытаний. Если минимальное и максимальное значения теплопроводности всех испытанных образцов отличаются не более чем на предел погрешности используемого прибора, то за результат испытаний принимают среднее арифметическое значение всех испытанных образцов с округлением до 0,001 Вт/(м·°С). Если же этот критерий не выполняется, то отбрасывают результат образца с минимальным значением теплопроводности. При этом если на оставшихся результатах четырех других образцов он выполнен, то за результат испытаний принимают среднее арифметическое значение этих четырех образцов с округлением до 0,001 Вт/(м·°С). В противном случае испытания считают несостоявшимися и для определения теплопроводности материала подготовляют новые образцы.

В тех случаях, когда выполнить условия настоящего подраздела не удается (например, при испытаниях напыляемой изоляции, когда фактически невозможно подготовить одинаковые образцы), минимально необходимое число образцов – десять. При этом в протокол испытаний как значение теплопроводности материала заносят среднестатистическое значение теплопроводности по результатам обработки результатов испытаний всех образцов с указанием полученного при испытаниях разброса полученных значений теплопроводности.

При испытаниях образцов с толщиной больше, чем максимальное расстояние между рабочими поверхностями прибора, экспериментально устанавливают термическое сопротивление каждой части образца, а не

теплопроводность. Находят общее термическое сопротивление всех частей, составляющих один образец, как сумму термических сопротивлений всех частей:

$$R_o = R_1 + R_2 + \ldots + R_n = \sum_{i=1}^{n} R_i . \qquad (6.1)$$

Далее эффективную теплопроводность образца рассчитывают, как отношение общей толщины (суммы толщин) всех частей образца к общему термическому сопротивлению (сумме термических сопротивлений):

$$\lambda_o = \frac{\delta_o}{R_o}, \qquad (6.2)$$

где $\delta_o = \delta_1 + \delta_2 + \ldots + \delta_n = \sum_{i=1}^{n} \delta_i$.

6.6 Определение теплопроводности газонаполненных материалов

6.6.1 Для газонаполненных материалов, у которых после производства происходит процесс замещения газа в порах на воздух и вследствие этого изменяется теплопроводность, теплопроводность в сухом состоянии устанавливают следующим образом [4], [6].

Проводят испытания не менее пяти образцов, за результат очередного по времени испытания принимают среднее арифметическое значение всех испытанных образцов с округлением до 0,0001 Вт/(м·°С). Всего проводят не менее пяти испытаний, каждый раз увеличивая промежуток времени между ними: например, второе испытание через 5 суток после первого испытания, третье – через 10 суток после второго, четвертое – через 15 суток после третьего, пятое – через 20 суток после четвертого. Первое испытание следует провести в возможно кратчайшие сроки после производства (рекомендуется срок не более одной недели от момента производства).

По полученным экспериментальным данным пяти измерений ($\{t_i, \lambda_i\}$, i = 0, 1, …, 5, где t_i – время с момента первого испытания в сутках, λ_i – результат очередного испытания, Вт/(м·°С)), строят аппроксимирующую прямую в

координатах $\left\{\ln\left(\frac{\lambda_i-\lambda_0}{\lambda_{i-1}-\lambda_0}\right),(t_{i-1}-t_i)\right\}$. Угловой коэффициент этой прямой – параметр s, $с^{-1}$, характеризующий скорость замены газа воздухом.

Далее строят аппроксимирующую прямую в координатах $\left\{(\lambda_i-\lambda_0),\left(1-e^{-s\cdot t_i}\right)\right\}$. Угловой коэффициент этой прямой – параметр $(\lambda_в-\lambda_г)\zeta_д$, Вт/(м·°С) – разность теплопроводности воздуха и газа, поступающего в поры при производстве материала, умноженная на долю дисперсной фазы в материале.

По найденным параметрам возможно установить теплопроводность газонаполненных полимерных материалов в любой момент времени:

$$\lambda=\lambda_0+\left[(\lambda_в-\lambda_г)\zeta_д\right]\cdot\left[1-e^{-st}\right], \tag{6.3}$$

а также значение установившейся теплопроводности:

$$\lambda_\infty=\lambda_0+\left[(\lambda_в-\lambda_г)\zeta_д\right]. \tag{6.4}$$

6.6.2 Пример определения закона изменения теплопроводности с течением времени и установившейся теплопроводности в сухом состоянии плит из пенополиизоцианурата (PIR)

При определении закона изменения теплопроводности с течением времени и установившейся теплопроводности в сухом состоянии плит PIR результаты испытаний теплопроводности через различные промежутки времени должны быть представлены в таблице по форме, показанной в таблице 6.1.

Таблица 6.1

	Теплопроводность в сухом состоянии при 25 °С, λ_0, Вт/(м·°С)				
	30 сут после пр-ва	90 сут после пр-ва	150 сут после пр-ва	270 сут после пр-ва	360 сут после пр-ва
Среднее значение	0,023	0,024	0,025	0,026	0,0265

За начальную точку было принято испытание спустя 30 сут от даты производства, что соответствует ситуации с началом эксплуатации материала спустя месяц от даты производства. По описанному алгоритму найден параметр s = 0,0048 $с^{-1}$, характеризующий скорость замещения газа в порах на воздух, а также параметр $(\lambda_в - \lambda_г)\zeta_д$ = 0,045 Вт/(м·°С), где $\lambda_г$ – теплопроводность газа, закачиваемого при производстве, $\lambda_в$ – теплопроводность воздуха, $\zeta_д$ – объемная доля дисперсной фазы в материале, доли ед.

Подстановка рассчитанных параметров в уравнение (6.1) позволяет вывести закон изменения теплопроводности испытанного материала в зависимости от времени: $\lambda = 0{,}023 + 0{,}0045 \cdot [1 - e^{-0{,}0048t}]$ Вт/(м·°С).

По найденным параметрам значение установившейся теплопроводности PIR, рассчитанное по формуле (6.2), составляет: $\lambda_\infty = 0{,}023 + 0{,}0045 = 0{,}0275$ Вт/(м^2· °С).

6.7 Представление результатов

Описание результатов определения теплопроводности при эксплуатационных условиях должно содержать следующую информацию:

- теплопроводность материала в сухом состоянии с указанием средней температуры в образце, при которой проводились испытания;

- коэффициент теплотехнического качества, который принимался при расчетах;

- расчетная влажность материала для условий эксплуатации конструкции А и Б, при которой определялась расчетная теплопроводность;

- расчетная теплопроводность при условиях эксплуатации конструкции А и Б.

Рекомендуемая форма протокола испытаний теплопроводности строительных материалов представлена в приложении В к настоящему методическому пособию.

7 Назначение расчетной влажности строительных материалов для условий эксплуатации конструкции А и Б

7.1 Общие сведения

Методика объединяет последовательность действий, направленных на определение эксплуатационной влажности материалов в составе различных конструкций и назначения по этим данным расчетной влажности для условий эксплуатации А и Б. Последовательность действий такая:

а) выбирают объекты (здания) для проведения исследований. В них выбирают конструкции, пригодные для отбора проб на влажность;

б) проводят отбор проб материалов из ограждающих конструкций;

в) проводят обработку взятых проб и определяют их влажность;

г) по полученному распределению влажности по сечению слоев ограждающей конструкции определяют эксплуатационную влажность материалов слоев.

д) по полученной выборке эксплуатационных влажностей в различных вариантах ограждающих конструкций и различных климатических районах строительства назначают расчетную влажность для условий эксплуатации А и Б.

7.2 Выбор ограждающих конструкций для проведения натурных исследований

Для проведения натурных исследований подбирают здания в заданном районе строительства с определенными климатическими условиями. До проведения натурных исследований здание должно эксплуатироваться не менее трех лет. Ограждающие конструкции здания должны быть доступны для отбора проб и последующего восстановления целостности. Строительный материал, влажность которого необходимо определить, должен быть достаточно легко извлекаем из конструкции, чтобы обеспечить точность проводимых экспериментов (влажность не должна измениться при изъятии пробы и последующем помещении в бюксы).

7.3 Последовательность проведения отбора проб материалов

Отбор проб материалов проводят в такой последовательности:

а) подготовляют бюксы – выполняют очистку, просушку, притирку крышек;

б) проводят изъятие проб из слоя материала – с помощью специального инструмента (шлямбура либо ножа) извлекают послойно образцы материала с промежутком через 10 мм. При невозможности брать пробы с указанной периодичностью необходимо зафиксировать координату слоя конструкции, из которого извлечена проба (при этом фиксировать на бюксе, какой координате соответствует изъятая проба);

в) сразу после изъятия очередной пробы необходимо плотно закрыть бюксу крышкой, а также маркером указать координату конструкции, из которой извлечена проба;

г) взвешивают бюксы с пробами и фиксируют массы $m_{вi}$, г, где i – номер пробы. Выполняют привязку номера бюксы и координаты конструкции x_i, см.

7.4 Определение влажности в отобранных пробах материалов

Влажность проб материалов определяют термогравиметрическим методом в лабораторных условиях в такой последовательности:

а) открывают крышки в бюксах и помещают их в сушильный шкаф;

б) проводят сушку проб до постоянной массы при температуре согласно 6.3;

в) взвешивают бюксы с соответствующей крышкой с отобранными образцами материала в сухом состоянии, фиксируют соответствующие массы $m_{сi}$, г;

г) взвешивают бюксы с соответствующей крышкой без пробы материала, фиксируют соответствующие массы $m_{бi}$, г;

д) при каждом из трех взвешиваний (измерение массы бюксы с влажным образцом, массы бюксы с сухим образцом, массы пустой бюксы) заносят результаты в соответствующие графы таблицы;

е) влажность *i*-й пробы определяют по формуле

$$w_i = \frac{m_{вi} - m_{ci}}{m_{ci} - m_{вi}} \cdot 100\ \% \qquad (7.1)$$

7.5 Расчет эксплуатационной влажности по результатам натурных исследований влажности ограждающих конструкций

В случае если пробы материала извлекали из конструкции через равные промежутки, то эксплуатационную влажность слоя конструкции $w_э$, %, определяют, как среднее арифметическое значение влажностей всех изъятых проб.

Если промежутки были разными, то используют формулу

$$w_э \approx \frac{\delta}{\sum_1^n \frac{\Delta x_i}{\frac{1}{\eta} + w_i}} - \frac{1}{\eta}, \qquad (7.2)$$

где δ – общая толщина исследуемой конструкции;

η – коэффициент теплотехнического качества, 1/%;

w_i – влажность материала при *i*-й пробе, толщиной Δx_i.

7.6 Назначение расчетной влажности для условий эксплуатации А и Б по результатам натурных исследований

7.6.1 Назначение расчетной влажности по результатам натурных исследований необходимо проводить по алгоритму, приведенному в 7.6.2–7.6.7.

7.6.2 Необходимо выделить два вида ограждающих конструкций из перечня: железобетонные трехслойные панели, кладки, трехслойные стены с

эффективным утеплителем и облицовкой кирпичной кладкой, системы фасадные теплоизоляционные композиционные (СФТК), системы наружной теплоизоляции с вентилируемой воздушной прослойкой (НФС), тонкостенные панели (в том числе сэндвич-панели), стены с внутренним утеплением, в которых в основном применяют данный строительный материал (при необходимости перечень видов конструкции может быть расширен с обоснованием).

7.6.3 Согласно таблице 2 СП 50.13330.2012 выбирают по три различных сочетания зоны влажности региона строительства и влажностного режима в помещении, соответствующих условиям эксплуатации А и Б. При этом исследования должны быть проведены в не менее чем трех различных регионах строительства.

Примечание – Допускается вместо трех различных сочетаний зон влажности региона строительства и влажностного режима в помещении, соответствующих условиям эксплуатации А и Б, проводить обследования в двух, при этом третье сочетание замещать численными расчетами по методике ГОСТ 32494, но только в случае если проверка результатов натурных исследований и численных расчетов по методике ГОСТ 32494 на одном из сочетаний, на котором проводились натурные исследования, показала расхождение значений эксплуатационной влажности, полученных экспериментально и методом математического моделирования, не более 25 %.

7.6.4 Пример расчета эксплуатационной влажности материалов ограждающей конструкции по результатам математического моделирования температурно-влажностного режима по методике ГОСТ 32494 представлен в приложении Г настоящего методического пособия.

7.6.5 Для каждой выбранной конструкции, для каждого сочетания региона строительства и влажностного режима в помещении необходимо подобрать по два здания для обследования, удовлетворяющим требованиям 7.1. Таким образом, для назначения расчетной влажности строительного материала в условиях эксплуатации А должно быть выбрано 12 зданий (по два здания для каждого из двух видов конструкции в трех регионах

строительства). Таким же образом должно быть подобрано 12 зданий для назначения расчетной влажности в условиях эксплуатации Б.

Примечание – Допускается вместо натурных исследований на двух зданиях каждой из выбранных конструкций, проводить отбор проб на одном, а для другого результаты замещать численными расчетами по методике ГОСТ 32494, но только если для здания, на котором проведены натурные исследования, полученные результаты расходятся с результатами, полученными методом математического моделирования, не более чем на 25 %. В таком случае для натурных исследований подбирают шесть зданий для условий эксплуатации А и шесть для условий эксплуатации Б. В каждом из выбранных зданий должны быть проведены натурные исследования по 7.2. Далее должны быть определены значения эксплуатационной влажности материала по 7.3 и 7.4.

7.6.6 Для назначения расчетной влажности материала в условиях эксплуатации А должно быть проведено осреднение полученных значений эксплуатационных влажностей в исследованных 12 зданиях. В случае если полученное среднее значение отличается от максимального значения эксплуатационной влажности, полученного в результате исследований, не более, чем на 30 %, то за расчетную влажности в условиях эксплуатации А принимают среднее значение по результатам исследований. В противном случае необходимо провести дополнительное обследование для еще двух зданий с таким же видом конструкции и в том же регионе строительства, что и здание, в котором было получено максимальное значение эксплуатационной влажности. Эти два дополнительных значения необходимо включить в результаты общей выборки и осреднение проводить уже по всем исследованным зданиям.

7.6.7 Для назначения расчетной влажности типа теплоизоляционного материала в условиях эксплуатации Б необходимо провести действия, подобные описанным в 7.6.6, но для соответствующего набора зданий.

8 Определение коэффициента теплотехнического качества строительных материалов

8.1 Средства испытаний

Для экспериментального определения коэффициента

теплотехнического качества применяют следующие оборудование и средства измерений:

- прибор для определения теплопроводности по ГОСТ 7076;
- электрошкаф сушильный лабораторный;
- весы по ГОСТ Р 53228.

8.2 Подготовка образцов

Для экспериментального определения коэффициента теплотехнического качества подготовляют образцы в виде квадратных пластин с размерами, которые предусматривает прибор для определения теплопроводности. Число образцов должно быть не менее пяти. Образцы перед началом испытаний предварительно не высушивают.

Примечание – При незначительных значениях начальной влажности в образцах (менее 1 % по массе) допускается проведение искусственного увлажнения образцов при условии равномерного распределения влажности в образце (например, помещением образцов в климатическую камеру на 48 ч с поддерживаемой относительной влажностью воздуха выше 90 %).

8.3 Проведение испытаний

Образцы взвешивают с точностью до 0,01 г. Устанавливают начальную массу образцов m_1, г.

Определяют теплопроводность образцов материала по методике ГОСТ 7076 при той влажности образцов, при которой они были доставлены на испытания, – эксплуатационная теплопроводность $\lambda_э$, Вт/(м·°С).

Образцы высушивают в лабораторном сушильном шкафу до постоянной массы по методике ГОСТ 17177. Температуру сушки устанавливают по нормативному документу или техническим условиям на материал. Устанавливают массу образцов в сухом состоянии, m_0, г.

Устанавливают эксплуатационную влажность образцов $w_э$, %, по формуле

$$w_э = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100\ \%. \qquad (8.1)$$

Определяют теплопроводность образцов материала по методике ГОСТ 7076 в сухом состоянии λ_0, Вт/(м·°С).

Для каждого образца рассчитывают приращение теплопроводности на 1 % влажности $\Delta\lambda$, Вт/(м·°С·%), по формуле

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_э - \lambda_0}{w_э}. \qquad (8.2)$$

Для каждого образца рассчитывают коэффициент теплотехнического качества η, 1/%, по формуле

$$\eta = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}. \qquad (8.3)$$

8.4 Обработка результатов испытаний

Коэффициент теплотехнического качества исследуемого вида материала η, 1/%, определяют, как среднее арифметическое значение всех найденных коэффициентов теплотехнического качества испытанных образцов и округляют до 0,005.

8.5 Коэффициенты теплотехнического качества основных типов теплоизоляционных материалов

Для основных типов теплоизоляционных материалов, представленных в таблице 8.1, экспериментальное определение коэффициентов теплотехнического качества не требуется [5]. В расчетах по методике раздела 5 необходимо использовать значения по таблице 8.1.

Таблица 8.1 – **Коэффициенты теплотехнического качества**

Тип теплоизоляционного материала	Коэффициент теплотехнического качества η, 1/%
Минеральная вата (из каменного или стеклянного волокна)	0,04
Ячеистый бетон	0,04
Экструдированный пенополистирол	0,035
Пенополистирол	0,03
Пенополиизоцианурат/ пенополиуретан	0,03
Примечание – Другие примеры определения и использования коэффициентов теплотехнического качества приведены в приложении Д к настоящему методическому пособию.	

Приложение А

Определение коэффициентов условий эксплуатации для теплоизоляционных слоев в различных конструкциях

А.1 Коэффициенты условий эксплуатации слоя материала $y_s^{у.э.}$, доли ед., определяют по результатам натурных или лабораторных испытаний.

Ниже приведены методики определения коэффициентов условий эксплуатации и примеры расчетов для слоев из основных типов теплоизоляционных материалов в составе различных частей ограждающих конструкций.

А.2 Минераловатные и полимерные теплоизоляционные материалы в кровлях, СФТК и слоистых кладках

А.2.1 Коэффициент условий эксплуатации теплоизоляционного слоя в кровельных конструкциях, СФТК и слоистых кладках для минераловатных материалов определяют согласно показателям, определенным по методике ГОСТ Р 57418, для полимерных – по действующим нормативным документам:

$$y_s^{у.э.} = \frac{R_N}{R_0}, \qquad (А.1)$$

где R_0 – термическое сопротивление после контрольных испытаний (до проведения циклов замораживания и оттаивания), (м$^2\cdot$°С)/Вт;

R_N – термическое сопротивление, (м$^2\cdot$°С)/Вт, после N условных годовых циклов.

Примечание – N соответствует определенному по ГОСТ Р 57418 либо по действующим нормативным документам (для полимерных теплоизоляционных материалов) сроку эффективной эксплуатации материала слоя теплоизоляции и максимально может быть равен 50 лет.

В случае если срок эффективной эксплуатации минераловатных или полимерных теплоизоляционных материалов в кровлях, СФТК или слоистых кладках равен 50 годам, коэффициент условий эксплуатации

теплоизоляционного слоя в таких конструкциях можно приближенно принять равным 0,9.

А.2.2 Пример определения коэффициента условий эксплуатации теплоизоляционных слоев из каменной ваты разных марок, используемых в кровельных конструкциях, СФТК и слоистых кладках

В таблице А.1 представлены результаты испытаний термического сопротивления R, Вт/(м^2·°С), образцов каменной ваты по методике ГОСТ Р 57418: контрольных, после 30, 60 и 100 циклов замораживания-оттаивания, соответствующих 15, 30 и 50 условным годовым циклам соответственно.

Таблица А.1

Испытания	Марка каменной ваты		
	«Кавити Баттс» (для слоистой кладки)	«Фасад Баттс Оптима» (для СФТК)	«Руф Баттс Д Стандарт» (для кровли)
Контрольные	1,300	1,255	1,395
После 30 циклов (15 условных годовых циклов)	1,270	1,25	1,384
После 60 циклов (30 условных годовых циклов)	1,239	1,248	1,378
После 100 циклов (50 условных годовых циклов)	1,226	1,217	1,370

По методике ГОСТ Р 57418 был определен срок эффективной эксплуатации испытанных марок N, равный 50 годам. Тогда по формуле (А.1) коэффициент условий эксплуатации теплоизоляционного слоя из каменной ваты для испытанных марок равен 0,94; 0,97 и 0,98 соответственно.

А.3 Минераловатные теплоизоляционные материалы в НФС

А.3.1 Расчет снижения за счет эмиссии волокон из минераловатных теплоизоляционных материалов термического сопротивления теплоизоляционного слоя в НФС за срок эксплуатации и соответствующий расчет коэффициента условий эксплуатации проводят согласно найденному по методике ГОСТ Р 56732 коэффициенту эмиссии волокон χ, м/с:

$$y_s^{у.э.} = 1 - \frac{(365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \Delta T) \cdot \chi}{\delta_0}, \qquad (А.2)$$

где ΔT – срок эксплуатации минераловатных изделий в составе НФС, год;

δ_0 – начальная толщина теплоизоляционного слоя, м.

В случае если срок эффективной эксплуатации минераловатных изделий в составе НФС равен 50 годам, коэффициент условий эксплуатации теплоизоляционного слоя в НФС можно приближенно принять равным 0,95.

А.3.2 Пример определения коэффициента условий эксплуатации теплоизоляционных слоев из каменной ваты разных марок, используемых в НФС

В таблице А.2 представлены результаты расчетов коэффициентов эмиссии волокон, χ, м/с по методике ГОСТ Р 56732 для трех марок, используемых в качестве теплоизоляционного слоя НФС.

Таблица А.2

Марка плит	Коэффициент эмиссии волокон χ, 10^{-14} м/с
«Венти Баттс Н Оптима»	2,58
«Венти Баттс Д»	1,05
«Венти Баттс Оптима»	1,52

Подставляя срок эксплуатации минераловатных изделий в составе НФС ΔT = 50 лет и начальную толщину теплоизоляционного слоя δ_0 = 0,2 м в формулу (А.2), получают, что для испытанных марок каменной ваты

коэффициент условий эксплуатации теплоизоляционного слоя составляет 0,99.

А.4 Полимерные теплоизоляционные материалы в заглубленных конструкциях и конструкциях, контактирующих с грунтом

А.4.1 Коэффициент условий эксплуатации для слоя из полимерных теплоизоляционных материалов в заглубленных конструкциях и конструкциях, контактирующих с грунтом, определяют согласно показателям, определенным по методике действующих нормативных документов по формуле (А.1).

В случае если срок эффективной эксплуатации полимерной теплоизоляции в заглубленных конструкциях и конструкциях, контактирующих с грунтом, равен 50 годам, коэффициент условий эксплуатации теплоизоляционного слоя в таких конструкциях можно приближенно принять равным 0,9.

А.4.2 Пример определения коэффициента условий эксплуатации теплоизоляционных слоев из разных типов полимерных теплоизоляционных материалов, используемых в заглубленных конструкциях и конструкциях, контактирующих с грунтом

В таблице А.3 представлены результаты испытаний термического сопротивления R, Вт/(м^2·°С), образцов разных типов полимерных теплоизоляционных материалов по методике действующих нормативных документов: контрольных, после 30, 60 и 100 циклов замораживания-оттаивания, соответствующих 15, 30 и 50 условным годовым циклам соответственно.

Таблица А.3

Испытания	Тип теплоизоляционного материала	
	XPS	PIR
Контрольные	1,515	1,538
После 30 циклов (15 условных годовых циклов)	1,515	1,481
После 60 циклов (30 условных годовых циклов)	1,470	1,481
После 100 циклов (50 условных годовых циклов)	1,470	1,481

По методике действующих нормативных документов определен срок эффективной эксплуатации испытанных марок N, равный 50 годам. Тогда по формуле (А.1) коэффициент условий эксплуатации теплоизоляционного слоя из полимерных теплоизоляционных материалов испытанных типов равен 0,97 и 0,96 соответственно.

Приложение Б

Обобщенные расчетные влажности строительных материалов при условиях эксплуатации конструкции А и Б

Таблица Б.1

Материал	Расчетная влажность w, %, при условиях эксплуатации	
	А	Б
Теплоизоляционные материалы и изделия		
Плиты из пенополистирола плотностью от 7 до 40 кг/м^3	2	10
Экструзионный пенополистирол плотностью от 20 до 45 кг/м^3	1	2
Пенополиуретан/пенополиизацианурат плотностью от 30 до 80 кг/м^3	2	5
Плиты из резольно-фенолформальдегидного пенопласта плотностью от 50 до 80 кг/м^3	5	20
Перлитопластбетон плотностью от 100 до 200 кг/м^3	2	3
Перлитофосфогелевые изделия плотностью от 200 до 300 кг/м^3	3	12
Алюмосиликатное пеностекло плотностью от 100 до 160 кг/м^3	1	2
Пенополиэтилен плотностью от 26 до 30 кг/м^3	1	2
Теплоизоляционные изделия из вспененного синтетического каучука плотностью от 60 до 95 кг/м^3	5	15
Плиты минераловатные из каменного волокна плотностью от 25 до 175 кг/м^3	2	5

Плиты из стеклянного штапельного волокна плотностью от 15 до 85 кг/м^3	2	5
Плиты древесно-волокнистые и древесно-стружечные плотностью от 200 до 1000 кг/м^3	10	12
Плиты фибролитовые и арболит на портландцементе плотностью от 400 до 500 кг/м^3	10	15
Плиты камышитовые плотностью от 200 до 300 кг/м^3	10	15
Плиты торфяные теплоизоляционные плотностью от 100 до 1600 кг/м^3	15	20
Пакля	7	12
Плиты из гипса плотностью от 1100 до 1350 кг/м^3	4	6
Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка) плотностью от 800 до 1050 кг/м^3	4	6
Изделия из вспученного перлита на битумном связующем плотностью от 200 до 300 кг/м^3	1	2
Засыпки		
Гравий керамзитовый плотностью от 200 до 600 кг/м^3	2	3
Гравий шунгизитовый плотностью от 400 до 700 кг/м^3	2	4
Щебень шлакопемзовый и аглопоритовый плотностью от 400 до 800 кг/м^3	2	3
Пористый гравий с остеклованой оболочкой из доменного и ферросплавного шлаков плотностью от 400 до 700 кг/м^3	2	3
Щебень и песок из перлита вспученного плотностью от 300 до 500 кг/м^3	1	2
Вермикулит вспученный плотностью от 100 до 200 кг/м^3	1	3
Песок для строительных работ плотностью 1600 кг/м^3	1	2

Конструкционные и конструкционно-теплоизоляционные материалы		
Бетоны на заполнителях из пористых горных пород		
Туфобетон плотностью от 1200 до 1800 кг/м^3	7	10
Бетон на литоидной пемзе плотностью от 800 до 1600 кг/м^3	4	6
Бетон на вулканическом шлаке плотностью от 800 до 1600 кг/м^3	7	10
Бетоны на искусственных пористых заполнителях		
Керамзитобетон на керамзитовом песке плотностью от 500 до 1800 кг/м^3	5	10
Керамзитобетон на кварцевом песке с умеренной (до $V_в$ = 12 %) поризацией плотностью от 800 до 1200 кг/м^3	4	8
Керамзитобетон на перлитовом песке плотностью от 800 до 1000 кг/м^3	9	13
Керамзитобетон беспесчанный плотностью от 300 до 700 кг/м^3	3,5	6
Шунгизитобетон плотностью от 1000 до 1400 кг/м^3	4	7
Перлитобетон плотностью от 600 до 1200 кг/м^3	10	15
Бетон на шлакопемзовом щебне плотностью от 1000 до 1800 кг/м^3	5	8
Бетон на остеклованном шлаковом гравии плотностью от 1000 до 1800 кг/м^3	4	6
Мелкозернистые бетоны на гранулированных доменных и ферросплавных шлаках плотностью от 1200 до 1800 кг/м^3	5	8
Аглопоритобетон и бетоны на заполнителях из топливных шлаков плотностью от 1000 до 1800 кг/м^3	5	8
Бетон на зольном обжиговом и безобжиговом гравии плотностью от 1000 до 1400 кг/м^3	5	8

Вермикулитобетон плотностью от 300 до 800 кг/м^3	8	13
Бетоны особо легкие на пористых заполнителях и ячеистые		
Полистиролбетон на портландцементе плотностью от 150 до 600 кг/м^3	4	8
Полистиролбетон модифицированный на шлакопортландцементе плотностью от 200 до 500 кг/м^3	3,5	7
Газобетон автоклавного твердения плотностью от 100 до 800 кг/м^3	4	6
Пенобетон на цементном вяжущем плотностью от 100 до 800 кг/м^3	6	12
Газо- и пенобетон на известняковом вяжущем плотностью от 500 до 1000 кг/м^3	12	18
Газо- и пенозолобетон на цементном вяжущем плотностью от 800 до 1200 кг/м^3	15	22
Кирпичная кладка из сплошного кирпича		
Глиняного обыкновенного на цементно-песчаном растворе плотностью 1800 кг/м^3	1	2
Глиняного обыкновенного на цементно-шлаковом растворе плотностью 1700 кг/м^3	1,5	3
Глиняного обыкновенного на цементно-перлитовом растворе плотностью 1600 кг/м^3	2	4
Силикатного на цементно-песчаном растворе плотностью 1800 кг/м^3	2	4
Трепельного на цементно-песчаном растворе плотностью от 1000 до 1200 кг/м^3	2	4
Шлакового на цементно-песчаном растворе плотностью 1500 кг/м^3	1,5	3
Кирпичная кладка из пустотного кирпича		
Керамического пустотного плотностью 1400 кг/м^3 (брутто) на цементно-песчаном растворе (плотностью 1600 кг/м^{3}в сухом состоянии)	1	2

Керамического пустотного плотностью 1300 кг/м^3 (брутто) на цементно-песчаном растворе (плотностью 1400 кг/м^3 в сухом состоянии)	1	2
Керамического пустотного плотностью 1000 кг/м^3 (брутто) на цементно-песчаном растворе (плотностью 1200 кг/м^3 в сухом состоянии)	1	2
Силикатного одиннадцатипустотного на цементно-песчаном растворе плотностью 1500 кг/м^3	2	4
Силикатного четырнадцатипустотного на цементно-песчаном растворе плотностью 1400 кг/м^3	2	4
Дерево и изделия из него		
Сосна и ель поперек волокон плотностью 500 кг/м^3	15	20
Сосна и ель вдоль волокон плотностью 500 кг/м^3	15	20
Дуб поперек волокон плотностью 700 кг/м^3	10	15
Дуб вдоль волокон плотностью 700 кг/м^3	10	15
Фанера клееная плотностью 600 кг/м^3	10	13
Картон облицовочный плотностью 1000 кг/м^3	5	10
Картон строительный многослойный плотностью 650 кг/м^3	6	12
Конструкционные материалы		
Бетоны		
Железобетон плотностью 2500 кг/м^3	2	3
Бетон на гравии или щебне из природного камня плотностью 2400 кг/м^3	2	3
Раствор цементно-песчаный плотностью 1800 кг/м^3	2	4
Раствор сложный (песок, известь, цемент) плотностью 1700 кг/м^3	2	4
Раствор известково-песчаный плотностью 1600 кг/м^3	2	4
Облицовка природным камнем		

Гранит, гнейс и базальт плотностью 2800 кг/м^3	0	0
Мрамор плотностью 2800 кг/м^3	0	0
Известняк плотностью от 1400 до 2000 кг/м^3	2	3
Туф плотностью от 1000 до 2000 кг/м^3	3	5
Материалы кровельные, гидроизоляционные, облицовочные и рулонные покрытия для полов		
Листы асбестоцементные плоские плотностью от 1600 до 1800 кг/м^3	2	3
Битумы нефтяные строительные и кровельные плотностью от 1000 до 1400 кг/м^3	0	0
Асфальтобетон плотностью 2100 кг/м^3	0	0
Рубероид, пергамин, толь плотностью 600 кг/м^3	0	0
Линолеум поливинилхлоридный на теплоизолирующей подоснове плотностью от 1600 до 1800 кг/м^3	0	0
Линолеум поливинилхлоридный на тканевой основе плотностью от 1400 до 1800 кг/м^3	0	0
Металлы и стекло		
Сталь стержневая арматурная плотностью 7850 кг/м^3	0	0
Чугун плотностью 7200 кг/м^3	0	0
Алюминий плотностью 2600 кг/м^3	0	0
Медь плотностью 8500 кг/м^3	0	0
Стекло оконное плотностью 2500 кг/м^3	0	0

Приложение В

Форма протокола испытаний теплопроводности строительных материалов

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ №_____ от _____

Основание для проведения испытаний: *например, договор на проведение работ*[1].

Наименование продукции: *указывают тип и марки испытываемых материалов.*

Цель испытаний: *например, определение теплопроводности при средней температуре 10 °С, 25 °С в сухом состоянии; определение расчетной теплопроводности при условиях эксплуатации А и Б.*

Производитель продукции: *указывается производитель продукции согласно информации на упаковке.*

Предъявитель образцов продукции: *указывается организация (может совпадать с производителем продукции), предоставившая образцы на испытания согласно акту приема-передачи либо акту отбора образцов.*

Адрес: *указывается адрес производства продукции (отдельно указывается адрес предъявителя образцов, если он отличен от адреса производства).*

Методика испытаний: *ГОСТ 7076, методика по определению расчетной теплопроводности.*

Сведения об испытуемых образцах: *указывают форму и размеры образцов для испытаний.*

Количество испытуемых образцов: *указывают, сколько образцов каждой марки материала было испытано.*

[1] Здесь и далее светлым курсивом дана краткая характеристика информации, приводимой в данном пункте протокола.

Средства испытаний: *указывают прибор для измерения теплопроводности с информацией о поверке, а также дополнительные средства испытаний – сушильный шкаф, весы и пр.*

Дополнительные сведения об испытаниях:

Дата испытания образцов:

Наименование испытанных материалов

имеет следующие показатели теплопроводности:

Марка	Теплопроводность, Вт/(м·°С)			
	В сухом состоянии, λ_{10}	В сухом состоянии, λ_{25}	Расчетные значения* при условиях эксплуатации А и Б	
			$\lambda_А$	$\lambda_Б$

* *Определены исходя из теплопроводности в сухом состоянии при средней температуре 25 °С и влажности для условий эксплуатации А и Б – 2 % и 5 % соответственно согласно приложению Т СП 50.13330.2012.*

Приложение Г

Расчет эксплуатационной влажности материалов ограждающих конструкций по результатам математического моделирования температурно-влажностного режима

Г.1 Для проведения расчетов по математической модели, изложенной в ГОСТ 32494, необходимы исходные данные, приведенные в Г.1.1–Г.1.3.

Г.1.1 Характеристики граничных условий:

- температура наружного воздуха, переменная в течение года, принимаемая по СП 131.13330;

- температура внутреннего воздуха, принимаемая в соответствии с условиями проектирования;

- относительная влажность наружного воздуха, переменная в течение года, принимаемая по СП 131.13330;

- относительная влажность внутреннего воздуха, принимаемая в соответствии с условиями проектирования;

- коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей, принимаемые по СП 50.13330.

Числовые значения этих величин необходимо иметь на начало каждого месяца, изменение их в течение месяца следует принять линейным.

Г.1.2 Характеристики материалов конструкции

В таблице Г.1 приведен необходимый для расчетов по математической модели перечень свойств материалов и методы их определения.

Таблица Г.1 – **Перечень свойств материалов и методы их определения**

Наименование характеристики материала	Обозначение	Значения в таблицах	Метод определения
Плотность	ρ	СП 50.13330	В зависимости от типа материала
Удельная теплоемкость	c	СП 50.13330	ГОСТ 23250
Теплопроводность	λ	СП 50.13330	ГОСТ 7076

Изотерма сорбции	$\varphi(w)$	–	ГОСТ 24816
Коэффициент паропроницаемости	μ	СП 50.13330	ГОСТ 25898
Коэффициент капиллярного всасывания	K	–	ГОСТ Р 56505
Коэффициент влагопроводности	β	–	ГОСТ Р 56504

Г.1.3 Характеристики конструкции:

- толщина и порядок расположения однородных слоев в конструкции;
- места расположения пароизоляционных слоев и значение их сопротивления паропроницаемости;
- начальная (технологическая) влажность материалов конструкции.

Г.2 Пример определения эксплуатационной влажности

Необходимо установить по результатам математического моделирования эксплуатационную влажность слоев ограждающей конструкции, представляющей собой СФТК с основанием из автоклавного газобетона D400 толщиной 300 мм и утеплителем из экструзионного пенополистирола (XPS) толщиной 50 мм, отделанную с двух сторон штукатурными слоями (изнутри толщиной 20 мм, снаружи 10 мм).

При расчетах принималось, что температура и влажность в помещении остаются постоянными в течение года и равны 20 °С и 55 % соответственно. Температура и относительная влажность воздуха снаружи конструкции изменяются – в таблицах Г.2 и Г.3 представлены данные по СП 131.13330, рассчитанные на начало месяца, для рассмотренных городов строительства Российской Федерации.

Таблица Г.2 – **Температура на начало месяца**

Город	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Москва	–8,75	–9,7	–6,75	0,05	8,15	13,95	17,05	17,2	13,5	7,5	1,2	–4,6
Санкт-Петербург	–6,4	–7,8	–5,85	–0,4	6,45	12,4	16,4	16,9	13,45	7,9	2,3	–2,65
Владивосток	–11,15	–11,45	–6,1	1,2	7,35	11,85	16,15	19,75	18,9	13,25	4,7	–4,75
Краснодар	–0,25	–1,1	1,85	7,8	14,15	18,85	22	23	20,15	14,5	8,5	3,35
Екатеринбург	–14,3	–14,55	–10,25	–2,1	6,35	12,55	16,15	16,05	12,05	5,2	–2,8	–9,95
Новосибирск	–17,65	–18,05	–13,7	–4,3	5,9	13,5	17,85	17,4	12,95	6	–3,65	–12,85

Таблица Г.3 – **Относительная влажность воздуха на начало месяца**

Город	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Москва	84,5	82,5	79,5	72	62	58,5	61	65,5	70,5	75,5	80	83,5
Санкт-Петербург	87	85	81	75,5	69,5	67	69,5	74	79	82,5	85,5	87,5
Владивосток	63,5	64	65,5	68	73	82,5	90	90	83	73	65	62,5
Краснодар	84,5	83,5	79,5	72,5	67,5	66,5	65	63,5	65,5	72	79	83
Екатеринбург	80,5	78	73,5	67,5	61	59	64	70	73,5	76	78	80
Новосибирск	81	79	78	74	64,5	62,5	69	74	76	76,5	79,5	82

На рисунке Г.1 представлены графики распределения влажности внутри конструкции в различных городах строительства, полученные по результатам расчетов по методике ГОСТ 32494. Результаты приведены на начало февраля (месяца наибольшего влагонакопления) после трех лет эксплуатации здания.

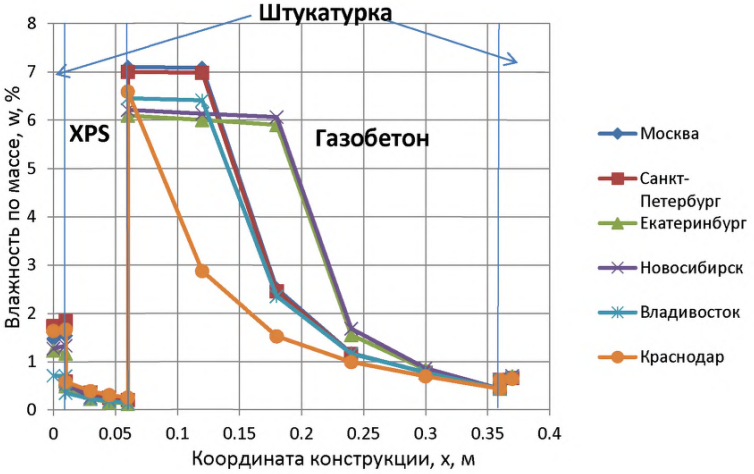

Рисунок Г.1

В таблице Г.4 представлены значения эксплуатационной влажности слоев конструкции, вычисленные по 7.4.

Таблица Г.4 – **Эксплуатационная влажность материалов конструкции**

Материал	Эксплуатационная влажность $w_э$, %, для города					
	Москва	Санкт-Петербург	Екате-ринбург	Ново-сибирск	Влади-восток	Краснодар
Газобетон	3,18	3,13	3,47	3,56	2,93	2,18
XPS	0,32	0,35	0,24	0,28	0,23	0,38

Приложение Д
Выражение расчетной теплопроводности через коэффициенты теплотехнического качества

Д.1 Теплопроводность строительного материала во влажном состоянии может быть представлена [1] в виде:

$$\lambda_э = \lambda_0 + \Delta\lambda \cdot w_э, \qquad (Д.1)$$

где λ_0 – теплопроводность материала в сухом состоянии, Вт/(м·°С);

$\Delta\lambda$ – приращение теплопроводности на 1 % влажности, Вт/(м·°С·%);

$w_э$ – эксплуатационная влажность материала по массе, %.

Для решения различных задач строительной теплофизики уравнение (Д.1) преобразуется к виду:

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda \cdot w_э = \lambda_0\left(1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \cdot w_э\right) = \frac{\lambda_0 - \lambda_в}{\rho_0} \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda_0 - \lambda_в}\left[1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \cdot w_э\right]\rho_0, \qquad (Д.2)$$

и на основании (Д.2) вводятся коэффициенты теплотехнического качества (КТК) (по аналогии с коэффициентом конструкционного качества (ККК)) материала, которые равны:

$$КТК_{11} = \frac{\lambda_0 - \lambda_в}{\rho_0}, \qquad (Д.3)$$

$$КТК_{12} = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 - \lambda_в}, \qquad (Д.4)$$

$$КТК_{21} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}, \qquad (Д.5)$$

$$КТК_{22} = w_э. \qquad (Д.6)$$

Тогда расчетная теплопроводность материала представляется в виде:

$$\lambda = КТК_{11} \cdot КТК_{12} \cdot (1 + КТК_{21} \cdot КТК_{22}) \cdot \rho_0 \qquad (Д.7)$$

Если так же обозначить как $КТК_1$ выражение $КТК_{11} \cdot КТК_{12}$:

$$КТК_1 = КТК_{11} \cdot КТК_{12}, \qquad (Д.8)$$

и как $КТК_2$ выражение $(1 + КТК_{21} \cdot КТК_{22})$:

$$КТК_2 = 1 + КТК_{21} \cdot КТК_{22}, \qquad (Д.9)$$

а их произведение в формуле (3.7) обозначить КТК и назвать коэффициентом теплотехнического качества:

$$КТК = КТК_1 \cdot КТК_2, \qquad (Д.10)$$

то получается, что расчетная теплопроводность материала пропорциональна плотности материала с коэффициентом пропорциональности, равным КТК. Тогда КТК аналогичен коэффициенту конструкционного качества ККК, который равен отношению прочности материала к его плотности. Чем больше ККК, тем лучше материал в конструкционном отношении. В свою очередь, чем меньше КТК, тем лучше материал в теплотехническом отношении.

Каждый из введенных коэффициентов теплотехнического качества имеет свой физический смысл:

- $КТК_1$ показывает, на сколько увеличивается теплопроводность материала в сухом состоянии при увеличении его плотности на 1 кг/м^3;

- $КТК_2$ характеризует влияние влажности на расчетную теплопроводность материала. Если $КТК_2 = 1$, то влажность не оказывает влияния на теплопроводность материала;

- $КТК_{11}$ показывает, на сколько увеличивается теплопроводность скелета материала (без влияния теплопроводности воздуха) при увеличении плотности материала на 1 кг/м^3;

- $КТК_{12}$ показывает степень влияния теплопроводности воздуха на теплопроводность материала в сухом состоянии. Чем ближе теплопроводность материала к теплопроводности воздуха, тем больше $КТК_{12}$, приближаясь к бесконечности;

- $КТК_{21}$ показывает долю от λ_0 увеличения теплопроводности материала при увеличении его влажности на 1 %. Этот коэффициент является характеристикой материала;

- $КТК_{22}$ является расчетной влажностью материала. Этот коэффициент является характеристикой не только материала, но и конструкции, условий ее эксплуатации и климатических условий.

При разработке нового материала необходимо стремиться к понижению $КТК_1$ и $КТК_{21}$. При проектировании ограждающих конструкций – к понижению расчетной влажности материалов, т.е. $КТК_{22}$.

В разделе 5 для удобства, принято обозначение $КТК_{21} – \eta$, 1/%, а $КТК_{22} – w_э$, %. Таким образом, формула (Д.1) принимает вид:

$$\lambda_э = \lambda_0 + \Delta\lambda \cdot w_э = \lambda_0(1 + \eta \cdot w_э). \qquad (Д.11)$$

Д.2 Пример сравнения по значениям $КТК_{11}$ теплотехнических качеств автоклавного ячеистого бетона с использованием песка (газобетона) и золы-уноса (газозолобетона) [3]

Результаты испытаний теплопроводности в сухом состоянии для одних и тех же марок по плотности представлены в таблице Д.1.

Таблица Д.1

Марка по плотности	Теплопроводность в сухом состоянии, λ_{25}, Вт/(м·°С)	
	Газобетон	Газозолобетон
D300	0,095	0,075
D400	0,116	0,100
D500	0,135	0,121

По результатам испытаний построены зависимости теплопроводности от плотности с линейной аппроксимацией (рисунок Д.1).

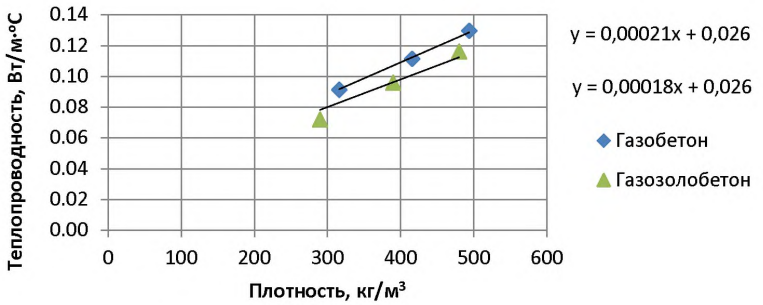

Рисунок Д.1

При условии, что при плотности 0 кг/м^3 теплопроводность равна теплопроводности воздуха в спокойном состоянии – 0,026 Вт/(м·°С) полученная зависимость теплопроводности автоклавного газобетона на песке в сухом состоянии описывается уравнением

$$\lambda_0 = 0{,}00021\,\rho + 0{,}026 \text{ Вт/(м·°С).} \qquad \text{(Д.12)}$$

Аналогичная зависимость для газозолобетона описывается уравнением

$$\lambda_0 = 0{,}00018\,\rho + 0{,}026 \text{ Вт/(м·°С).} \qquad \text{(Д.13)}$$

Таким образом, сравнивая КТК$_{11}$, можно сделать вывод, что скелет газозолобетона на 15 % эффективнее скелета газобетона на песке с теплотехнической точки зрения.

Библиография

[1] Гагарин В.Г. Теория состояния и переноса влаги в строительных материалах и теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий. – Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – М., 2000. – 396 с.

[2] Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Определение расчетной влажности строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 8. – С. 28–33

[3] Пастушков П.П., Гагарин В.Г. Исследования зависимости теплопроводности и коэффициента теплотехнического качества от плотности автоклавного газобетона // Строительные материалы. – 2017. № 5. – С. 26–28

[4] Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Изменение во времени теплопроводности газонаполненных полимерных теплоизоляционных материалов // Строительные материалы. – 2017. – № 6. – С. 28–31

[5] Отчет о НИОКР «Разработка методик определения теплотехнических показателей теплоизоляционных материалов при эксплуатационных условиях» (№ регистрации АААА-А18-118041090125-4). – М.: НИИСФ РААСН, 2018. – 100 с.

[6] Отчет о НИОКР «Разработка методик прогнозирования эксплуатационных теплофизических показателей для определения коэффициентов условий эксплуатации теплоизоляционных материалов в составе ограждающих конструкций зданий» (№ регистрации АААА-А18-118041090141-4). – М.: НИИСФ РААСН, 2018. – 152 с.

[7] Пастушков П.П. О проблемах определения теплопроводности строительных материалов // Строительные материалы. 2019. – № 4. – С. 57–63.

Ключевые слова: здания и сооружения, строительные материалы, ограждающие конструкции, теплотехнические расчеты, условия эксплуатации А и Б, теплопроводность, расчетная теплопроводность, коэффициент теплотехнического качества, эксплуатационная влажность, температурно-влажностный режим

gost.e-ecolog.ru