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

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

Методическое пособие

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАМЕННЫХ КЛАДОК И СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Москва 2017 г.

gost.e-ecolog.ru

Содержание

1 Введение 3

2 Область применения 4

3 Нормативные ссылки 5

4 Термины, определения и сокращения 6

5 Общие положения 7

6 Методы определения теплотехнических показателей стеновых материалов и изделий 11

7 Примеры расчетов приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен из каменных кладок, с учетом характеристик всех элементов кладки 32

Приложение А 50

Приложение Б 78

Библиография 84

1 Введение

Методические рекомендации разработаны в развитие положений СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003», а так же ГОСТ Р 55338-2012 «Кладка каменная и изделия для нее. Методы определения расчетных значений показателей теплозащиты» для реализации проектировщиками и изготовителями стеновых штучных изделий требований по теплозащите, заложенных в строительных нормах и правилах, и для выполнения рационального проектирования.

В Методических рекомендациях использованы данные (характеристики материалов), полученные в лабораториях НИИСФ РААСН, НИИМосстроя, других научно-исследовательских организаций и учреждений РФ, а так же данные Европейских стандартов, в частности ЕН1745.

Методические рекомендации содержат подробное описание экспериментальных методов определения теплотехнических параметров стеновых материалов и изделий, а так же фрагментов кладок. Изложена методика сравнительной оценки теплотехнической эффективности строительных материалов посредством коэффициентов теплотехнического качества (КТК), а так же рассчитаны данные коэффициенты для ряда строительных материалов.

Представлены табличные данные по плотности и теплопроводности основных стеновых материалов, кроме того, указаны принятые в отечественной практике проектирования и строительства значения коэффициента паропроницаемости, удельной теплоемкости и значения приращения теплопроводности на 1% влажности.

Приведены данные по термическому сопротивлению и эквивалентной теплопроводности каменной кладки ряда пустотелых изделий.

Пособие разработано авторским коллективом сотрудников НИИСФ РААСН в составе: гл. н. сотр., к. т. н. И.В. Бессонов (руководитель темы), н. сотр., к. т. н. А.Н. Сапелин, вед. инженеры А.В. Старостин, С.В. Погосов, техник А.В. Успенская, техник Коморова Н.А.

2 Область применения

Настоящие методические рекомендации устанавливают методы определения расчетных значений теплозащитных свойств наружных стен из каменных кладок. Распространяются на кладки из керамических, бетонных, композитных штучных стеновых изделий (полнотелых и пустотелых камней, блоков, кирпичей), включая слоистые кладки со вставками из теплоизоляционных материалов.

Методические рекомендации охватывают тематику оценки теплотехнических свойств стеновых изделий для кладки, без учета теплопроводных включений таких как перемычки надоконные, металлические крепежные элементы навесных фасадов, дверные и оконные проемы и др.. Эти факторы учитывают используя методику, изложенную в ГОСТ Р 54851 «Конструкции строительные ограждающие неоднородные. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче».

Настоящие методические рекомендации не распространяются методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций действующих объектов. Натурный метод определения сопротивления теплопередаче наружных стен из каменных кладок эксплуатируемых зданий в зимний период представлен в ГОСТ Р 54853 «Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера».

3 Нормативные ссылки

ГОСТ Р 54851-2011 Конструкции строительные ограждающие неоднородные. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче

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

ГОСТ Р 57356-2016 Конструкции ограждающие строительные и их элементы. Метод расчета сопротивления теплопередаче и коэффициента теплопередачи

ГОСТ 379-2015 Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Общие технические условия

ГОСТ 530-2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия

ГОСТ 6133-84 Камни бетонные стеновые. Технические условия

ГОСТ 7076-98 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме

ГОСТ 21718-84 Материалы строительные. Диэлькометрический метод измерения влажности

ГОСТ 24816-2014 Материалы строительные. Метод определения сорбционной влажности

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

ГОСТ 26254-84 Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

ГОСТ 31360-2007 Изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия

СП50.13330.2012 Тепловая защита зданий

СП131.13330.2012 Строительная климатология

4 Термины, определения и сокращения

Изделия и материалы для каменной кладки: изделия для каменной кладки, кладочные и штукатурные растворы, предназначенные для возведения каменной кладки.

Полнотелое изделие для каменной кладки (полнотелое изделие): изделие для каменной кладки без пустот, за исключением поверхностных углублений (например, отверстия для захвата, желоба и т.д.).

Пустотелое изделие для каменной кладки (пустотелое изделие): изделие для каменной кладки с системой изолированных пустот.

Многослойное изделие для каменной кладки (многослойное изделие): изделие для каменной кладки, состоящее из двух или более слоев различного строительного материала, обеспечивающих качество эксплуатационных характеристик.

Расчетное значение теплотехнического показателя: значение теплотехнического показателя строительного материала или изделия при определенных условиях эксплуатации, характерное для данного материала или изделия, применяемого в строительной конструкции или здании. Расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий применяют для проведения расчетов на соответствие поэлементного, комплексного и санитарно-гигиенического требований тепловой защиты зданий.

КТК – коэффициенты теплотехнического качества строительных материалов.

Эквивалентная теплопроводность λ, Вт/(м·°С): значение теплопроводности, получаемое при делении толщины пустотелого или многослойного изделия или толщины каменной кладки на соответствующее термическое сопротивление без учета поверхностного термического сопротивления.

5 Общие положения

5.1 Строительный материал для жилища должен быть безопасным, то есть не только не разрушаться в силу случайных причин, будь то кратковременный нагрев или попадание воды, но и не выделять при этом каких-либо компонентов, прямо или косвенно ухудшающих качество жизни в здании. Материал должен сохранять свои свойства неизменными в течении, как минимум, проектного времени эксплуатации здания, которое составляет не менее ста лет.

5.2 Все строительные материалы представляют собой капиллярно-пористые тела, где структурные элементы твердого вещества разделяют воздушное пространство на более или менее изолированные части. И чем меньше эти изолированные части воздуха, тем меньше перенос тепла за счет конвективных потоков и тем меньше теплопроводность. Теплопроводность, в свою очередь, находится в зависимости от влажности материала температуры его применения.

Все строительные материалы имеют капилляры и поры, которые содержат влагу. Строительные материалы содержат поры различных типов и формы, что иллюстрируется на Рисунок 8, диаметром от 10^{-9} м до 10^{-3} м. Вода может существовать в порах в трех состояниях: твердом (лед), жидком (вода) и газообразном (пар). Влага может мигрировать различными способами, такими как диффузия пара, перемещение жидкости и фазовыми изменениями вследствие испарения-конденсации и замерзания-плавления [3].

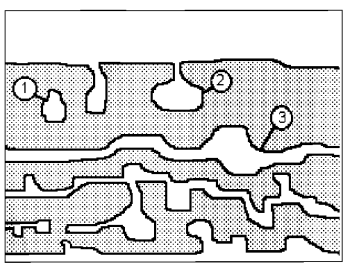


Рисунок 1 – Различные типы и конфигурации пор строительных материалов:
1 – закрытые поры; 2 – тупиковые поры; 3 – протяженные поры-каналы

5.3 Теплопроводность строительных материалов повышается с ростом их влажности. Для прогнозирования теплозащитных свойств в эксплуатационных

условиях необходимо знать влажность, которую ограждающие конструкции будут иметь при эксплуатации в зимний период.

5.4 Сорбционное увлажнение является одним из основных влажностных показателей строительных материалов, используемых во многих расчетах, является его. Оно характеризуется изотермами сорбции и десорбции водяного пара строительными материалами. Методы определения этих изотерм были разработаны в физической химии и затем перенесены для исследования свойств строительных материалов.

В отечественной литературе употребляется термин «расчетная влажность» или «влажность при условиях эксплуатации». По различным данным практическая расчетная влажность для правильно спроектированных ограждающих конструкций колеблется в пределах от влажности, соответствующей сорбционному увлажнению при φ = 80% до максимального сорбционного увлажнения при φ = 95%. Однако в условиях сурового климата или увлажнении ограждающей, конструкции жидкой влагой (технологической, косые дожди и др.) практическая влажность может быть выше.

5.5 В СП50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» приведены значения эксплуатационной влажности строительных материалов, полученные в результате многочисленных, натурных исследований влажностного состояния ограждения и соответствующие им значения расчетной теплопроводности материалов.

Для новых строительных материалов, по которым отсутствует опыт эксплуатации, получить значения эксплуатационной влажности можно только на основе лабораторных исследований и расчета влажностного состояния ограждающих конструкций.

Наиболее известен эксикаторный метод определения сорбционной влажности. Для строительных материалов он был разработан К.Ф. Фокиным и в настоящее время является основой действующего стандарта ГОСТ 24816. Этот метод обладает простотой и надежностью, хотя является довольно длительным, и значения сорбционной влажности для различных φ определяются на различных образцах.

5.6 Метод экспериментального определения паропроницаемости строительных материалов был разработан К.Ф. Фокиным. Исследованиями паропроницаемости строительных материалов много занимался В.М. Ильинский [2]. Метод определения паропроницаемости, предложенный К.Ф. Фокиным вошел в ГОСТ 25898.

Одним из наиболее распространенных методов экспериментального определения теплопроводности материалов является стационарный метод, который положен в основу ГОСТ 7076. Этот метод позволяет определять теплопроводность строительных материалов при различной влажности, но при положительной температуре. В исследовательских целях часто применяется определение теплопроводности материалов и теплозащитных свойств ограждающих конструкций в климатических камерах или натурных условиях.

5.7 Перечисленные характеристики используют в расчетах влажностного режима конструкций в годичном цикле эксплуатации. В частности, раздел СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» посвящен защите от переувлажнения ограждающих конструкций. Очевидно, что переувлажненный материал обладает высокой теплопроводностью и, соответственно, конструкция теряет теплозащитные свойства. Во избежание накопления влаги, сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения должно быть не менее требуемого значения.

В сплошной кирпичной стене точка росы находится примерно на расстоянии 1/3 от наружной поверхности, а в трехслойной – в утеплителе. Следовательно, во разные материалы кладки могут иметь разную влажность. В разделе 7 приведен пример расчета защиты от переувлажнения ограждающей конструкции по СП50.13330.2012 с использованием коэффициентов паропроницаемости материалов.

5.8 Малый коэффициент теплопроводности воздуха в порах строительных материалов, достигающий 0,024 Вт/(м°С), привел к идее создания пустотных стеновых изделий. При этом, необходимо учитывать, что передача теплоты воздушными прослойками происходит иначе, чем в твердых и сыпучих телах. Термическое сопротивление слоя, состоящего из твердого или сыпучего материала,

прямо пропорционально его толщине, а следовательно, количество теплоты, проходящей через слой, при постоянной разности температур на его поверхностях обратно пропорционально его толщине. Для воздушной прослойки такой пропорциональности не существует. В твердом материале передача теплоты происходит только теплопроводностью, в воздушной прослойке к этому присоединяется еще передача теплоты конвекцией и излучением.

Конвекция воздуха в прослойке возникает вследствие разности температур на ее поверхностях, при этом у поверхности с более высокой температурой воздух нагревается и движется в направлении снизу вверх, а у более холодной поверхности охлаждается и движется в направлении сверху вниз. Таким образом, в вертикальной воздушной прослойке создается постоянная циркуляция воздуха.

Коэффициент передачи теплоты конвекцией возрастает с увеличением толщины прослойки. Это возрастание объясняется тем, что в тонких прослойках восходящий и нисходящий токи воздуха взаимно тормозятся и в очень тонких прослойках (меньше 5 мм) конвекция становится равной нулю. С увеличением толщины прослойки и увеличением разности температур на поверхностях конвекционные токи воздуха становятся более интенсивными. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке пустотелых стеновых изделий.

5.9 В настоящем методических рекомендациях использованы данные отечественных нормативных документов, а так же данные европейского стандарта EN 1745.

6 Методы определения теплотехнических показателей стеновых материалов и изделий

6.1 Экспериментальный метод

6.1.2 Метод экспериментального определения сопротивления теплопередаче стены на фрагменте кладки

6.1.2.1 Для определения расчетных значений теплопроводности и термического сопротивления фрагмента каменной кладки применяют теплоизолированную климатическую камеру, состоящую из теплого и холодного отсеков, разделенных испытуемой конструкцией.

Допускается использовать климатическую камеру, состоящую из холодного отсека, в проем которого монтируют испытуемый фрагмент, и приставного теплого отсека, а также другое оборудование при условии обеспечения их в холодном и теплом отсеках камеры стабильного теплового режима.

6.1.2.2 При проведении экспериментальных определений в холодном и теплом отсеках климатической камеры устанавливают температуру, соответствующую расчетным зимним условиям эксплуатации ограждающей конструкции.

6.1.2.3 Длина и ширина испытуемого фрагмента каменной кладки должны не менее чем в четыре раза превышать его толщину и быть не менее 1500×1000 мм.

6.1.2.4 При испытаниях фрагмента каменной кладки стыки, примыкания и другие виды соединения элементов кладки между собой должны быть выполнены в соответствии с проектным решением.

6.1.2.5 При проведении испытаний температуру и относительную влажность воздуха в отсеках климатической камеры поддерживают автоматически с точностью ± 1 °С и ± 5% соответственно.

6.1.2.6 Кладку из кирпичей, камней или блоков выполняют по толщине из одного тычкового и одного ложкового рядов с учетом растворных швов, если иное не предусмотрено проектом.

6.1.2.7 Кладку из керамического крупноформатного камня выполняют толщиной в один камень, расположенный тычком, если иное не предусмотрено проектом.

6.1.2.8 Кладку из полнотелых бетонных камней и пустотелых бетонных камней с равномерным расположением пустот по всему сечению изготавливают только из ложковых рядов. Кладку из пустотелых бетонных камней с продольным неравномерным расположением пустот по всему сечению камня изготавливают в двух вариантах: один фрагмент – из тычкового ряда камней, второй фрагмент – из ложкового.

6.1.2.9 Кладку выполняют на кладочном растворе марки 50, средней плотностью 1800 кг/м^3, на портландцементе марки 400, с осадкой конуса для полнотелых изделий 12–13 см, для пустотелых – 9 см. Допускается применение других кладочных растворов и клеев, составы которых указывают в протоколе испытаний.

6.1.2.10 Фрагмент кладки из изделий со сквозными пустотами следует выполнять по технологии, исключающей заполнение пустот кладочным раствором, либо с заполнением пустот раствором, о чем делается запись в протоколе испытаний.

6.1.2.11 Комбинированные кладки, в том числе со слоем из эффективного теплоизоляционного материала, выполняют в соответствии с требованиями проекта и описанием технологии производства работ.

6.1.2.12 Оштукатуривание наружной или внутренней поверхности фрагмента каменной кладки проводят, если таковое предусмотрено проектом. Состав штукатурного раствора и технология нанесения должны быть описаны в протоколе испытаний.

6.1.2.13 После выполнения кладки по контуру фрагмента устраивают теплоизоляцию из плитного утеплителя, термическое сопротивление теплоизоляции должно быть не менее 5,0 (м$^2\cdot$°С)/Вт.

6.1.2.14 Испытания фрагмента каменной кладки проводят в два этапа.

Первый этап – каменную кладку выдерживают перед испытаниями до влажности не более 6% по массе.

Второй этап – проводят дополнительную сушку каменной кладки до влажности 1–3% по массе.

Допускается высушивание фрагмента каменной кладки посредством обдува наружной поверхности и обогрева внутренней поверхности софитами и др. нагревателями.

6.1.2.15 Влажность изделий в кладке перед испытаниями и в процессе испытаний определяют приборами неразрушающего контроля, посредством влагомера строительных конструкций и материалов по ГОСТ 21718. По завершении испытаний при демонтаже фрагмента кладки проводят послойный отбор проб на влажность по толщине стены для определения фактической влажности.

6.1.2.16 Перед испытанием на наружной (обращенной в холодную зону) и внутренней (обращенной в теплую зону) поверхностях каменной кладки устанавливают датчики температуры. На внутренней поверхности устанавливают датчики-преобразователи теплового потока по ГОСТ 25380. Датчик теплового потока должен плотно прилегать к поверхности образца без образования воздушных зазоров. Датчики температур и тепловых потоков устанавливают таким образом, чтобы они охватывали зоны поверхности ложкового и тычкового рядов кладки, а также горизонтального и вертикального растворных швов.

6.1.2.17 Экспериментальные определения проводят по ГОСТ 26254. По достижении стационарного теплового режима проводят не менее 10 измерений показаний температур и тепловых потоков с периодичностью 2–3 ч.

6.1.2.18 Для каждого датчика температур и тепловых потоков определяют среднеарифметическое значение показаний за период наблюдений в стационарном тепловом режиме. По результатам испытаний вычисляют средневзвешенные значения температуры наружной и внутренней поверхностей фрагмента каменной кладки $\tau_{в}^{ср}$ и $\tau_{н}^{ср}$ с учетом площади ложкового и тычкового измеряемых участков, а также зон вертикального и горизонтального растворных швов по формуле

$$\tau^{ср} = (\Sigma \tau_i A_i)/(\Sigma A_i) \quad , \qquad (6.1)$$

где

τ_i – температура поверхности в точке i, °С,

A_i – площадь i-го участка, м^2.

6.1.2.19 По результатам испытаний определяют термическое сопротивление кладки $R_к$, (м^{2o}С)/Вт, с учетом фактической влажности по формуле

$$R_к = \Delta\tau/q_{ср}, \quad (6.2)$$

где

$\Delta\tau = \tau_в - \tau_н$ – разность температур поверхностях фрагмента каменной кладки, ^oC,

$q_{ср}$ – среднее значение плотности теплового потока через испытуемый фрагмент каменной кладки, Вт/м^2.

6.1.2.20 По значению $R_к$ вычисляют эквивалентный коэффициент теплопроводности кладки λ_1 и λ_2 при влажности соответственно w_1 по первому и w_2 по второму этапу экспериментальных определений (см. п. 6.13) по формуле

$$\lambda = \delta/R_к, \quad (6.3)$$

где δ – толщина каменной кладки, м.

6.1.2.21 Значение изменения теплопроводности на 1% влажности $\Delta\lambda$ определяют по формуле

$$\Delta\lambda = (\lambda_1 - \lambda_2)/(w_1 - w_2). \quad (6.4)$$

6.1.2.22 Теплопроводность в сухом состоянии фрагмента каменной кладки λ_0 принимают по формуле

$$\lambda_0 = (\lambda_0^1 + \lambda_0^2)/2 \ , \quad (6.5)$$

где $\lambda_0^1 = \lambda_1 - w_1\Delta\lambda$; $\lambda_0^2 = \lambda_2 - w_2\Delta\lambda$.

6.1.2.23 Расчетную теплопроводность фрагмента каменной кладки высчитывают по измеренным значениям приращения теплопроводности на 1% влажности – $\Delta\lambda$, Вт/(м·^{o}С·%), теплопроводности в сухом состоянии – λ_0, Вт/(м·^{o}С) и значения расчетного массового отношения влаги в материале для условий эксплуатации – w (%):

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda w. \quad (6.5)$$

6.1.3 Метод экспериментального определения теплофизических характеристик стеновых материалов и изделий (элементов кладки)

6.1.3.1 Подготовка штучных стеновых изделий к испытаниям

К штучным стеновым изделиям относятся кирпич и камни керамические по ГОСТ 530, камни бетонные по ГОСТ 6133, блоки из ячеистого бетона по ГОСТ 31360, кирпич и камни силикатные по ГОСТ 379, а также другие стеновые штучные изделия, выпускаемые в соответствии с требованиями нормативных документов.

Испытания штучных стеновых изделий заключаются в определении значений плотности брутто в сухом состоянии, теплопроводности в сухом состоянии, теплопроводности во влажном состоянии, приращения теплопроводности на 1% увлажнения.

6.1.3.1.1 Проводят отбор образцов из представленной партии числом не менее 10 шт. для испытаний: 5 шт. в сухом и 5 шт. во влажном состоянии. Полнотелые и пустотелые камни с равномерным расположением вертикальных пустот по всему сечению отбирают для испытания только в положении «ложок». Камни с продольным неравномерным расположением пустот по всему сечению камня отбирают для испытаний в двух вариантах: в положении «ложок» и в положении «тычок». Крупноформатные керамические камни отбирают для испытаний в положении «тычок», если другого варианта установки их в кладке не предусмотрено проектом.

6.1.3.1.2 Бетонные и композитные стеновые изделия, обладающие остаточной влажностью, не подлежат дополнительному увлажнению. Отбирают 5 образцов для испытания во влажном состоянии и 5 образцов в сухом состоянии. Высушивают бетонные и композитные изделия в сушильной камере при температуре 90 °С до постоянной массы.

6.1.3.1.3 Керамические изделия (кирпичи, камни) подвергают предварительному высушиванию до постоянной массы, после чего одна часть партии подлежит увлажнению, вторая – кондиционированию при температуре(20 ± 2) °С и относительной влажности (45 ±5) % в течение 3 сут. Объемное увлажнение керамических изделий проводится полным окунанием в воду температурой (18 ± 2) °С на срок 10 мин; после извлечения образцы выдерживают на воздухе при температуре (20 ± 2) °С и относительной влажности (45 ± 5) % в течение 2–3 сут. до достижения влажности материла 3–5% по массе. При кондиционировании образцы укладывают на прокладки, образцы не должны касаться друг друга. Высушенные образцы после

кондиционирования относят к сухим образцам. Сухие и влажные образцы подлежат испытаниям по п. 6.1.3.3.

6.1.3.2 Подготовка образцов кладочных и штукатурных растворов

Подготовка образцов заключается в приготовлении растворной смеси стандартной консистенции согласно технологическому описанию и формовании образцов-пластин размерами 250×250×30 мм в количестве 5 шт. Отформованные образцы выдерживают перед испытаниями в течение 7 суток в камере нормального твердения. По завершении процесса твердения образцы готовят к проведению испытаний по ГОСТ 7076.

6.1.3.3 Проведение экспериментальных определений эквивалентной теплопроводности штучных стеновых изделий

6.1.3.3.1 Испытания проводят в климатической камере, состоящей из холодного и теплого отсеков. При испытании в камере устанавливают температурный режим, обеспечивающий среднюю температуру изделий 10 °С.

6.1.3.3.2 Теплопроводность штучных стеновых изделий определяют на пяти влажных образцах и пяти сухих образцах. Теплопроводность измеряют при средней температуре изделия 10 °С.

6.1.3.3.3 Изделия устанавливают в проем климатической камеры в количестве не менее пяти образцов каждого типа. Каждое изделие тщательно теплоизолируют, обкладывая по всем боковым граням эффективным утеплителем (пенополистирол, пенополиэтилен, пенополиуретан), с тем чтобы термическое сопротивление тепловой изоляции каждой из граней изделия было не менее 10 ($м^2 \cdot °С$)/Вт.

6.1.3.3.4 На наружную (грань образца, обращенная в холодную зону) и внутреннюю (грань образца, обращенная в теплую зону) грани каждого образца устанавливают датчики температуры. На внутреннюю грань устанавливают преобразователи (датчики) теплового потока по ГОСТ 25380. Датчики теплового потока должны плотно прилегать к поверхности образца без образования воздушных зазоров; допускается выравнивать поверхность образца посредством нанесения слоя термопасты.

6.1.3.3.5 После установления стационарного теплового режима на образце проводят не менее десяти измерений температур и плотности теплового потока с периодичностью 0,5 ч.

6.1.3.3.6 После проведения испытаний образцы взвешивают и высушивают до постоянной массы при температуре 90 °С.

6.1.3.3.7 При испытании камней керамических крупноформатных пазогребневым соединением определяют теплопроводность в зоне вертикального шва. Для оценки влияния на теплопроводность кладки вертикального шва, не заполняемого раствором, определяют теплопроводность двух состыкованных камней по результатам трех испытаний шести образцов. Два камня устанавливают с плотным примыканием ложковыми гранями. Вертикальный шов изнутри и снаружи (с холодной зоны и теплой зоны) промазывают тонким слоем шпаклевки, силиконового герметика и др.. На наружные и внутренние грани устанавливают датчики температуры, на внутренние грани дополнительно устанавливают преобразователи теплового потока, при этом в зоне вертикального шва устанавливают не менее двух преобразователей диаметром 27 мм. После получения данных о теплопроводности по глади камня и в зоне вертикального шва проводят оценку влияния вертикального шва. Определяют площадь фрагмента из двух состыкованных камней по тычковой поверхности без учета вертикального шва $A_{кам}$, м^2, площадь зоны вертикального шва $A_{в.ш}$, м^2, и отношение площади вертикального шва к площади фрагмента из двух состыкованных камней $A_{в.ш}/A_{кам}$.

Теплопроводность фрагмента из двух состыкованных камней $\lambda_{фр,}$, Вт/(м·°С), с учетом вертикального шва определяют по формуле

$$\lambda_{фр.} = [\lambda_{э.кам} + (A_{в.ш}/A_{кам})\cdot\lambda_{в.ш})/(1+A_{в.ш}/A_{кам})] \quad (6.6)$$

6.1.3.4 Проведение экспериментальных определений теплопроводности кладочных и штукатурных растворов

6.1.3.4.1 Теплопроводность кладочных и штукатурных растворов определяют на образцах по ГОСТ 7076.

6.1.3.4.2 Теплопроводность кладочных и штукатурных растворов определяют на образцах размерами 250х250х30 мм после 7 сут. нормального твердения.

Последовательно определяют теплопроводность влажного образца и теплопроводность этого же образца после его высушивания.

6.1.3.4.3 После первичного определения теплопроводности образец взвешивают, высушивают до постоянной массы при температуре 90 °С и вновь проводят измерения по ГОСТ 7076.

6.1.3.5Определение приращения теплопроводности на 1% влажности

6.1.3.5.1 После проведения экспериментальных определений теплопроводности изделий для кладки высчитывают термическое сопротивление и эквивалентную теплопроводность во влажном R_w , λ_w и в сухом состоянии R_0, λ_0 по формулам:

$$R = \Delta\tau/q \,, \tag{6.7}$$

где

R – термическое сопротивление, (м^2·°С)/Вт,

$\Delta\tau = (\tau_в - \tau_н)$ – разница температур на поверхности образца, обращенной теплую зону и на поверхности образца, обращенной холодную зону, °С,

q – плотность теплового потока, проходящего через испытываемый образец, Вт/м^2;

$$\lambda = \delta / R \,, \tag{6.8}$$

где

λ – эквивалентная теплопроводность, Вт/(м·°С),

δ – расстояние от грани образца, обращенной в холодную зону, до грани образца, обращенной в теплую зону(толщина изделия), м;

6.1.3.5.2 По полученным значениям влажности и соответствующим им значениям теплопроводности рассчитывают значения приращения теплопроводности на 1% влажности материала $\Delta\lambda$, Вт/(м·°С·%), по формуле:

$$\Delta\lambda = (\lambda_w - \lambda_0)/w, \tag{6.9}$$

где

λ_w – теплопроводность образца во влажном состоянии, Вт/м·°С,

w – влажность образца по массе, %.

6.1.3.6 Определение расчетного массового отношения влаги и расчетной теплопроводности

6.1.3.6.1 Расчетное массовое отношение влаги в материале приведено в СП 50.13330.2012 – условия эксплуатации Б. При отсутствии конкретного материала или изделия в перечне материалов указанной таблицы, расчетное массовое отношения влаги устанавливают путем определения максимального сорбционного увлажнения.

6.1.3.6.2 Определение максимального сорбционного увлажнения проводится по ГОСТ 24816. Из средней части испытуемого изделия отбирают частицы материала размером от 0,5 мм до 3 мм. Масса одного образца материала составляет около 15–20 г. Образцы материала засыпают в стеклянные стаканчики для взвешивания (бюксы) объемом до 30 см^3. На каждый вид материала подготавливают не менее пяти навесок (бюкс). Бюксы с образцами материалов помещают в сушильный шкаф с температурой 90 ^{o}С и высушивают до постоянной массы. После этого открытые бюксы с навесками материала помещают в стеклянный эксикатор, на дне которого находится водный раствор серной кислоты с концентрацией, создающей относительную влажность воздуха в эксикаторах φ = 97%. Эксикатор плотно закрывают крышкой. Бюксы с образцами материала периодически взвешивают до достижения равновесного влагосодержания между воздухом, находящимся в эксикаторе, и испытуемым материалом. По разности масс бюкса с материалом в сухом состоянии и в состоянии равновесного влагосодержания определяют влажность материала по массе $w_{сорб}$, %, при относительной влажности воздуха в эксикаторе φ = 97%.

Расчетное массовое отношение влаги в материале принимают равным влагосодержанию, при относительной влажности воздуха φ = 97%.

6.1.3.6.3 Значение расчетной теплопроводности λ, Вт/м·^{o}С определяют по формуле:

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda w_{сорб}. \qquad (6.10)$$

6.2 Метод определения коэффициентов теплотехнического качества строительных материалов

6.2.1 Коэффициенты теплотехнического качества строительных материалов (КТК) определяются на основе анализа расчетной теплопроводности материалов, которая является важнейших теплотехническим показателем.

6.2.2 Расчетная теплопроводность может быть представлена в виде:

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda\ \omega \qquad (6.11)$$

где

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

$\Delta\lambda$ – увеличение теплопроводности материала при увлажнении его на 1% по массе, Вт/(м°·С%);

w – влажность материала в эксплуатационных условиях, % по массе.

6.2.3 Преобразуя (6.11), получаем:

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda\ \omega = \lambda_0(1 + (\Delta\lambda / \lambda_0)\omega) = \rho_0 \frac{\lambda_0 - \lambda_в}{\rho_0} \frac{\lambda_0}{\lambda_0 - \lambda_в}(1 + (\Delta\lambda / \lambda_0)\omega) \qquad (6.12)$$

На основании (6.12) вводим коэффициенты теплотехнического качества (КТК) материала:

$$КТК_{11} = \frac{\lambda_0 - \lambda_в}{\rho_0} \text{ (без учета влияния теплопроводности воздуха);} \qquad (6.13)$$

$$КТК_{12} = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 - \lambda_в}; \qquad (6.14)$$

$$КТК_{21} = \Delta\lambda / \lambda_0; \qquad (6.15)$$

$$КТК_{22} = \omega \qquad (6.16)$$

6.2.4 Расчетную теплопроводность материала можно представить в виде:

$$\lambda = КТК_{11}КТК_{12}(1+КТК_{21}КТК_{22})\rho_0 \qquad (6.17)$$

Введем следующие обозначения:

$$КТК_1 = КТК_{11}КТК_{12}; \qquad (6.18)$$

$$КТК_2 = (1+ КТК_{21}КТК_{22}); \qquad (6.19)$$

$$КТК = КТК_1\ КТК_2. \qquad (6.20)$$

Отсюда получаем:

$$\lambda = КТК_1КТК_2\rho_0 = КТК\rho_0. \qquad (6.21)$$

Таким образом, расчетный коэффициент теплопроводности материала пропорционален плотности материала с коэффициентом пропорциональности, равным КТК.

6.2.5 Физический смысл коэффициентов теплотехнического качества

КТК в формуле (6.21) аналогичен коэффициенту конструкционного качества строительных материалов ККК, который равен отношению прочности материала к его плотности. Чем больше ККК, тем лучше материал в конструкционном отношении. Чем меньше КТК, тем лучше материал в теплотехническом отношении.

6.2.6 $КТК_1$ показывает на столько увеличивается теплопроводность материала в сухом состоянии при увеличении его плотности на 1 кг/м$^{3.}$

6.2.7 $КТК_2$ характеризует влияние влажности на расчетную теплопроводность материала. Если $КТК_2 = 1{,}00$, то влажность не оказывает влияния на теплопроводность материала.

6.2.8 $КТК_{11}$ показывает на сколько увеличивается теплопроводность скелета материала (без влияния теплопроводности воздуха) при увеличении плотности материала на 1 кг/м^3.

6.2.9 $КТК_{12}$ 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.

6.2.10 $КТК_{12}$ показывает долю увеличения теплопроводности материала при увеличении влажности на 1%. Этот коэффициент является характеристикой материала.

6.2.11 $КТК_{22}$ является расчетной влажностью материала. Этот коэффициент является характеристикой не только материала, но и конструкции, условий эксплуатация и климатических условий.

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

6.2.13 Для материалов, по которым имеются показатели методом наименьших квадратов получена зависимость теплопроводности от плотности материалов:

$$\lambda = \alpha\rho_0 + b. \qquad (6.22)$$

6.2.14 Для анализа зависимости λ от ρ в компьютерную программу были введены данные по 46 наименованиям материалов из СП 50.13330.2012.

Определены коэффициенты a = 0,000178, b = 0,028. При этом коэффициент корреляции равен r = 0,859, что указывает на линейную зависимость теплопроводности от плотности материала в исследуемом интервале изменения плотности. Из этой зависимости следует, что при плотности равной 0 кг/м^3 теплопроводность материала составит 0,028 Вт/м °С. В общем случае, может быть принято: b = 0,025 – теплопроводность спокойного воздуха при нормальном атмосферном давлении.

6.2.15 Можно считать, что график зависимости λ_0 от ρ_0 выходит из точки b с тангенсом угла наклона к оси ρ_0, равным $\mathrm{tg}\alpha = a = 1{,}78\times10^{-4}$. Для какого-либо реального материала теплопроводность будет изображаться точкой c на данной плоскости. Его теплопроводность можно оценить, сравнивая данную величину с соответствующей величиной по прямой осредненной теплопроводности. Можно так же выполнить эту оценку и таким способом: соединить точку b с точкой c и сравнить тангенс угла наклона прямой bc с величиной $a = 1{,}78\times10^{-4}$. Если этот тангенс меньше, чем $1{,}78\times10^{-4}$, то материал менее теплопроводен и, следовательно, более эффективен в теплотехническом отношении, чем материал с осреднениями показателями. В противном случае – более теплопроводен и менее эффективен в теплотехническом отношении.

6.2.16 Тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс и является коэффициентом теплотехнического качества – КТК$_{11}$. Для любого конкретного материала он может быть рассчитан по формуле:

$$\text{КТК}_{11} = \frac{\lambda_0 - b}{\rho_0}. \qquad (6.23)$$

6.2.17 Посредством КТК$_{11}$ возможно сравнивать между собой материалы с различной плотностью. Чем меньше КТК$_{11}$, тем эффективнее материал в теплотехническом отношении. Отклонения КТК$_{11}$ от среднего значения связаны с теплопроводностью каркаса (скелета) и характером пористости материала.

6.2.18 Для удобства сравнения материалов по КТК$_{11}$ со средним его значением введен относительный коэффициент теплотехнического качества

$ОКТК_{11}$, который представляет собой отношение $КТК_{11}$ конкретного материала к средней его величине, равной 1,78 $\frac{Вт/(м \cdot °С)}{кг/м^3} 10^{-4}$.

Коэффициент $ОКТК_{11}$ является безразмерной величиной. Для перлитопластбетона (p_0 = 200 кг/м^3) этот показатель равен 0,37, для вспученного вермикулита (p_0 = 200 кг/м^3) – 1,35.

Таблица 6.1 – Значения коэффициентов теплопроводности и коэффициентов теплотехнического качества $КТК_{11}$ и $ОТКТ_{11}$, для некоторых материалов в сухом состоянии по СП 50.13330.2012

Материал	Плотность кг/м^3	Теплопроводность Вт/(м°С)	$КТК_{11}$ $\frac{Вт/(м \cdot °С)}{кг/м^3} 10^{-4}$	$ОКТК_{11}$ Доли ед.
1	2	3	4	5
Керамзитобетон на керамзитовом песке	600	0,16	2,20	1,24
То же	500	0,14	2,24	1,26
Перлитобетон	600	0,12	1,53	0,86
Вермикулитобетон	600	0,14	1,87	1,05
То же	400	0,09	1,55	0,87
То же	300	0,08	1,73	0,97
Газо- и пено-бетон	600	0,14	1,86	1,05
Бетон	400	0,11	2,05	1,15
То же	300	0,08	1,73	0,97
Раствор гипсоперлитовый	600	0,14	1,87	1,05
Раствор поризованный гипсоперлитовый	500	0,12	1,84	1,03
То же	400	0,09	1,55	0,87
Плиты ДВП т ДСП	600	0,11	1,37	0,77
То же	400	0,08	1,30	0,73
То же	200	0,06	1,60	0,90
Плиты фибролитовые	600	0,12	1,53	0,86
То же	400	0,08	1,30	0,73
То же	300	0,07	1,40	0,79
Плиты	300	0,07	1,40	0,79

камышитовые				
То же	200	0,06	1,60	0,90
Плиты торфяные	300	0,064	1,20	0,67
То же	200	0,052	1,20	0,67
Плиты минераловатные	350	0,091	1,80	1,01
То же	300	0,084	1,87	1,05
То же	200	0,07	2,10	1,12
То же повышенной жесткости	200	0,064	1,80	1,01
То же полужесткие	200	0,07	2,10	1,12
Перлитопласт-бетон	200	0,041	0,65	0,37
Перлитофорфоге-Левые изделия	300	0,076	1,60	0,90
То же	200	0,064	1,80	1,01
Гравий керамзитовый	600	0,14	1,87	1,05
То же	400	0,12	2.30	1,29
То же	300	0,108	2,67	1,5
Гравий шунгизитовый	600	0,13	1,70	0,96
То же	400	0,11	2,05	1,15
Щебень из доменного шлака	600	0,15	2,03	1,14
То же	400	0,122	2,35	1,32
Щебень и песок из перлита вспученного	600	0,11	1,37	0,77
То же	400	0,076	1,20	0,67
То же	200	0,064	1,80	1,01
Вермикулит вспученный	200	0,076	2,40	1,35
Пеностекло или газостекло	400	0,11	2,05	1,15
То же	300	0,09	2,07	1.16
То же	200	0,07	2,10	1,18
Изделия из спученного перлита на битумном связующем	400	0,111	0,08	1,17
То же	300	0,087	1,97	1,11

6.2.19 При увлажнении материала его теплопроводность возрастает. Приращение теплопроводности материала при увеличении его влажности на 1% по массе измеряется в Вт/(м °С %) и определяется по формуле:

$$\Delta\lambda = \frac{(\lambda_w - \lambda_0)}{w}. \qquad (6.24)$$

6.2.20 Используя расчетные значения влажности материалов (w или $КТК_{22}$), а также показатели расчетных коэффициентов теплопроводности (λ_w), при условиях эксплуатации можно определить КТК и провести сравнение теплотехнических свойств для строительных материалов. В таблице 6.2 представлены коэффициенты теплотехнического качества некоторых строительных материалов, рассчитанные для условий эксплуатации Б.

Таблица 6.2 – Сравнение теплотехнических свойств некоторых строительных материалов посредством коэффициентов КТК

Материал	Плотность, кг/м^3	$КТК_{11}$ $\frac{Вт/(м\ °С)}{кг/м^3}10^{-4}$	$КТК_{12}$, доли ед.	$КТК_{21}$, доли ед. $\times10^{-2}$	$КТК_{22}$, %, мас.	КТК, $\frac{Вт\ м^2}{кг\ °С}10^{-4}$
Керамзитобетон	1200	2,8	1,07	4,4	10	4,30
Керамзитобетон	1000	2,4	1,1	5,2	10	1,01
Керамзитобетон	800	2,3	1,14	4,8	10	3,88
Шлакопемзобетон	1000	2,0	1,12	7,6	8	3,60
Газобетон	600	1,9	1,22	7,1	12	4,30
Кирпич глиняный Обыкновенный	1800	3,0	1,05	22,3	2	4,55
Кирпич керамич. пустотный	1600	2,8	1,06	18,1	2	4,01
Минеральная вата	100	2,8	1,81	5,0	5	6,33
Минераловатные плиты	300	2,0	1,42	1,4	5	2,98
Перлитофосфогелевые	300	1,7	1,49	4,8	12	3,99
Пеностекло	300	2,1	1,38	13,6	2	5,00
Пенополистирол	40	2,5	2,92	3,2	10	9,64
Пенополиуретан	40	1,0	7,25	7,6	5	10,00

6.2.21 Сопоставление теплотехнических свойств материалов будет корректным, если оно проводится между группой материалов одного назначения, например, конструкционные материалы плотностью 1000–1200 кг/м^3 и т.д.

6.2.22 Коэффициенты КТК дают представление о теплотехнических свойствах строительных материалов и позволяют проводить сравнительный анализ теплотехнической эффективности материалов при проектировании ограждающих конструкций. Коэффициенты теплотехнического качества могут служить критериями оценки новых теплоизоляционных материалов при их разработке.

6.2.23 В таблицах представлены данные по теплопроводности в сухом состоянии при средней температуре образца 10 °С, принятые из Европейского стандарта ЕН1745. Кроме того, указаны принятые в отечественной практике проектирования и строительства значения коэффициента паропроницаемости, удельной теплоемкости и значения приращения теплопроводности на 1% влажности ($КТК_{12}$). Приведенные табличные значения распространяются на материалы, плотность проверяют в рамках заводского производственного контроля с уровнем достоверности 90 %.

Таблица 6.3 – Керамический кирпич

Плотность материала (нетто) в сухом состоянии, ρ_0, кг/м^3	$\lambda_{0,мат}$, Вт/(м·°С)	Коэффициент Паропроница-емости μ, мг/(мчПа)	Удельная теплоемкость c_0, кДж/(кг·°С)	Значения приращения теплопровод-ности на 1% влажности $\Delta\lambda$, Вт/(м·°С·%)
1 000	0,27	0,17	0,88	0,08
1 100	0,30	0,17	0,88	0,09
1 200	0,33	0,16	0,88	0,09
1 300	0,36	0,16	0,88	0,09
1 400	0,40	0,15	0,88	0,10
1 500	0,43	0,15	0,88	0,10
1 600	0,47	0,14	0,88	0,10
1 700	0,51	0,14	0,88	0,11
1 800	0,55	0,13	0,88	0,11
1 900	0,60	0,13	0,88	0,11
2 000	0,64	0,12	0,88	0,11
2100	0,69	0,12	0,88	0,11
2200	0,74	0,11	0,88	0,12
2300	0,79	0,11	0,88	0,12
2400	0,84	0,11	0,88	0,12

Таблица 6.4 – Силикатные изделия

Плотность материала (нетто) в сухом состоянии ρ_0, кг/м^3	$\lambda_{0,мат}$, Вт/(м·°С)	Коэффициент Паропроница-емости μ, мг/(мчПа)	Удельная теплоемкость c_0, кДж/(кг·°С)	Значения приращения теплопровод-ности на 1 % влажности Δλ, Вт/(м·°С·%)
900	0,29	0,16	0,88	0,04
1 000	0,30	0,16	0,88	0,04
1 100	0,32	0,15	0,88	0,04
1 200	0,36	0,15	0,88	0,04
1 300	0,41	0,14	0,88	0,04
1 400	0,46	0,14	0,88	0,04
1 500	0,53	0,13	0,88	0,04
1 600	0,61	0,15	0,88	0,04
1 700	0,70	0,12	0,88	0,04
1 800	0,81	0,11	0,88	0,04
1 900	0,92	0,11	0,88	0,04
2 000	1,05	0,11	0,88	0,05
2100	1,20	0,10	0,88	0,05
2200	1,37	0,10	0,88	0,05
2300	1,56	0,09	0,88	0,05
2400	1,76	0,09	0,88	0,05

Таблица 6.5 – Бетон на портландцементе

Плотность материала (нетто) в сухом состоянии ρ_0, кг/м^3	$\lambda_{0,мат}$, Вт/(м·°С)	Коэффициент паропроница-емости μ, мг/(мчПа)	Удельная теплоемкость c_0, кДж/(кг·°С)	Значения приращения теплопровод-ности на 1% влажности Δλ, Вт/(м·°С·%)
1 600	0,88	0,09	0,84	0,1
1 700	0,93	0,08	0,84	0,1
1 800	1,01	0,07	0,84	0,1
1 900	1,09	0,06	0,84	0,11
2 000	1,09	0,05	0,84	0,11
2100	1,30	0,04	0,84	0,11
2200	1,42	0,04	0,84	0,12
2300	1,56	0,03	0,84	0,12
2400	1,72	0,03	0,84	0,12

Таблица 6.6 – Бетон с заполнителем из пемзы

Плотность материала (нетто) в сухом состоянии ρ_0, кг/м^3	$\lambda_{0,мат}$, Вт/(м·°С)	Коэффициент паропроницаемости μ, мг/(мчПа)	Удельная теплоемкость c_0, кДж/(кг·°С)	Значения приращения теплопроводности на 1% влажности Δλ, Вт/(м·°С·%)
500	0,14	0,13	0,84	0,011
600	0,16	0,13	0,84	0,011
700	0,18	0,12	0,84	0,012
800	0,21	0,12	0,84	0,012
900	0,24	0,11	0,84	0,015
1 000	0,28	0,11	0,84	0,015
1 100	0,32	0,10	0,84	0,02
1 200	0,36	0,098	0,84	0,02
1 300	0,41	0,085	0,84	0,02

Таблица 6.7 – Полистиролбетон

Плотность материала (нетто) в сухом состоянии ρ_0, кг/м^3	$\lambda_{0,мат}$, Вт/(м·°С)	Коэффициент паропроницаемости μ, мг/(мчПа)	Удельная теплоемкость c_0, кДж/(кг·°С)	Значения приращения теплопроводности на 1% влажности Δλ, Вт/(м·°С·%)
500	0,16	0,075	1,06	0,007
600	0,19	0,068	1,06	0,008
700	0,22	0,06	1,06	0,009
800	0,25	0,055	1,06	0,01

Таблица 6.8 – Керамзитобетон

Плотность материала (нетто) в сухом состоянии ρ_0, кг/м^3	$\lambda_{0,мат}$, Вт/(м·°С)	Коэффициент паропроницаемости μ, мг/(мчПа)	Удельная теплоемкость c_0, кДж/(кг·°С)	Значения приращения теплопроводности на 1% влажности Δλ, Вт/(м·°С·%)
400	0,12	0,35	0,84	0,009
500	0,15	0,30	0,84	0,009
600	0,18	0,26	0,84	0,010
700	0,21	0,22	0,84	0,011

800	0,25	0,19	0,84	0,012
900	0,28	0,15	0,84	0,012
1 000	0,32	0,14	0,84	0,013
1 100	0,36	0,12	0,84	0,014
1 200	0,41	0,11	0,84	0,015
1 300	0,46	0,10	0,84	0,017
1 400	0,51	0,098	0,84	0,018
1 500	0,56	0,09	0,84	0,019
1 600	0,63	0,09	0,84	0,020
1 700	0,70	0,09	0,84	0,022

Таблица 6.9 – Шлакобетон

Плотность материала (нетто) в сухом состоянии ρ_0, кг/м^3	$\lambda_{0,мат}$, Вт/(м·°С)	Коэффициент паропроницаемости μ, мг/(мчПа)	Удельная теплоемкость c_0, кДж/(кг·°С)	Значения приращения теплопроводности на 1% влажности $\Delta\lambda$, Вт/(м·°С·%)
1 100	0,21	0,11	0,84	0,017
1 200	0,24	0,11	0,84	0,019
1 300	0,29	0,10	0,84	0,020
1 400	0,34	0,098	0,84	0,025
1 500	0,40	0,095	0,84	0,025
1 600	0,47	0,09	0,84	0,03
1 700	0,54	0,08	0,84	0,03

Таблица 6.10 – Бетон на ферросплавных шлаках

Плотность материала (нетто) в сухом состоянии ρ_0, кг/м^3	$\lambda_{0,мат}$, Вт/(м·°С)	Коэффициент паропроницаемости μ, мг/(мчПа)	Удельная теплоемкость c_0, кДж/(кг·°С)	Значения приращения теплопроводности на 1% влажности $\Delta\lambda$, Вт/(м·°С·%)
1 100	0,35	0,12	0,84	0.022
1 200	0,37	0,11	0,84	0,025
1 300	0,39	0,10	0,84	0,025
1 400	0,41	0,098	0,84	0,03
1 500	0,43	0,09	0,84	0,03

Таблица 6.11 – Ячеистый бетон автоклавного твердения

Плотность материала (нетто) в сухом состоянии ρ_0, кг/м^3	$\lambda_{0,мат}$, Вт/(м·°С)	Коэффициент паропроницаемости μ, мг/(мчПа)	Удельная теплоемкость c_0, кДж/(кг·°С)	Значения приращения теплопроводности на 1% влажности Δλ, Вт/(м·°С·%)
300	0,085	0,26	0,84	0,009
400	0,11	0,23	0,84	0,009
500	0,13	0,20	0,84	0,009
600	0,16	0,16	0,84	0,010
700	0,18	0,15	0,84	0,011
800	0,21	0,14	0,84	0,013
900	0,24	0,12	0,84	0,013
1 000	0,26	0,11	0,84	0,015

Таблица 6.12– Изделия из природного камня

Вид камня	Плотность материала (нетто) в сухом состоянии ρ_0, кг/м^3	$\lambda_{0,мат}$, Вт/(м·°С)	Коэффициент паропроницаемости μ, мг/(мчПа)	Удельная теплоемкость c_0, кДж/(кг·°С)	Значения приращения теплопроводности на 1% влажности Δλ, Вт/(м·°С·%)
1. МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ И ПЛУТОНИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ					
гнейс, порфир	от 2 300 до 2 900	3,5	0,008	0,88	0
мрамор	от 2 600 до 2 800	3,5	0,008	0,88	0
гранит	от 2 500 до 2 700	2,8	0,008	0,88	0
глинистый сланец, тонкослоистый сланец	от 2 000 до 2 800	2,2	0,010	0,88	0,001
2. ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ИЗВЕРЖЕННЫЕ ПОРОДЫ					
базальт	от 2 700 до 3 000	1,6	0,008	0,88	0
трахиты, андезиты	от 2 000 до 2 700	1,1	0,010	0,88	0
вакуольная лава	от 2 700 до 3 000	0,55	0,008	0,88	0,01
природная пемза	≤ 400	0,12	0,18	0,88	0,016
3. ОСАДОЧНЫЕ ПОРОДЫ					
известняк	от 2 200 до 2 590	2,3	0,04	0,88	0,11

	от 2 000 до 2 190	1,7	0,06	0,88	0,09
	от 1 800 до 1 990	1,4	0,08	0,88	0,07
	от 1 600 до 1 790	1,1	0,09	0,88	0,05
	≤ 1 590	0,85	0,11	0,88	0,03
кварцевый песчаник	от 2 600 до 2 800	2,6	0,008	0,88	0,09
кремнистый песчаник	от 2 200 до 2 590	2,3	0,008	0,88	0,09
известняковый песчаник	от 2 000 до 2 700	1,9	0,02	0,88	0,09

Таблица 6.13 – Растворы (кладочный и штукатурный)

Плотность материала (нетто) в сухом состоянии ρ_0, кг/м^3	$\lambda_{0,мат}$, Вт/(м·°С)	Коэффициент паропроницаемости μ, мг/(мчПа)	Удельная теплоемкость c_0, кДж/(кг·°С)	Значения приращения теплопроводности на 1% влажности Δλ, Вт/(м·°С·%)
200	0,081	0,55	0,84	0,009
300	0,094	0,50	0,84	0,01
400	0,11	0,45	0,84	0,01
500	0,13	0,40	0,84	0,02
600	0,15	0,35	0,84	0,03
700	0,17	0,30	0,84	0,04
800	0,20	0,25	0,84	0,04
900	0,23	0,20	0,84	0,05
1 000	0,27	0,17	0,84	0,06
1 200	0,36	0,15	0,84	0,06
1 400	0,49	0,14	0,84	0,07
1 600	0,66	0,12	0,84	0,07
1 800	0,89	0,09	0,84	0,08
2 000	1,21	0,07	0,84	0,08

7 Примеры расчетов приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен из каменных кладок с учетом характеристик всех элементов кладки

8

7.1 При проведении расчетов сопротивления теплопередаче наружных стен используют расчетные значения теплопроводности стеновых материалов и изделий определенные экспериментальным путем по п. 6.1. Допускается использовать значения теплопроводности в сухом состоянии материалов, приведенные в таблицах п. 6.2.

7.2 В соответствии с ГОСТ Р57356 метод расчета состоит в определении термического сопротивления каждой термически однородной части фрагмента стены. Чтобы получить сопротивление теплопередаче фрагмента следует суммировать отдельные термические сопротивления, включая влияние слоев воздуха, прилегающих к наружной и внутренней поверхностям конструкции.

7.3. Значения термического сопротивления наружной и внутренней поверхностей конструкции рекомендуется принимать исходя из значений коэффициентов теплоотдачи по СП 50.13330.2012.

7.4 Воздушные прослойки в стеновых изделиях с пустотами можно считать термически однородными слоями. Значения сопротивления теплопередаче воздушных прослоек рекомендуется принимать по таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек

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

7.5 Для определения термического сопротивления и эквивалентной теплопроводности каменной кладки из пустотелых изделий рекомендуется использовать значения, приведенные в Приложении А.

7.6 Расчетные значения теплопроводности (λ_w) при условиях эксплутатации определяют по формуле

$$\lambda_w = \lambda_0 + \Delta\lambda w,$$

где

λ_0 – теплопроводность в сухом состоянии, определяемая экспериментальным путем по п.6.1 либо принимаемая по таблицам п. 6.2 (для полнотелых изделий) или Приложения А (для изделий с пустотами), Вт/(м·°С);

$\Delta\lambda$ – значение приращения теплопроводности на 1% влажности материала ($КТК_{12}$), определяемое экспериментальным путем по п. 6.1, либо принимаемое по таблицам п. 6.2, Вт/(м·°С·%);

w – влажность строительного материала при условиях эксплуатации ($КТК_{22}$), определяемая экспериментальным путем по п.6.1, либо принимаемая по СП 50.13330.2012.

7.6 Пример расчета требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередачи ограждающей конструкции следует определять по формуле:

$$R_o^{норм} = R_o^{тр} \cdot m_p,$$

где

$R_o^{тр}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, м^2·°С/Вт, следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода, ГСОП, °С·сут/год, региона строительства и определять по табл.3 (СП50.13330.2012);

m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. Значения коэффициента m_p при этом должны быть не менее: 0,63 – для стен, 0,95 – для светопрозрачных конструкций, 0,8 – для остальных ограждающих конструкций.

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП), °С·сут/год, определяют по формуле:

$$ГСОП = (t_в - t_{от})z_{от},$$

где

$t_{от}$, $z_{от}$ – средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут./год, отопительного периода, принимаемые по СП131.13330.2012 для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8°С, а при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых не более 10 °С;

$t_в$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С.

Рассчитываем ГСОП для г. Москвы:

ГСОП = 20 – (–2,2) · 205 = 4551°С·сут/год.

Т.к. значения $R_o^{тр}$ для ГСОП = 4551°С·сут/год нет в табл. 3, то считаем $R_o^{тр}$ по формуле:

$$R_o^{тр} = a·ГСОП + b,$$

где a, b — коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы для соответствующих групп зданий, за исключением графы 6, для группы зданий в поз. 1, где для интервала до 6000 °С·сут./год: a = 0,000075, b = 0,15; для интервала 6000–8000 °С·сут./год: a = 0,00005, b = 0,3; для интервала 8000 °С·сут./год и более: a = 0,000025; b = 0,5.

Коэффициенты a, b принимаем по табл. 3 СП50.13330.2012 для стен жилых профилактических и детские учреждений, школ, интернатов, гостиниц и общежитий: a = 0,00035; b = 1,4. Следовательно, получим

$R_o^{тр} = a·ГСОП + b = 0,00035·4551 + 1,4 = 2,99$ (м^2·°С)/Вт.

Соответственно $R_o^{норм} = R_o^{тр}·m_р = 2,99· 0,63 = 1,89$ (м^2·°С)/Вт.

7.7. Пример расчета сопротивления теплопередаче кладки из ячеистобетонных блоков с оштукатуриванием с наружной стороны и с отделкой гипсокартонными листами с внутренней стороны

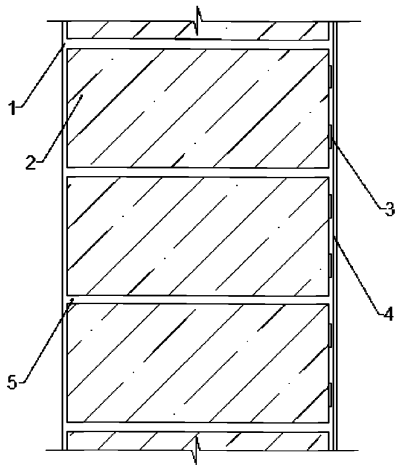


Рисунок 7.1

На рисунке 7.1 изображена ограждающая конструкция, которая состоит из следующих слоев:

1 – наружная цементно-песчаная штукатурка, $\rho = 1800$, $\delta = 50$мм, $\lambda_0 = 0{,}89$ Вт/(м·°С);

2 – блоки из ячеистого бетона, $\rho = 800$ кг/м^3, $\delta = 400$мм, $\lambda_0 = 0{,}21$ Вт/(м·°С);

3 – воздушная прослойка, $\delta = 50$ мм, термическое сопротивление воздушной прослойки 0,14 (м^2·°С)/Вт;

4 – гипсокартонный лист (2 слоя), $\rho = 1100$ кг/м^3, $\delta = 12$мм, $\lambda_0 = 0{,}23$ Вт/(м·°С);

5 – кладочный раствор в горизонтальном шве, $\delta = 10$мм, $\rho = 800$ кг/м^3, $\lambda_0 = 0{,}20$ Вт/(м·°С).

Термическое сопротивление наружной поверхности конструкции

$$R_н = 1/\alpha_н = 0{,}043 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт.}$$

Наружная цементно-песчаная штукатурка, $\delta = 0{,}05$м,

$$\lambda_w = \lambda_0 + \Delta\lambda w = 0{,}89 + 0{,}08 \times 4 = 1{,}21 \text{ Вт/(м·°С);}$$

$$R_1 = 0{,}05/1{,}21 = 0{,}041 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт.}$$

Ячеистый бетон, $\delta = 0{,}4$ м,

$$\lambda_w = \lambda_0 + \Delta\lambda w = 0{,}21 + 0{,}013 \text{x} 16 = 0{,}418 \text{ Вт/(м·°С);}$$

$$R_2 = 0{,}4/0{,}418 = 0{,}95 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт.}$$

Воздушная прослойка, δ = 0,05м, термическое сопротивление воздушной прослойки $R_3 = 0{,}14$ (м^2·°С)/Вт.

Гипсокартонный лист (2 слоя), $\delta = 0{,}024$ м,

$$\lambda_w = \lambda_0 + \Delta\lambda w = 0{,}23 + 0{,}03 \times 6 = 0{,}41 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)};$$

$$R_4 = 0{,}024/0{,}41 = 0{,}06 \text{ (м}^2\cdot{}^\circ\text{С)/Вт}.$$

Термическое сопротивление внутренней поверхности конструкции

$$R_в = 1/\alpha_в = 0{,}115 \text{ (м}^2\cdot{}^\circ\text{С)/Вт}.$$

Теплопроводность кладочного раствора

$$\lambda_w = \lambda_0 + \Delta\lambda w = 0{,}20 + 0{,}04 \times 5 = 0{,}4 \text{ Вт/(м}\cdot{}^\circ\text{С)}.$$

Влиянием кладочного раствора на термическое сопротивление стены можно пренебречь, поскольку его теплопроводность в условиях эксплуатации сопоставима с теплопроводностью ячеистого бетона.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции будет равно:

$$R_{общ} = R_н + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_в =$$

$$= 0{,}043 + 0{,}041 + 0{,}95 + 0{,}14 + 0{,}06 + 0{,}115 = 1{,}4 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт}.$$

7.8 Пример расчета сопротивления теплопередаче кладки из блоков с теплоизолирующей ставкой из пенополистирола

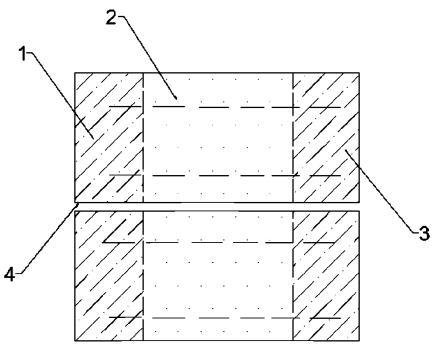


Рисунок 7.2

На рисунке 7.2 изображена ограждающая конструкция, которая состоит из трех слоев:

1 – наружный слой бетона, $\rho = 1800$ кг/м^3, $\delta = 60$ мм, $\lambda_0 = 1{,}01$ Вт/(м·°С);

2 – пенополистирол, $\rho = 25$ кг/м^3, $\delta = 200$ мм, $\lambda_0 = 0{,}034$ Вт/(м·°С);

3 – внутренний слой бетона, $\rho = 2300$ кг/м^3, $\delta = 50$ мм, $\lambda_0 = 1{,}56$ Вт/(м·°С);

4 – кладочный раствор горизонтального шва, $\delta = 15$мм; $\rho = 1800$ кг/м^3, $\lambda_0 = 0{,}89$ Вт/(м·°С).

Наружный и внутренний слои бетона соединены гибкими связями из стеклопластиковых стержней.

Определим сопротивление теплопередаче.

Термическое сопротивление наружной поверхности конструкции

$$R_н = 1/\alpha_н = 0{,}043 \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт};$$

Наружный слой бетона, $\delta = 0{,}06$ м,

$$\lambda_w = \lambda_0 + \Delta\lambda w = 1{,}01 + 0{,}01\times 3 = 1{,}31 \text{ Вт/(м·°С)};$$

$$R_1 = 0{,}06/1{,}31 = 0{,}046 \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт};$$

Пенополистирол, $\delta = 0{,}2$ м,

$\lambda_w = 0{,}044$ Вт/(м·°С); принимаем по СП5013330.2012;

$$R_2 = 0{,}2/0{,}044 = 4{,}54 \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт};$$

Внутренний слой бетона $\delta = 0{,}05$ м,

$$\lambda_w = \lambda_0 + \Delta\lambda w = 1{,}56 + 0{,}12\times 3 = 1{,}92 \text{ Вт/(м·°С)};$$

$$R_3 = 0{,}05/1{,}92 = 0{,}026 \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт}.$$

Термическое сопротивление внутренней поверхности конструкции

$$R_в = 1/\alpha_в = 0{,}115 \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт}.$$

Влияние кладочного раствора на термическое сопротивление стены можно учесть следующим образом. После получения данных о теплопроводности по глади камня и в зоне шва, определяют площадь, которую занимает шов. Находят отношение площади шва к площади фрагмента $A_ш/A_{кам}$.

Теплопроводность фрагмента $\lambda_{фр}$, Вт/(м·°С), с учетом влияния шва определяют по формуле

$$\lambda_{фр} = [\lambda_{кам} + (A_ш/A_{кам})\cdot\lambda_ш)/(1 + A_ш/A_{кам})].$$

В данном случае $A_ш/A_{кам} = 0{,}07$.

$$\lambda_ш = \lambda_0 + \Delta\lambda w = 0{,}89 + 0{,}08\times 4 = 1{,}21 \text{ Вт/(м·°С)};$$

$$\lambda_{кам} = \delta_{об}/(R_1 + R_2 + R_3) = 0{,}067 \text{ Вт/(м·°С)};$$

$$\lambda_{фр} = [0{,}067 + 0{,}07\times 1{,}21)/(1 + 0{,}07)] = 0{,}14 \text{ Вт/(м·°С)};$$

$$R_{общ} = 0,043 + 0,31/0,14 + 0,115 = 2,4 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{С/Вт}.$$

7.9 Пример расчета сопротивления теплопередаче кладки из полистиролбетонных блоков

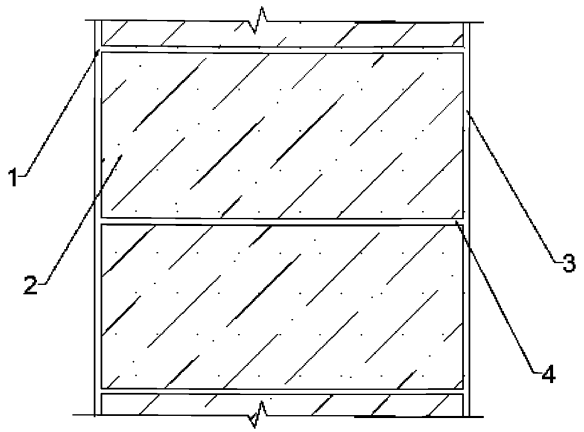


Рисунок 7.3

На рисунке 7.3 изображена ограждающая конструкция, которая состоит из трех слоев:

1 – наружная цементно-песчаная штукатурка, $\rho = 1800$, $\delta = 50$ мм, $\lambda_0 = 0,89$ Вт/(м·°С);

2 – полистиролбетон, $\rho = 600$кг/м^3, $\delta = 300$мм, $\lambda_0 = 0,19$ Вт/(м·°С);

3 – внутренняя цементно-песчаная штукатурка, $\rho = 1800$, $\delta = 50$ мм, $\lambda_0 = 0,89$ Вт/(м·°С);

4 – кладочный раствор горизонтального шва, $\delta = 15$мм; $\rho = 1800$ кг/м^3, $\lambda_0 = 0,89$ Вт/(м·°С).

Определим сопротивление теплопередаче.

Термическое сопротивление наружной поверхности конструкции

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

Наружная цементно-песчаная штукатурка, $\delta = 0,05$м

$$\lambda_w = \lambda_0 + \Delta\lambda w = 0,89 + 0,08\times4 = 1,21 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{С)};$$

$$R_1 = 0{,}05/1{,}21 = 0{,}041 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{C/Вт}.$$

Полистиролбетон, $\delta = 0{,}3$ м,

$$\lambda_w = \lambda_0 + \Delta\lambda w = 0{,}19 + 0{,}008\times 8 = 0{,}26 \text{ Вт/(м}\cdot{}^\circ\text{C)};$$

$$R_2 = 0{,}3/0{,}26 = 1{,}15 \text{ (м}^2{}^\circ\text{C)/Вт}.$$

Внутренняя цементно-песчаная штукатурка, $\delta = 0{,}05$м

$$\lambda_w = \lambda_0 + \Delta\lambda w = 0{,}89 + 0{,}08\times 4 = 1{,}21 \text{ Вт/(м}\cdot{}^\circ\text{C)};$$

$$R_3 = 0{,}05/1{,}21 = 0{,}041 \text{ (м}^2\cdot{}^\circ\text{C)/Вт}.$$

Термическое сопротивление внутренней поверхности конструкции

$$R_в = 1/\alpha_в = 0{,}115 \text{ (м}^2\cdot{}^\circ\text{C)/Вт}.$$

Влияние кладочного раствора на термическое сопротивление стены: в данном случае $A_ш/A_{кам} = 0{,}07$.

$$\lambda_ш = \lambda_0 + \Delta\lambda w = 0{,}89 + 0{,}08\times 4 = 1{,}21 \text{ Вт/(м}\cdot{}^\circ\text{C)};$$

$$\lambda_{кам} = \delta_{об}/(R_1 + R_2 + R_3) = 0{,}32 \text{ Вт/(м}\cdot{}^\circ\text{C)};$$

$$\lambda_{фр} = [0{,}32 + 0{,}07\times 1{,}21)/(1 + 0{,}07)] = 0{,}38 \text{ Вт/(м}\cdot{}^\circ\text{C)};$$

$$R_{общ} = 0{,}043 + 0{,}4/0{,}38 + 0{,}115 = 1{,}21 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{C/Вт}.$$

7.10 Пример расчета теплопроводности крупноформатного керамического камня

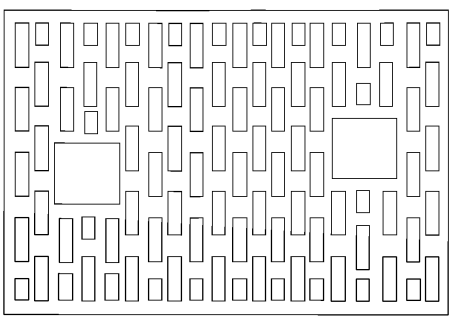


Рисунок 7.4 – Образец изделия для каменной кладки с пустотами.

Вариант расчета по методике К.Ф. Фокина [1]

Керамический камень со сквозными вертикальными пустотами. Номинальные размеры $l \times w \times h_{\,изделия} = 440\times 250\times 219$ мм, формат 12,4 НФ. Масса в высушенном состоянии – 20 кг. Плотность нетто кирпича в высушенном до постоянной массы состоянии составляет примерно 1850 кг/м^3.

Требуется определить эквивалентный коэффициент теплопроводности камня. Коэффициент теплопроводности керамики принимаем $\lambda_0 = 0{,}55$ Вт/(м ·°С).

Термические сопротивления воздушных прослоек при толщине 14,37 мм принимаем R = 0,145 м^2·°С/Вт, при толщине 52,45 мм R = 0,15м^2·°С/Вт.

А) Расчет параллельно тепловому потоку

Участок I. Сплошная керамика

$$R_1 = \frac{0{,}44}{0.55} \cdot 0{,}14 = 0{,}8 \text{ м}^2 \cdot °\text{С/Вт}; \; F = 15{,}13 \text{ мм}^2.$$

Участок II. Керамика с 20 пустотами:

$$R_2 = \frac{0{,}1526}{0{,}55} + 0{,}14 \cdot 20 = 3{,}077 \text{ м}^2 \cdot °\text{С/Вт}, \; F = 65{,}94 \text{ мм}^2.$$

Участок III. Керамика с 10 средними пустотами:

$$R_3 = \frac{0{,}2963}{0{,}55} + 0{,}14 \times 10 = 1{,}938 \text{ м}^2 \cdot °\text{С/Вт}, \; F = 41{,}01 \text{мм}^2.$$

Участок IV. Керамика с 2 средними пустотами:

$$R_4 = \frac{0.3351}{0.55} + 2 * 0{,}15 = 0{,}909 \text{ м}^2 \cdot \; °\text{С/Вт}, \; F = 43{,}32 \text{мм}^2.$$

Термическое сопротивление камня параллельно тепловому потоку по формуле:

$$R = \frac{165{,}4}{\frac{15{,}13}{0{,}8} + \frac{65{,}94}{3{,}077} + \frac{41{,}01}{1{,}938} + \frac{43{,}32}{0{,}909}} = 1{,}52 \text{ м}^2 \cdot °\text{С/Вт}.$$

$$\lambda \text{ камня} = \frac{\delta}{R} = \frac{0.44}{1.52} = 0{,}289 \text{ Вт/(м} \cdot °\text{С)}.$$

Б) Расчет перпендикулярно тепловому потоку

Слои 1, 3, 5, 11,13,15,17,19,21,23,25,27,29,31,37,39,41 – сплошная керамика. Сумма термических сопротивлений слоев

$$R = \frac{0{,}00726}{0{,}55} \cdot 17 = 0{,}2244 \text{ м}^2 \cdot °\text{С/Вт}.$$

Слои 2, 4, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 38, 40 – керамика с пустотами толщиной 14,37 мм.

Эквивалентный коэффициент теплопроводности воздуха в пустоте камня

$$\lambda э = \frac{\delta}{R} = \frac{0{,}01437}{0{,}145} = 0{,}099 \text{ Вт/(м} \cdot °\text{С)},$$

а средний коэффициент теплопроводности слоя по формуле (23) [1]

$$\lambda ср = \frac{0{,}55 * 56{,}14 + 0{,}099 * 109{,}26}{165{,}4} = 0{,}212 \text{ Вт/(м} \cdot °\text{С)},$$

откуда сумма термических сопротивлений этих слоев

$$R = \frac{0{,}01437}{0{,}212} \cdot 20 = 1{,}35 \text{ Вт/(м·°С)}.$$

Слои 5–10, 32–37 – керамика и воздушная прослойка толщиной 52,45 мм. Эквивалентный коэффициент теплопроводности воздуха

$$\lambda э = \frac{\delta}{R} = \frac{0.05245}{0.15} = 0{,}3497 \text{ Вт/(м·°С)},$$

а средний коэффициент теплопроводности слоя

$$\lambda ср = \frac{0{,}55 \cdot 58{,}45 + 0{,}3497 \cdot 106{,}95}{165{,}4} = 0{,}42 \text{Вт/(м·°С)},$$

откуда сумма термических сопротивлений этих слоев

$$R = \frac{0{,}05245}{0{,}42} \cdot 2 = 0{,}249 \text{ Вт/(м·°С)}.$$

Термическое сопротивление камня перпендикулярно тепловому потоку

$$R = 0{,}2244 + 1{,}35 + 0{,}249 = 1{,}8234 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт}.$$

Вычисляем действительную величину термического сопротивления камня по формуле (24) [1]

$$R = \frac{1{,}52 + 2 * 1{,}8234}{3} = 1{,}72 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт}.$$

Тогда средний коэффициент теплопроводности камня

$$\lambda_0 \text{ камня} = \frac{\delta}{R} = \frac{0.44}{1.72} = 0{,}25 \text{ Вт/(м·°С)}.$$

7.11 Вариант расчета расчета теплопроводности крупноформатного керамического камня по Приложению А по методике EN1745 [4].

Камень (рисунок 7.4) имеет 20 рядов пустот, т. е. 5 рядов пустот на 100 мм толщины, по 5 или 6 пустот в ряду (2 или 2,4 пустоты на 100 мм длины). Принимаем геометрическое соотношение 5/2 согласно таблице А.2. Значения данной таблицы основаны на данных о количестве рядов пустот и толщине перемычек между ними. Для керамики плотностью 1850 кг/м^3 принимаем значение λ_0 = 0,55 Вт/м·°С (при проведении испытания допускается принимать отдельное измеренное значение λ). Используя значение теплопроводности раствора 0,80 Вт/(м·°С) получаем значение термического сопротивления на 100 мм толщины кирпича, равное 0,4 м^2·°С/Вт, и λ_0 = 0,25 Вт/(м·°С). При этом кирпич имеет толщину 44 см и значение R = 0,4×4,4 = 1,76 м^2·°С /Вт в сухом состоянии.

Для определения расчетного значения теплозащитных свойств значение термического сопротивления образца в высушенном до постоянной массы состоянии корректируется в соответствии с его влажностью.

7.12. Пример расчета сопротивления теплопередаче кладки из крупноформатного керамического камня с наружным слоем из лицевого кирпича

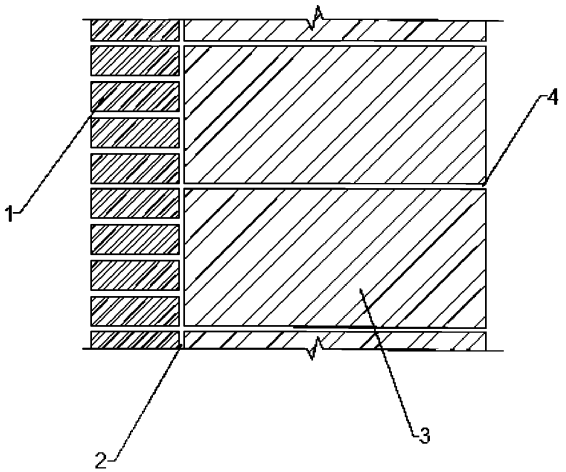


Рисунок 7.5

На рисунке 7.5 изображена ограждающая конструкция, которая состоит из трех слоев:

1 – кирпич с горизонтальным расположением пустот рядовой (лицевой) 1НФ

$\rho_{(брутто)} = 1400$кг/м^3, $\delta = 120$ мм, $\lambda_0 = 0{,}47$ Вт/(м·°С);

2 – раствор кладочный $\rho = 900$ кг/м^3, $\delta = 12$ мм, $\lambda_0 = 0{,}23$ Вт/(м·°С);

3 – керамический камень 12,4НФ, $\rho_{(брутто)} = 800$кг/м^3, $\delta = 440$мм, $\lambda_0 = 0{,}22$ Вт/(м·°С).

Термическое сопротивление наружной поверхности конструкции

$$R_н = 1/\alpha_н = = 0{,}043 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт}.$$

Наружный слой из лицевого кирпича, $\delta = 0{,}12$ м:

$\lambda_w = \lambda_0 + \Delta\lambda w = 0{,}47 + 0{,}11x2 = 0{,}69$ Вт/(м°С);

$$R_1 = 0{,}12/0{,}69 = 0{,}174 \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт}.$$

Камень керамический крупноформатный, $\delta = 0{,}44$ м:

$$\lambda_w = \lambda_0 + \Delta\lambda w = 0{,}22 + 0{,}11x^2 = 0{,}44 \text{ Вт/(м·°С)};$$

$$R_2 = 0{,}44 / 0{,}44 = 1{,}0 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт};$$

Термическое сопротивление внутренней поверхности конструкции

$$R_в = 1/\alpha_в = 0{,}115 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт}.$$

Влияние кладочного раствора на термическое сопротивление стены

В данном случае отношение составит $A_ш/A_{кам} = 0{,}051$

$$\lambda_ш = \lambda_0 + \Delta\lambda w = 0{,}23 + 0{,}05\times4 = 0{,}43 \text{ Вт/(м·°С)};$$

$$\lambda_{по\ камню} = \delta_{об}/(R_1 + R_2) = 0{,}47 \text{ Вт/(м·°С)};$$

$$\lambda_{фр.} = [0{,}47 + 0{,}051x\cdot0{,}43)/(1+0{,}051)] = 0{,}468 \text{ Вт/(м·°С)};$$

$$R_{общ} = 0{,}043 + 0{,}56/0{,}468+0{,}115 = 1{,}35 \text{ м}^2\text{·°С /Вт}.$$

7.13 Пример расчета с применением таблиц Приложения А.

Пример определения расчетного значения теплозащитных свойств стенового изделия с вертикальными пустотами размерами $l\times w\times h_{изделия}$ = 250×380×238 мм массой в высушенном до постоянной массы состоянии примерно 13,6 кг. Горизонтальный шов состоит из теплоизоляционного раствора с теплопроводностью λ_0 = 0,16 Вт/(м·°С). Плотность нетто стенового изделия в высушенном до постоянной массы состоянии, рассчитанная с помощью массы и объема нетто, составляет примерно 1500 кг/м^3.

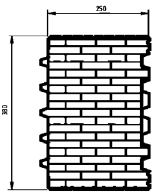


Рисунок 7.6 – Образец изделия для каменной кладки с вертикальными пустотами

Кирпич имеет 19 рядов пустот, т.е. 5 рядов пустот на 100 мм толщины по 3 или 4 пустоты в ряду (1,2 или 1,6 пустоты на 100 мм длины). В связи с тем, что геометрическое соотношение 5/1,2 в таблице А.3 отсутствует, принимаем геометрическое соотношение 5/1,6. Значения данной таблицы действительны, так как основаны на данных о количестве рядов пустот и толщине перемычек между

ними. Для кирпича плотностью 1500 кг/м^3 (см. п. 6.2) применяют значение λ_0 = 0,43 Вт/м·°С. Используя значение столбца таблицы А.3 ($\lambda_{0,\text{растворного шва}}$ = 0,16 Вт/м·°С), получаем значение термического сопротивления на 100 мм толщины кирпича, равное 0,58 (м^2·°С) /Вт, и $\lambda_{0\text{кладки}}$ = 0,17 Вт/м·°С. При этом стеновое изделие имеет толщину 38 см и значение R = 0,58×3,8 = 2,204 (м^2·°С) /Вт в сухом состоянии.

Расчет проведен без учета влияния вертикального шва. Отклонение от геометрических размеров допускается не учитывать, так как длина и высота образца соответствуют «установленным размерам» геометрического соотношения, указанным в таблице А.3.

7.14 Пример расчета защиты от переувлажнения ограждающей конструкции по СП50.13330.2012 с использованием коэффициентов паропроницаемости материалов.

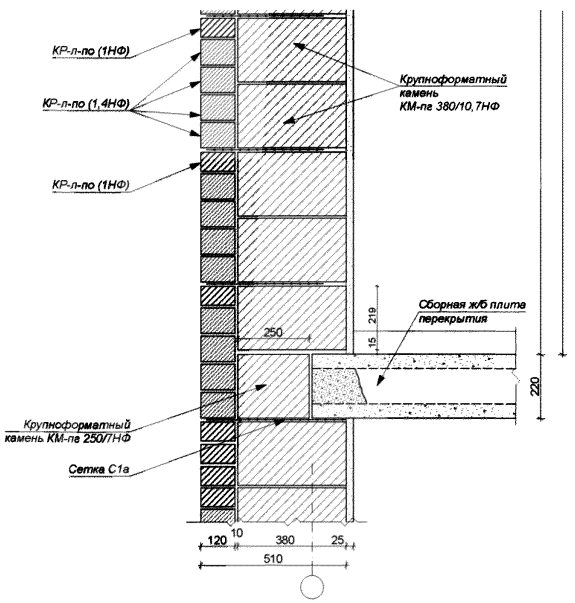


Рисунок 7.7 – Рассматриваемая конструкция для расчета защиты от переувлажнения

Требуемое сопротивление паропроницанию $R_{n1}^{тр}$,(м^2·ч·Па)/мг из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации

$$R_{n1}^{тр} = \frac{(e_в - E)R_{п.н}}{E - e_н},$$

где $e_в$ – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетных температуре и относительной влажности воздуха в помещении, определяемое по формуле

$$e_в = (\varphi_в / 100)E_в,$$

здесь

$E_в$ – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре внутреннего воздуха помещения $t_в$, определяемое в соответствии с 8.6;

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

$\varphi_в$ – относительная влажность внутреннего воздуха, %, принимаемая для различных зданий в соответствии с 5.7 (50%);

$R_{п.н}$ – сопротивление паропроницанию, (м^2·ч·Па)/мг, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью максимального увлажнения, для отдельного слоя многослойной ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$R_{пi} = \frac{\delta_i}{\mu_i},$$

δ_i – толщина слоя ограждающей конструкции, м;

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

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

$$R_{п.о} = \sum R_{пi},$$

$e_н$ – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период, Па, определяется согласно СП131.13330

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

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

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

z_1, z_2, z_3 – продолжительность зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, мес, определяемая по СП 131.13330.2012.

В соответствии с изложенной методикой определяются указанные параметры, необходимые для расчета величины $R_{п1}^{тр}$.

Расчетные параметры внутреннего воздуха: $t_в$ = +20 °С при относительной влажности $\varphi_в$ = 50%.

Максимальная упругость водяного пара $E(t_в)$ = 2338 Па.

Парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха равно

$$e_в = (50/100)\times 2338 = 1169 \text{ Па}.$$

Сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью возможной конденсации равно

$$R_{п.н} = \Sigma R_{ni} = 0{,}12/0{,}14+0{,}44/0{,}14+0{,}025/0{,}3 = 4{,}08(м^2 \cdot ч \cdot Па)/мг,$$

$$e_н = 770 \text{ Па}.$$

На основании табл.5.1 СП 131.13330.2012 определяем:

$$z_1 = 3,\ z_2 = 2,\ z_3 = 7.$$

$$t_{н1} = (-5{,}6 - 7{,}8 - 7{,}1)/3 = -6{,}8\ °С;$$

$$t_{н2} = (-1{,}3 - 1{,}1)/2 = -1{,}2\ °С;$$

$$t_{н3} = (13{,}0 + 16{,}9 + 18{,}7 + 16{,}8 + 11{,}1)/7 = 12{,}6\ °С.$$

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции составляет

$R_{общ}$ = 1/1,8+0,12/0,45+0,44/ 0,23+0,025/0,3+1/23 = 2,93(м^2·°С)/Вт.

Сопротивление теплопередаче части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации, равно:

$$R_н = 1,094 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт.}$$

Температура в плоскости возможной конденсации вычисляется по формуле:

$$t = t_н - \frac{(t_н - t_в)}{R_н} \cdot R_{общ}.$$

По этой формуле для значений $t_{н1}$, $t_{н2}$, $t_{н3}$ определяются температуры в плоскости возможной конденсации:

$t_{н1}$ = –6,8 °С $\quad$ t_1 = 7,7 °С

$t_{н2}$ = –1,2 °С $\quad$ t_2 = 7,5 °С

$t_{н3}$ = 12,6^м $\quad$ t_3 = 7,0 °С

Упругость водяного пара, принимаемая по температуре в плоскости возможной конденсации, соответственно составляет:

E_1 = 1051 Па

E_2 = 1037 Па

E_3 = 1001 Па

E – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации равно

E = 1019,5 Па.

Требуемое сопротивление паропроницанию, определенное из условия недопустимости накопления влаги, составляет

$R^{тр}_{п1}$ = (1169 – 1019,5)·4,08/ (1019,5 – 770) = 2,4 (м^2·ч·Па)/мг.

Таким образом, сопротивление паропроницанию должно превышать значение, равное 2,4 (м^2·ч·Па)/мг.

Расчет требуемого сопротивления паропроницанию из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными температурами.

Требуемое сопротивление паропроницанию из указанного условия определяется по формуле:

$$R_{п2}^{тр} = \frac{0,0024\ z_0(e_в - E_0)}{\rho_w \delta_w \Delta w_{ср} + \eta},$$

где

E_0 – упругость водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации, определяемая при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами;

ρ_w – плотность материала увлажняемого слоя, кг/м^3;

δ_ω – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м;

$\Delta\omega_{ср}$ – предельно допустимое приращение влажности в материале увлажняемого слоя, %, за период влагонакопления z_0;

η определяется по формуле:

$$\eta = 0,0024\ (E_0 - e_0^н) z_0 / R_п^н$$

$e^н_0$ – средняя упругость водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами;

z_0 – продолжительность, сут., периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными среднемесячными температурами

В соответствии с изложенной методикой определяются параметры, необходимые для расчета $R^{тр}_{п2}$. По данным СП 131.13330.2012 получается:

$$z_0 = 135 \text{ сут};$$

$$t_{н0} = (–7,8 – 7,1 – 1,3 – 1,1 – 5,62)/5 = –4,58\ °C.$$

Для этого значения $t_{н0}$ вычисляется t_0:

$$t_0 = t_н – (t_н – t_в)R_н / R_{общ};$$

$$t_0 = 9,3\ C,\quad E_0 = 1172 \text{ Па}.$$

$$\rho_w = 1834 \text{ кг/м}^3,\ \delta_\omega = 0,39 \text{ м},\ \Delta\omega_{ср} = 1,5\%.$$

По табл.7.1, СП 131.13330.2012 определяется значение $e_{н0}$ при $\varphi_н = 80\%$:

$$e_{н0} = 364 \text{ Па}.$$

По вышеприведенной формуле рассчитывается параметр η:

$$\eta = 0,0024\ (1020 – 364) \cdot 135/\ 4\ = 53,14.$$

Требуемое сопротивление паропроницанию из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами составляет:

$R^{тр}_{п2} = 0{,}0024 \cdot 135 \cdot (1169 - 1020) / (1834 \cdot 0{,}39 \cdot 1{,}5 + 53{,}14) = 0{,}043$ (м^2·ч·Па)/мг.

Из двух значений $R^{тр}_{п1}$ и $R^{тр}_{п2}$ большим является $R^{тр}_{п1}$. Таким образом, сопротивление паропроницанию внутренней части совмещенного кровельного покрытия должно превышать значение, равное 2,4 (м^2·ч·Па)/мг.

Сопротивление паропроницанию внутренней части конструкции составляет:

$$R_{п.в.} = \Sigma \delta_i / \mu_i + r_{п.в.},$$

здесь

δ_i, μ_i – толщина, м, и паропроницаемость материала, мг/(м·ч·Па) i-го однородного слоя ограждающей конструкции;

индекс i соответствует номерам слоев, расположенных с внутренней стороны наружного ограждения относительно плоскости возможной конденсации;

$r_{п.в.}$ – сопротивление паропроницанию внутренней поверхности стены, принимается равным 0,027 (м^2·ч·Па)/мг.

В расчете принимаем толщину слоя от внутренней поверхности до зоны конденсации равной 0,42 м, условный коэффициент паропроницаемости многослойной конструкции с учетом наличия паропроницаемых швов принят μ = 0,14 мг/(м·ч·Па):

$$R_{п.в.} = 0{,}42/0{,}14+0{,}027 = 3{,}03 \text{ (м}^2\text{·ч·Па)/мг.}$$

Из приведенного расчета следует, что $R_{п.в.} > R^{тр}_{п1}$,

а именно 3,03 (м^2·ч·Па)/мг > 2,4 (м^2·ч·Па)/мг, т.е. рассматриваемая стена удовлетворяет требованиям СП50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» по величине сопротивления паропроницанию внутренней части ограждающей конструкции.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Значения термического сопротивления и эквивалентной теплопроводности каменной кладки пустотелых изделий

Приложение содержит данные из европейских норм по теплопроводности в сухом состоянии как собственно материала, так и пустотелого изделия. Геометрическое соотношение определяется двумя значениями:

- количеством рядов пустот;

- количеством пустот в ряду.

Например, 3,7/1,6 означает, что данный тип изделия для каменной кладки имеет 3,7 ряда пустот на 100 мм толщины и 1,6 пустоты в ряду на 100 мм длины или 11 рядов пустот при толщине кладки 300 мм и 4 пустоты в ряду при длине элемента 250 мм. Составная часть поперечных перемычек определяется как сумма толщин всех поперечных перемычек, разделенная на длину элемента, %. Данная величина указывается для каждого геометрического соотношения в качестве дополнительной информации. Дополнительная информация должна быть указана для каждого геометрического соотношения размеров, являющихся основой для расчетов.

Приведенные табличные значения применяют в качестве основы для определения эквивалентных значений $\lambda_{0,изд}$ изделия для каменной кладки или значений $R_{кл}$ или $\lambda_{0,кладки}$ каменной кладки при отсутствии измеренного значения или расчета конкретного изделия.

Выбор варианта геометрического соотношения зависит от следующих факторов его влияния на термическое сопротивление:

- количество рядов пустот;

- толщина перемычек между пустотами (составная часть поперечных перемычек);

- пустоты, смещенные либо расположенные «в линию»;

- форма пустот.

В отдельных случаях в таблицах указывают два значения, одно из которых относится к варианту без вертикальных растворных швов, а другое – к варианту с вертикальными растворными швами. Значение термического сопротивления

растворных швов рассчитывают для различных способов их устройства. Устройство растворных швов производят с применением теплоизоляционного кладочного раствора или выполнение двойного слоя растворного шва из обычного раствора с промежуточным теплоизоляционным слоем.

Значения теплотехнических показателей объединяют в зависимости от применяемых материалов для каменной кладки, при этом допускается применение результатов расчетов и для других материалов для каменной кладки, если геометрическое соотношение и теплопроводность материала аналогичны полученным этим расчетом.

Значения термического сопротивления, указанные в таблицах, предназначены для кладки толщиной 100 мм, следовательно, для кладки толщиной 300 мм значения необходимо умножать на 3.

Значения процентного содержания пустот, указанные в таблицах, относятся к поперечному сечению изделий для каменной кладки.

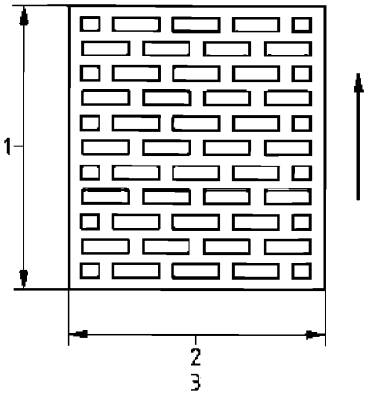
Стрелкой указано направление движения теплового потока.

Примечание: Значения, указанные в таблицах с А.23 по А.28 включительно, рассчитаны без учета вертикальных растворных швов. Значения, указанные в таблицах с А.29 по А.33 включительно, рассчитаны с учетом растворных карманов. Значения, указанные в таблице А.34, рассчитаны с учетом сквозного вертикального растворного шва.

Значения, указанные в таблицах А.29–А.33, распространяются на различные формы изделий для каменной кладки; чертежи приведены только в качестве примеров.

Таблица А.1– Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 3,7/1,6

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м²·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80
0,34	0,175	0,57/ 0,18	0,55/ 0,18	0,49/ 0,20
0,42	0,199	0,50/ 0,20	0,49/ 0,20	0,44/ 0,23
0,51	0,224	0,46/ 0,22	0,44/ 0,23	0,40/ 0,25
0,60	0,245	0,42/ 0,24	0,40/ 0,25	0,37/ 0,27



Условные обозначения: 1 – длина изделия, определяющая толщину стены; 2 – ширина изделия, определяющая длину стены; 3 – горизонтальный разрез

Рисунок А.1 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 3,7/1
(составная часть поперечных перемычек 26,4%; пустот 38,4%);
номинальные размеры: l = 250 мм, w = 300 мм, u = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.2 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 5/2

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80
0,34	0,161	0,62/ 0,16	0,59/ 0,17	0,53/ 0,19
0,42	0,182	0,58/ 0,18	0,53/ 0,19	0,48/ 0,21
0,51	0,203	0,50/ 0,20	0,48/ 0,21	0,43/ 0,23
0,60	0,224	0,45/ 0,22	0,44/ 0,23	0,40/ 0,25

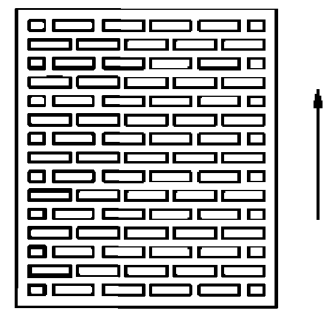


Рисунок А.2 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 5/2
(составная часть поперечных перемычек 25,8%; пустот 37,5 %);
номинальные размеры: l = 250 мм, w = 300 мм, $h_{изделия}$ = 238 мм, $h_{растворного\ шва}$ = 12 мм

Таблица А.3 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 5/1,6

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80
0,34	0,150	0,65/ 0,15	0,62/ 0,16	0,55/ 0,18
0,42	0,171	0,58/ 0,17	0,56/ 0,18	0,50/ 0,20
0,51	0,192	0,53/ 0,19	0,51/ 0,20	0,46/ 0,22
0,60	0,203	0,49/ 0,20	0,47/ 0,21	0,43/ 0,23

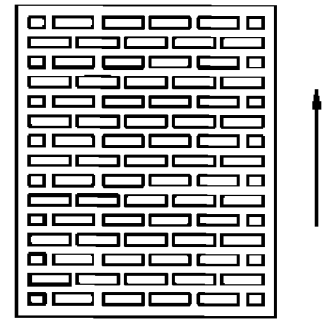


Рисунок А.3 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 5/1,6
(составная часть поперечных перемычек 22,2%; пустот 39,1 %);
номинальные размеры: l = 250 мм, w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.4 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 5,7/1,6

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80
0,34	0,140	0,70/ 0,14	0,66/ 0,15	0,59/ 0,17
0,42	0,161	0,63/ 0,16	0,60/ 0,17	0,54/ 0,19
0,51	0,175	0,57/ 0,18	0,55/ 0,18	0,49/ 0,20
0,60	0,192	0,53/ 0,19	0,51/ 0,20	0,46/ 0,22

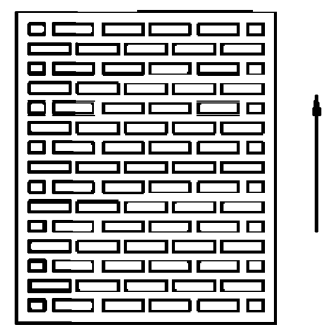


Рисунок А.4 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 5,7/1,6
(составная часть поперечных перемычек 20,8%; пустот 39,3%);
номинальные размеры: l = 250 мм, w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.5 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 5,7/1,2

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80
0,34	0,129	0,75/ 0,13	0,71/ 0,14	0,63/ 0,16
0,42	0,140	0,69/ 0,14	0,65/ 0,15	0,58/ 0,17
0,51	0,157	0,64/ 0,16	0,61/ 0,16	0,54/ 0,19
0,60	0,171	0,59/ 0,17	0,57/ 0,18	0,51/ 0,20

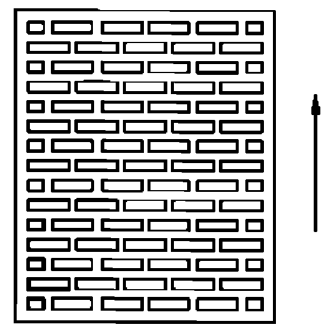


Рисунок А.5 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 5,7/1,2
(составная часть поперечных перемычек 15,6%; пустот 50,9%);
номинальные размеры: l = 250 мм, w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.6 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 1,6/3,7

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины	
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)	
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)	
		0,32	0,80
0,34	0,296	0,33/ 0,30	0,31/ 0,32
0,42	0,342	0,29/ 0,34	0,27/ 0,37
0,51	0,392	0,26/ 0,39	0,24/ 0,41
0,60	0,441	0,23/ 0,44	0,22/ 0,46

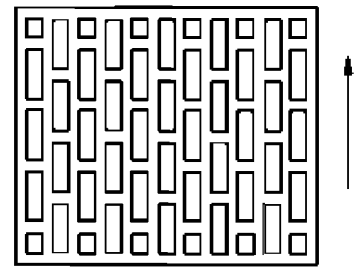


Рисунок А.6 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 1,6/3,7
(составная часть поперечных перемычек 48,0 %; пустот 38,4 %);
номинальные размеры: l = 300 мм, w = 250 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Примечание – Значения для такого сочетания кладочного элемента с применением раствора теплопроводностью 0,16 Вт/м·°С не указываются, поскольку такое применение было бы нецелесообразным

Таблица А.7 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 2,8/4,1

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины			
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)			
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)			
		0,16	0,32	0,80	[a]
0,25	0,221	0,48/0,21	0,42/0,24	0,32/0,31	0,30/0,33
0,34	0,265	0,40/0,25	0,36/0,24	0,29/0,34	0,28/0,36
0,42	0,324	0,33/0,30	0,31/0,33	0,25/0,39	0,24/0,41
0,51	0,387	0,28/0,35	0,26/0,38	0,22/0,45	0,21/0,47
0,60	0,446	0,25/0,40	0,23/0,43	0,20/0,50	0,19/0,52
[a] При наличии вертикального растворного шва применяются значения в скобках.					

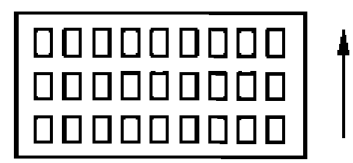


Рисунок А.7 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 2,8/4,1
(составная часть поперечных перемычек 50,9%; пустот 30%);
номинальные размеры: l = 220 мм, w = 105 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 65 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.8 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 2,17/4,51

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80
0,25	0,20	0,53 0,19	0,50 0,20	0,42 0,24
0,34	0,21	0,50 0,20	0,48 0,21	0,40 0,25
0,42	0,21	0,43 0,23	0,42 0,24	0,36 0,28
0,51	0,24	0,38 0,26	0,37 0,27	0,32 0,31
0,60	0,29	0,34 0,29	0,33 0,30	0,29 0,34
[a] Все значения указаны при наличии вертикальных растворных швов				

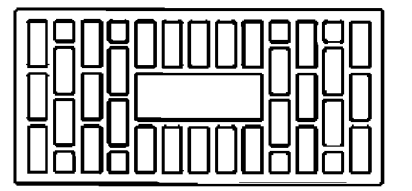


Рисунок А.8 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 2,17/4,51
(составная часть поперечных перемычек 31%; пустот 53%);
номинальные размеры: l = 288 мм, w = 138 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 138 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.9 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 3,62/3,82

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80
0,25	0,20	0,50 0,20	0,48 0,21	0,42 0,24
0,34	0,22	0,45 0,22	0,43 0,23	0,38 0,26
0,42	0,27	0,37 0,27	0,36 0,28	0,32 0,31
0,51	0,30	0,34 0,29	0,33 0,30	0,29 0,34
0,60	0,37	0,28 0,36	0,27 0,37	0,24 0,41
[a] Все значения указаны при наличии вертикальных растворных швов.				

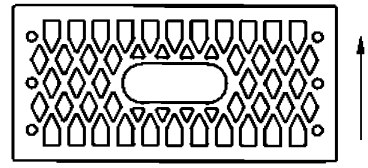


Рисунок А.9 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 3,62/3,82
(составная часть поперечных перемычек 64%; пустот 39%);
номинальные размеры: l = 288 мм, w = 138 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 138 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.10 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 1,9/2,3

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины			
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)			
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)			
		0,16	0,32	0,80	[a]
0,25	0,199	0,50/ 0,20	0,44/ 0,23	0,35/ 0,29	(0,32)/ (0,31)
0,34	0,280	0,38/ 0,26	0,34/ 0,29	0,27/ 0,37	(0,26)/ (0,39)
0,42	0,341	0,32/ 0,31	0,29/ 0,34	0,24/ 0,42	(0,23)/ (0,44)
0,51	0,414	0,27/ 0,37	0,25/ 0,40	0,21/ 0,48	(0,20)/ (0,50)
0,60	0,479	0,24/ 0,42	0,22/ 0,45	0,18/ 0,54	(0,18)/ (0,55)

[a] При наличии вертикального растворного шва применяются значения в скобках.

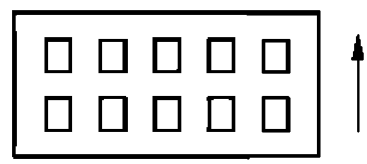
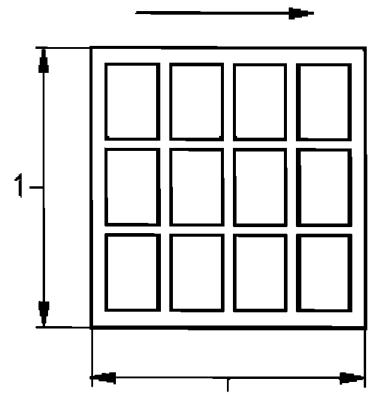


Рисунок А.10 – Изделия для каменной кладки с вертикальными отверстиями. Геометрическое соотношение 1,9/2,3
(составная часть поперечных перемычек 54,5%; пустот 17,3 %),
номинальные размеры: l = 220 мм,w = 105 мм, $h_{изделия}$ = 55 мм, $h_{растворного\ шва}$ = 12 мм

Таблица А.11 – Изделия для каменной кладки с горизонтальными отверстиями. Геометрическое соотношение 2/1,5

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины			
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)			
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)			
		0,16	0,32	0,80	[a]
0,34	0,222	0,45/ 0,22	0,44/ 0,23	0,39/ 0,25	(0,37)/ (0,27)
0,42	0,243	0,42/ 0,24	0,40/ 0,25	0,37/ 0,27	(0,35)/ (0,28)
0,51	0,257	0,40/ 0,25	0,38/ 0,26	0,34/ 0,29	(0,33)/ (0,30)
0,60	0,282	0,36/ 0,28	0,36/ 0,28	0,32/ 0,31	(0,31)/ (0,32)
[a] При наличии вертикального растворного шва применяются значения в скобках.					



Условные обозначения: 1 – высота; 2 – ширина; 3 – вертикальный разрез

Рисунок А.11 – Изделия для каменной кладки с горизонтальными отверстиями. Геометрическое соотношение 2/1,5
(составная часть поперечных перемычек 16%; пустот 63,9%);
номинальные размеры: l = 500 мм, w = 200 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 200 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.12 – Изделия для каменной кладки с горизонтальными отверстиями. Геометрическое соотношение 1,85/1,5

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины			
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)			
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)			
		0,16	0,32	0,80	[a]
0,34	0,160	0,44/ 0,22	0,43/ 0,23	0,40/ 0,25	(0,38)/ (0,26)
0,42	0,169	0,42/ 0,24	0,40/ 0,25	0,37/ 0,27	(0,36)/ (0,28)
0,51	0,183	0,38/ 0,26	0,37/ 0,27	0,34/ 0,29	(0,33)/ (0,30)
0,60	0,201	0,36/ 0,28	0,34/ 0,29	0,33/ 0,31	(0,31)/ (0,32)
[a] При наличии вертикального растворного шва применяются значения в скобках.					

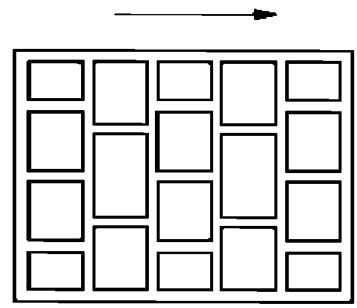


Рисунок А.12 – Изделия для каменной кладки с горизонтальными отверстиями. Геометрическое соотношение 1,85/1,5
(составная часть поперечных перемычек 21,5%; пустот 62,8%);
номинальные размеры: l = 500 мм, w = 270 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 200 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.13 – Изделия для каменной кладки с горизонтальными отверстиями. Геометрическое соотношение 3,7/1,5

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины			
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)			
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)			
		0,16	0,32	0,80	[a]
0,34	0,169	0,59/ 0,17	0,55/ 0,18	0,50/ 0,20	(0,48)/ (0,21)
0,42	0,183	0,55/ 0,18	0,51/ 0,19	0,46/ 0,22	(0,43)/ (0,23)
0,51	0,201	0,50/ 0,20	0,48/ 0,21	0,43/ 0,23	(0,40)/ (0,25)
0,60	0,222	0,46/ 0,22	0,43/ 0,23	0,40/ 0,25	(0,38)/ (0,26)
[a] При наличии вертикального растворного шва применяются значения в скобках.					

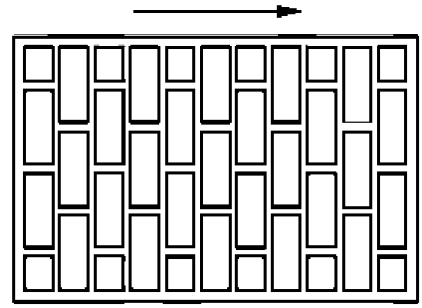


Рисунок А.13 – Изделия для каменной кладки с горизонтальными отверстиями. Геометрическое соотношение 3,7/1,5
(составная часть поперечных перемычек 18,5%; пустот 61,8%);
номинальные размеры: l = 500 мм,w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 200 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.14 – Изделия для каменной кладки с горизонтальными отверстиями. Геометрическое соотношение 4,3/1

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины			
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)			
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)			
		0,16	0,32	0,80	[a]
0,34	0,151	0,64/ 0,15	0,61/ 0,16	0,53/ 0,19	(0,50)/ (0,20)
0,42	0,169	0,59/ 0,17	0,56/ 0,18	0,50/ 0,20	(0,48)/ (0,21)
0,51	0,186	0,53/ 0,19	0,53/ 0,19	0,46/ 0,22	(0,43)/ (0,23)
0,60	0,201	0,50/ 0,20	0,48/ 0,21	0,43/ 0,23	(0,41)/ (0,24)

[a] При наличии вертикального растворного шва применяются значения в скобках.

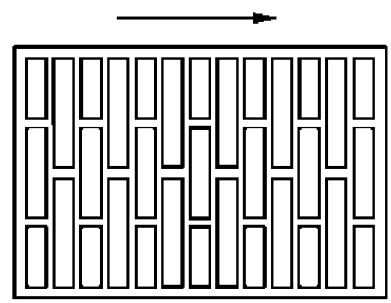
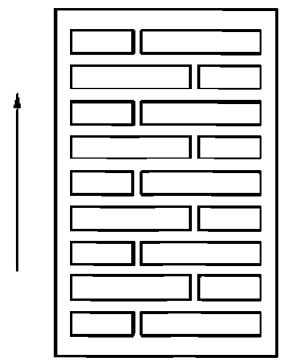


Рисунок А.14 – Изделия для каменной кладки с горизонтальными отверстиями. Геометрическое соотношение 4,3/1
(составная часть поперечных перемычек 15,4%; пустот 56,3%);
номинальные размеры: l = 500 мм,w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 200 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.15 – Силикатные изделия для каменной кладки. Геометрическое соотношение 2,5/0,8

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины			
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)			
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)			тонкий слой раствора
		0,16	0,32	0,80	
0,32	0,192	0,52/ 0,19	0,50/ 0,20	0,46/ 0,22	0,52/ 0,19
0,64	0,276	0,37/ 0,27	0,36/ 0,28	0,33/ 0,30	0,36/ 0,28



1

Условные обозначения: 1 – горизонтальное сечение

Рисунок А.15 – Силикатные изделия для каменной кладки. Геометрическое соотношение 2,5/0,8 (составная часть поперечных перемычек20%; пустот 46%); номинальные размеры:l = 240 мм, w = 365 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.16 – Силикатные изделия для каменной кладки. Геометрическое соотношение 3,7/0,8

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины			
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)			
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)			тонкий слой раствора
		0,16	0,32	0,80	
0,32	0,178	0,57/ 0,18	0,54/ 0,19	0,49/ 0,20	0,57/ 0,18
0,64	0,259	0,40/ 0,25	0,38/ 0,26	0,35/ 0,29	0,39/ 0,26

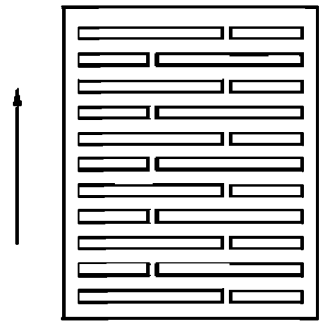


Рисунок А.16 – Силикатные изделия для каменной кладки.
Геометрическое соотношение 3,7/0,8
(составная часть поперечных перемычек 16%; пустот 30%);
номинальные размеры: l = 247 мм, w = 365 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.17 – Силикатные изделия для каменной кладки. Геометрическое соотношение 3,7/1,1

λ_0 , Вт/(м·°С) материала	λ_0,Вт/(м·°С) изделия для каменной кладки	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины			
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)			
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)			тонкий слой раствора
		0,16	0,32	0,80	
0,32	0,171	0,60/ 0,17	0,57/ 0,18	0,51/ 0,20	0,60/ 0,17
0,64	0,259	0,41/ 0,24	0,40/ 0,25	0,37/ 0,27	0,41/ 0,24

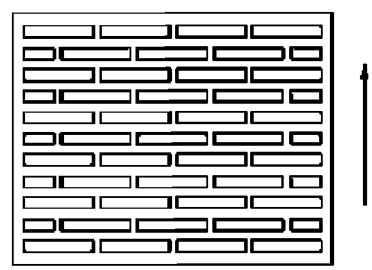


Рисунок А.17 – Силикатные изделия для каменной кладки.
Геометрическое соотношение3,7/1,1
(составная часть поперечных перемычек 19%; пустот 34%);
номинальные размеры: l = 373 мм, w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.18 – Силикатные изделия для каменной кладки. Геометрическое соотношение 1,3/1,3

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины	
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)	
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)	
		0,80	тонкий слой раствора
0,64	0,440	0,22/ 0,45	0,22/ 0,45
1,05	0,666	0,15/ 0,67	0,15/ 0,67

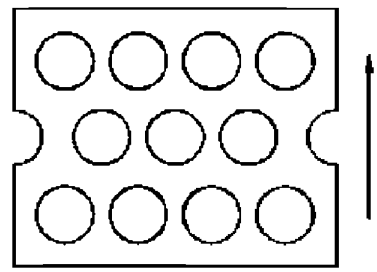


Рисунок А.18 – Силикатные изделия для каменной кладки.
Геометрическое соотношение 1,3/1,3
(составная часть поперечных перемычек 39%; пустот 28%);
номинальные размеры: l = 300 мм, w = 240 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.19 – Силикатные изделия для каменной кладки. Геометрическое соотношение 1,7/1,3

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины	
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)	
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)	
		0,80	тонкий слой раствора
0,64	0,430	0,20/ 0,50	0,20/ 0,50
1,05	0,666	0,13/ 0,77	0,13/ 0,77

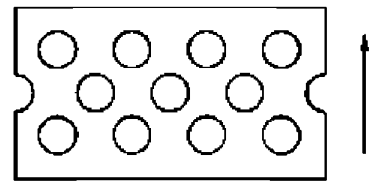


Рисунок А.19 – Силикатные изделия для каменной кладки.
Геометрическое соотношение1,7/1,3
(составная часть поперечных перемычек 59%; пустот 17%);
номинальные размеры: l = 300 мм, w = 175 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.20 – Силикатные изделия для каменной кладки. Геометрическое соотношение 1,7/1,7

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины
		λ_0, каменной кладки, Вт/(м·°С)
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)
		0,80
0,64	0,411	0,23/ 0,43
1,05	0,621	0,16/ 0,63

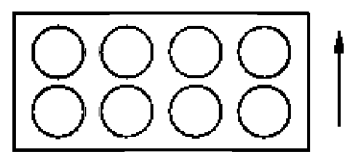


Рисунок А.20 – Силикатные изделия для каменной кладки.
Геометрическое соотношение 1,7/1,7
(доля поперечных перемычек 33%; пустот 36%);
номинальные размеры: l = 240 мм, w = 115 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.21– Силикатные изделия для каменной кладки. Геометрическое соотношение 2,1/1,3

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины	
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)	
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)	
		0,80	тонкий слой раствора
0,64	0,405	0,23/ 0,43	0,25/ 0,40
1,05	0,625	0,16/ 0,63	0,16/ 0,63

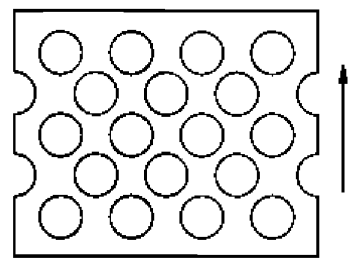


Рисунок А.21 – Силикатные изделия для каменной кладки.
Геометрическое соотношение 2,1/1,3
(доля поперечных перемычек 49%; пустот 32%);
номинальные размеры: l = 300 мм, w = 240 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.22 – Силикатные изделия для каменной кладки. Геометрическое соотношение 2,1/1,7

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины	
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)	
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)	
		0,80	тонкий слой раствора
0,64	0,430	0,22/ 0,45	0,23/ 0,43
1,05	0,666	0,15/ 0,67	0,15/ 0,67

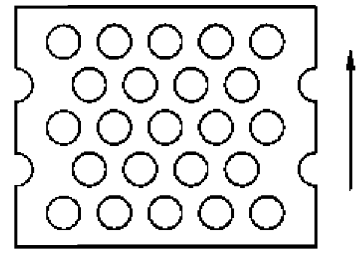


Рисунок А.22 – Силикатные изделия для каменной кладки.
Геометрическое соотношение 2,1/1,7
(доля поперечных перемычек 50%; пустот 25%);
номинальные размеры: l = 300 мм, w = 240 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.23 – Силикатные изделия для каменной кладки. Геометрическое соотношение 2,6/1,7

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)
		0,80
0,64	0,391	0,23/ 0,43
1,05	0,612	0,16/ 0,63

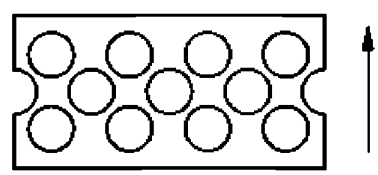


Рисунок А.23 – Силикатные изделия для каменной кладки.
Геометрическое соотношение 2,6/1,7
(доля поперечных перемычек 50%; пустот 31%);
номинальные размеры: l = 240 мм, w = 115 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 113 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.24 – Силикатные изделия для каменной кладки. Геометрическое соотношение 2,6/2,1

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)
		0,80
0,64	0,501	0,19/ 0,53
1,05	0,833	0,12/ 0,83

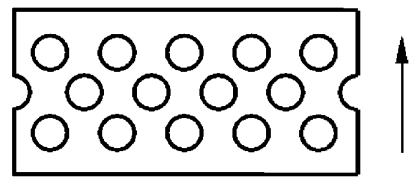


Рисунок А.24 – Силикатные изделия для каменной кладки.
Геометрическое соотношение 2,6/2,1
(доля поперечных перемычек 63%; пустот 14%);
номинальные размеры: l = 240 мм, w = 115 мм, $h_{изделия}$ = 113 мм, $h_{растворного\ шва}$ = 12 мм.

Таблица А.25 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 1/1,2

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80[a]
0,35	0,315	0,32/0,31	0,31/0,32	0,29/0,34
0,50	0,378	0,27/ 0,37	0,27/ 0,37	0,25/0,40
0,67	0,431	0,24/0,42	0,24/0,42	0,22/0,45
0,83	0,484	- -	0,21/0,48	0,20/0,50
1,00	0,515	- -	- -	0,19/0,53
1,25	0,579	- -	- -	0,17/0,59
1,50	0,663	- -	- -	0,15/0,67

[a] Данные значения распространяются на случаи, когда вертикальный шов не заделан раствором (т.е., ряды пустот в вертикальном шве не прерываются).

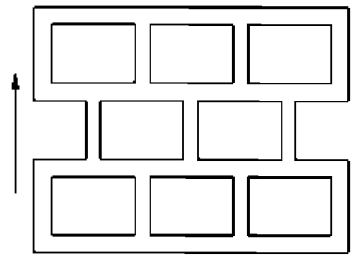


Рисунок А.25 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 1/1,2 (доля поперечных перемычек от 16% до 21%;пустот 58,9%); номинальные размеры: l = 380 мм, w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 221 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.26 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 1,7/1,2

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80[a]
0,35	0,241	0,42/0,24	0,41/0,24	0,37/0,27
0,50	0,273	0,36/0,28	0,35/0,29	0,33/0,30
0,67	0,315	- -	0,31/0,32	0,29/0,34
0,83	0,357	- -	0,31/0,32	0,29/0,34
1,00	0,399	- -	- -	0,24/0,42
1,25	0,431	- -	- -	0,22/0,45
1,50	0,484	- -	- -	0,20/0,50

[a] Данные значения распространяются на случаи, когда вертикальный шов не заделан раствором (т.е., ряды пустот в вертикальном шве не прерываются).

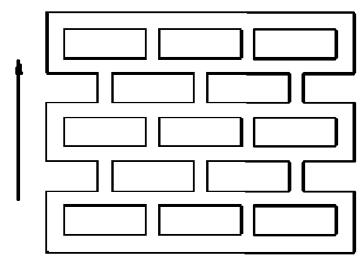


Рисунок А.26 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 1,7/1,2 (доля поперечных перемычек от 13% до 19%;пустот 54,4%); номинальные размеры: l = 380 мм, w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 221 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.27 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 1,7/0,8

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины	
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)	
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)	
		0,32	0,80[a]
0,35	0,231	0,41/0,24	0,38/0,26
0,50	0,273	0,35/0,29	0,33/0,30
0,67	0,315	0,31/0,32	0,29/0,34
0,83	0,347	0,29/0,34	0,27/0,37
1,00	0,378	- -	0,25/0,40
1,25	0,431	- -	0,22/0,45
1,50	0,463	- -	0,21/0,48
[a] Данные значения распространяются на случаи, когда вертикальный шов не заделан раствором (т.е., ряды пустот в вертикальном шве не прерываются).			

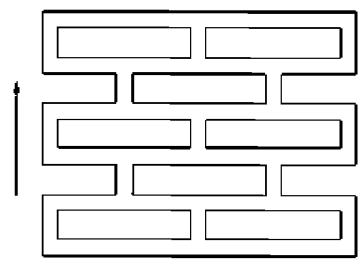


Рисунок А.27 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона.
Геометрическое соотношение 1,7/0,8
(доля поперечных перемычек от 11% до 16%; пустот 51,8 %);
номинальные размеры: l = 380 мм, w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 221 мм,$h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.28 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 3/1,2

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80[a]
0,17	0,125	0,77/0,13	0,73/0,14	0,64/0,16
0,35	0,178	0,55/0,18	0,53/0,19	0,48/0,21
0,50	0,210	0,47/0,21	0,45/0,22	0,41/0,24
0,67	0,241	- -	0,40/0,25	0,37/0,27
[a] Данные значения распространяются на случаи, когда вертикальный шов не заделан раствором (т.е., ряды пустот в вертикальном шве не прерываются).				

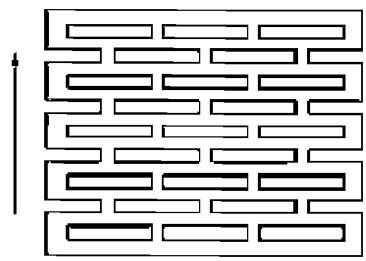


Рисунок А.28 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 3/1,2
(доля поперечных перемычек от 11% до 18%;пустот 40,9%);
номинальные размеры: l = 380 мм, w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 221 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.29 - Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 3/0,8

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80[a]
0,17	0,125	0,78/0,13	0,73/0,14	0,64/0,16
0,35	0,167	0,57/0,18	0,54/0,19	0,49/0,20
0,50	0,199	0,49/0,20	0,47/0,21	0,43/0,23
[a] Данные значения распространяются на случаи, когда вертикальный шов не заделан раствором (т.е., ряды пустот в вертикальном шве не прерываются).				

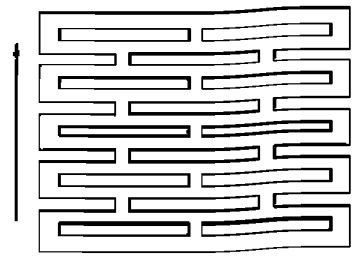


Рисунок А.29 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. \Геометрическое соотношение 3/0,8
(доля поперечных перемычек от 7% до 14%; пустот 42,7%);
номинальные размеры: l = 380 мм, w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 221 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.30 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 3,7/0,8

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80[a]
0,17	0,125	0,79/0,13	0,74/0,14	0,64/0,16
0,35	0,167	0,57/0,18	0,55/0,18	0,49/0,20
0,50	0,199	0,49/0,20	0,47/0,21	0,43/0,23

[a]Данные значения распространяются на случаи, когда вертикальный шов не заделан раствором (т.е., ряды пустот в вертикальном шве не прерываются).

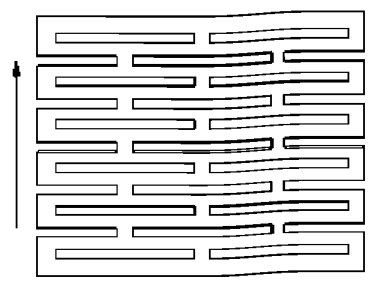


Рисунок А.30 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона.
Геометрическое соотношение 3,7/0,8
(доля поперечных перемычек от 7% до 14%; пустот 35,9%);
номинальные размеры: l = 380 мм, w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 221 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.31 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 0,6/*x*

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	*R*, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0, каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80
0,10	0,151	0,75/0,13	0,71/0,14	0,65/0,15
0,17	0,231	0,51/0,20	0,49/0,20	0,45/0,22
0,25	0,309	0,38/0,26	0,37/0,27	0,34/0,29
0,40	0,408	0,28/0,36	0,27/0,37	0,29/0,40
0,55	0,523	0,23/0,43	0,22/0,45	0,21/0,48
0,75	0,631	- -	- -	0,17/0,59
1,00	0,746	- -	- -	0,14/0,71
1,25	0,847	- -	- -	0,12/0,83
1,50	0,940	- -	- -	0,11/0,91

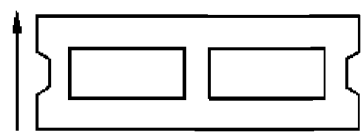


Рисунок А.31 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона.
Геометрическое соотношение 0,6/x
(доля поперечных перемычек 20,2%; пустот 30%);
номинальные размеры: l = 495 мм, w = 175 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.32 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 0,8/х

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80
0,10	0,215	0,74/0,14	0,68/0,15	0,59/0,17
0,17	0,314	0,52/0,19	0,48/0,21	0,42/0,24
0,25	0,410	0,40/0,25	0,38/0,26	0,34/0,29
0,40	0,562	0,29/0,34	0,28/0,36	0,25/0,40
0,55	0,698	0,23/0,43	0,22/0,45	0,20/0,50
0,75	0,865	- -	- -	0,16/0,63
1,00	1,062	- -	- -	0,13/0,77
1,25	1,252	- -	- -	0,11/0,91
1,50	1,437	- -	- -	0,10/1,00

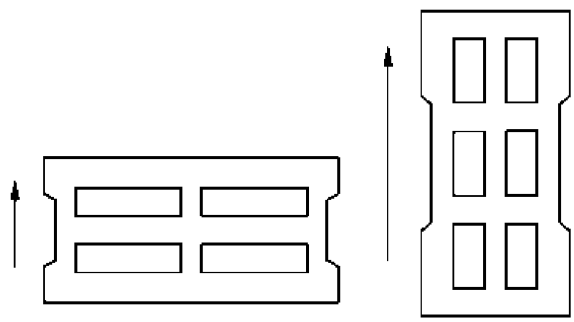


Рисунок А.32 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 0,8/х (доля поперечных перемычек от 21,2% до 40,8%;пустот от 30,8% до 31,4%); номинальные размеры: l = 495 мм, w = 240 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.33 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 1,0/х

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80
0,10	0,080	0,77/0,13	0,72/0,14	0,63/0,16
0,17	0,117	0,54/0,19	0,51/0,20	0,46/0,22
0,25	0,153	0,42/0,24	0,40/0,25	0,36/0,28
0,40	0,207	0,31/0,32	0,30/0,33	0,28/0,36
0,55	0,252	0,26/0,38	0,25/0,40	0,23/0,43
0,75	0,305	- -	- -	0,19/0,53
1,00	0,364	- -	- -	0,16/0,63
1,25	0,418	- -	- -	0,14/0,71
1,50	0,479	-	-	0,12/0,83

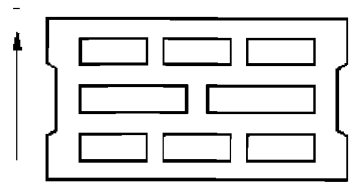


Рисунок А.33 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 1,0/х
(доля поперечных перемычек 25,9%; пустот 35,4%);
номинальные размеры: l = 495 мм, w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.34 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 1,3/х

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0, каменнойкладки, Вт/(м·°С)		
		с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80
0,10	0,086	0,83/0,12	0,77/0,13	0,67/0,15
0,17	0,122	0,59/0,17	0,56/0,18	0,49/0,20
0,25	0,155	0,47/0,21	0,44/0,23	0,40/0,25
0,40	0,205	0,35/0,29	0,34/0,29	0,31/0,32
0,55	0,246	0,29/0,34	0,28/0,36	0,26/0,38
0,75	0,294	-	-	0,21/0,48
1,00	0,349	-	-	0,18/0,56
1,25	0,397	-	-	0,16/0,63
1,50	0,445	-	-	0,14/0,71

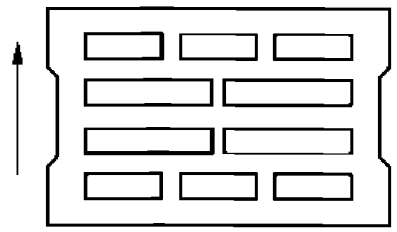


Рисунок А.34 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 1,3/х
(доля поперечных перемычек от 21,2% до 48%; пустот 35,5%);
номинальные размеры: l = 495 мм, w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.35 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 1,7/х

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С) с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80
0,10	0,062	1,01/0,10	0,92/0,11	0,78/0,13
0,17	0,092	0,69/0,14	0,64/0,16	0,55/0,18
0,25	0,120	0,52/0,19	0,49/0,20	0,43/0,23
0,40	0,160	0,37/0,27	0,36/0,28	0,32/0,31
0,55	0,195	0,30/0,33	0,29/0,34	0,26/0,38

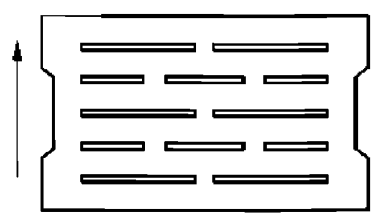


Рисунок А.35 - Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 1,7/х
(доля поперечных перемычек 20,6%; пустот 11,8%);
номинальные размеры: l = 495 мм, w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

Таблица А.36 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона. Геометрическое соотношение 3,0/х

λ_0 материала, Вт/(м·°С)	λ_0 изделия для каменной кладки, Вт/(м·°С)	R, (м^2·°С)/Вт на 100 мм толщины		
		λ_0 каменной кладки, Вт/(м·°С) с раствором теплопроводностью, Вт/(м·°С)		
		0,16	0,32	0,80
0,10	0,091	1,06/0,09	0,96/0,10	0,79/0,13
0,17	0,133	0,75/0,13	0,70/0,14	0,60/0,17
0,25	0,171	0,59/0,17	0,56/0,18	0,49/0,20
0,40	0,234	0,44/0,23	0,42/0,24	0,38/0,26

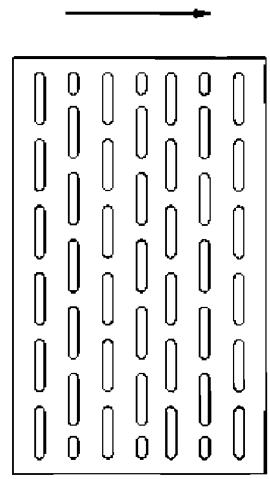
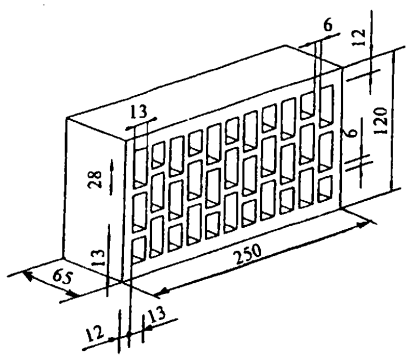


Рисунок А.36 – Изделия для каменной кладки из легкого бетона.
Геометрическое соотношение 3,0/х
(доля поперечных перемычек 24,2%; пустот 23,1%);
номинальные размеры: l = 495 мм, w = 300 мм, $h_{\text{изделия}}$ = 238 мм, $h_{\text{растворного шва}}$ = 12 мм

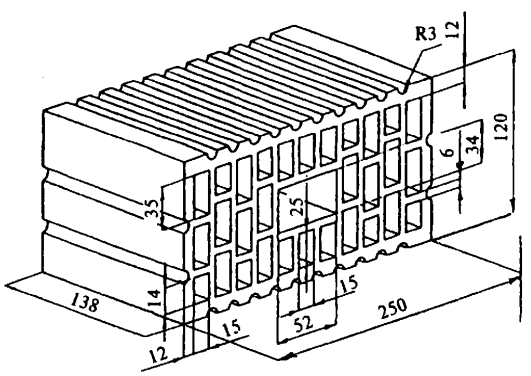
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Справочные значения эквивалентной теплопроводности керамических пустотелых стеновых изделий при равновесной влажности



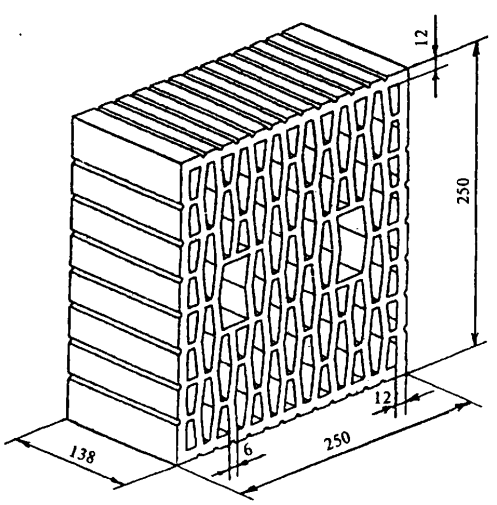
Кирпич керамический пустотелый одинарный

Размер, мм	250×120×65
Средняя плотность, кг/м^3	1200
Масса, кг	2,3
Пустотность, %	42
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	$\lambda = 0,42$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0,14$



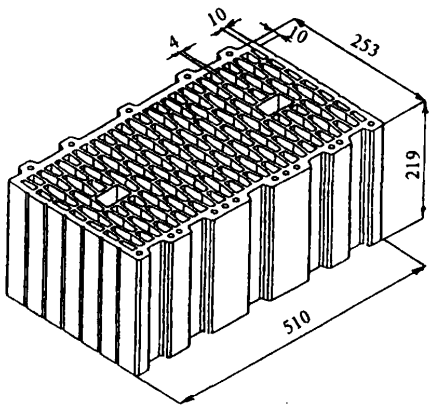
Камень керамический пустотелый поризованный 2NF

Размер, мм	250×120×138
Средняя плотность, кг/м^3	1000
Масса, кг	4,3
Пустотность, %	51
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	$\lambda = 0,22$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0,14$



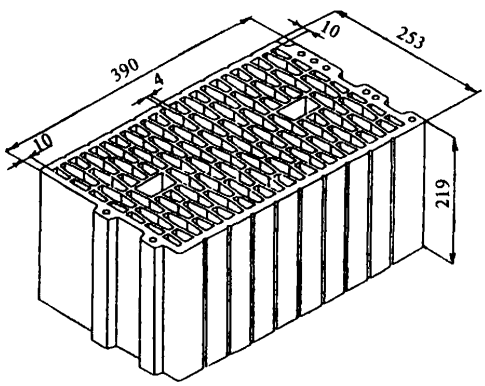
Камень керамический пустотелый поризованный 4,5NF

Размер, мм	250×250×138
Средняя плотность, кг/м^3	780
Масса, кг	6,9
Пустотность, %	54
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	$\lambda = 0,21$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0,14$



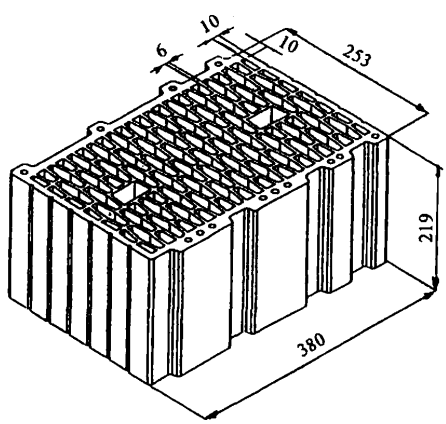
Камень керамический пустотелый крупноформатный поризованный 15NF

Размер, мм	510×253×219
Средняя плотность, кг/м^3	800
Масса, кг	23
Пустотность, %	54
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	$\lambda = 0,18$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0,12$



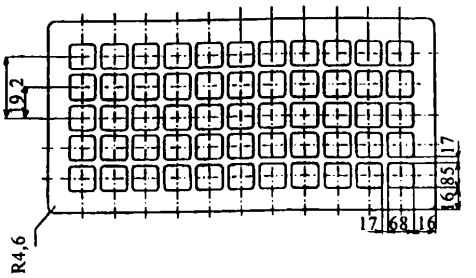
Камень керамический пустотелый крупноформатный поризованный 11,3NF

Размер, мм	390×253×219
Средняя плотность, кг/м^3	800
Масса, кг	17,7
Пустотность, %	52
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	$\lambda = 0,18$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0,12$



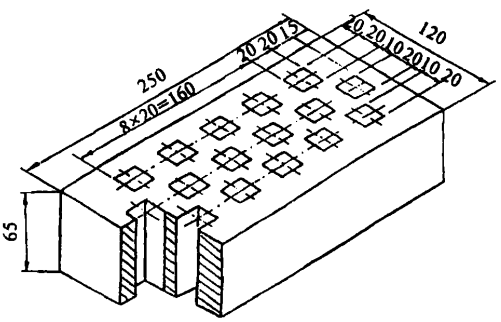
Камень керамический пустотелый крупноформатный поризованный 10,8NF

Размер, мм	380×253×219
Средняя плотность, кг/м^3	800
Масса, кг	17,7
Пустотность, %	52
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	$\lambda = 0,18$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0,12$



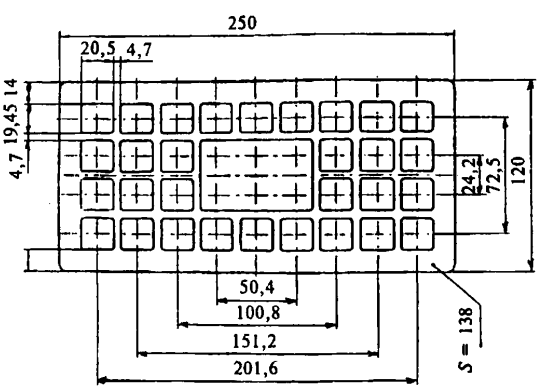
Кирпич керамический пустотелый одинарный лицевой красный и двухслойный (белый, цветной) 1NF

Размер, мм	250×120×65
Средняя плотность, кг/м^3	1150
Масса, кг	2,3
Пустотность, %	45
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	$\lambda = 0{,}34$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0{,}14$



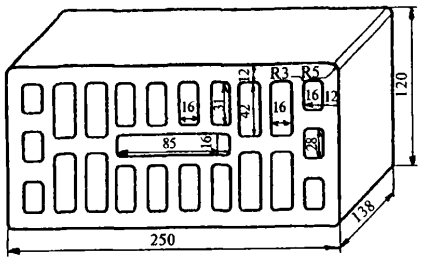
Кирпич керамический пустотелый одинарный 1NF

Размер, мм	250×120×65
Средняя плотность, кг/м^3	1700
Масса, кг	3,3
Пустотность, %	22
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С	$\lambda = 0{,}78$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0{,}10$



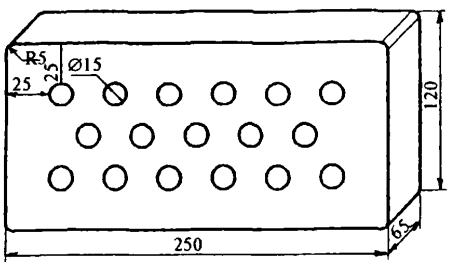
Кирпич керамический пустотелый одинарный 1NF

Размер, мм	250×120×65
Средняя плотность, кг/м^3	1400
Масса, кг	2,7
Пустотность, %	35
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	$\lambda = 0{,}41$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0{,}14$



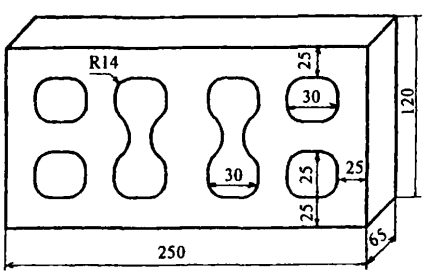
Камень керамический пустотелый поризованный 2NF

Размер, мм	250×120×138
Средняя плотность, кг/м^3	950
Масса, кг	4,0
Пустотность, %	45
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	$\lambda = 0{,}40$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0{,}14$



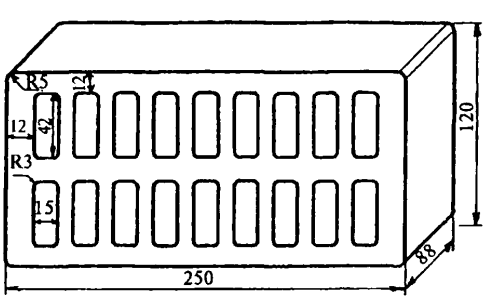
Кирпич керамический пустотелый одинарный 1NF

Размер, мм	250×120×65
Средняя плотность, кг/м^3	1650
Масса, кг	3,2
Пустотность, %	10
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	$\lambda = 0{,}73$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0{,}11$



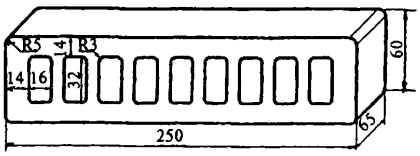
Кирпич керамический пустотелый одинарный лицевой 1NF

Размер, мм	250×120×65
Средняя плотность, кг/м^3	1150
Масса, кг	2,2
Пустотность, %	40
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	$\lambda = 0{,}53$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0{,}14$



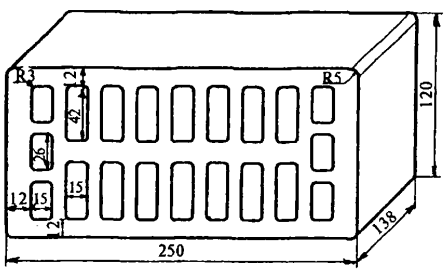
Кирпич керамический пустотелый утолщенный лицевой 1,4NF

Размер, мм	250×120×88
Средняя плотность, кг/м^3	1150
Масса, кг	3,0
Пустотность, %	40
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	$\lambda = 0{,}52$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0{,}14$



Кирпич керамический пустотелый лицевой 0,5NF

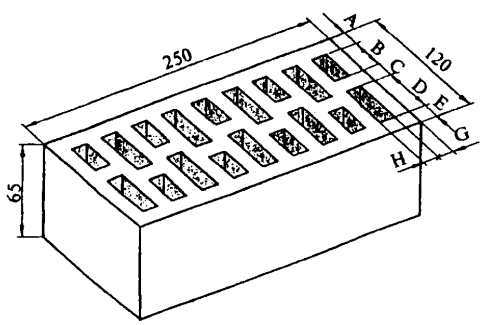
Размер, мм	250×60×65
Средняя плотность, кг/м^3	1350
Масса, кг	1,3
Пустотность, %	30
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	$\lambda = 0,53$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0,13$



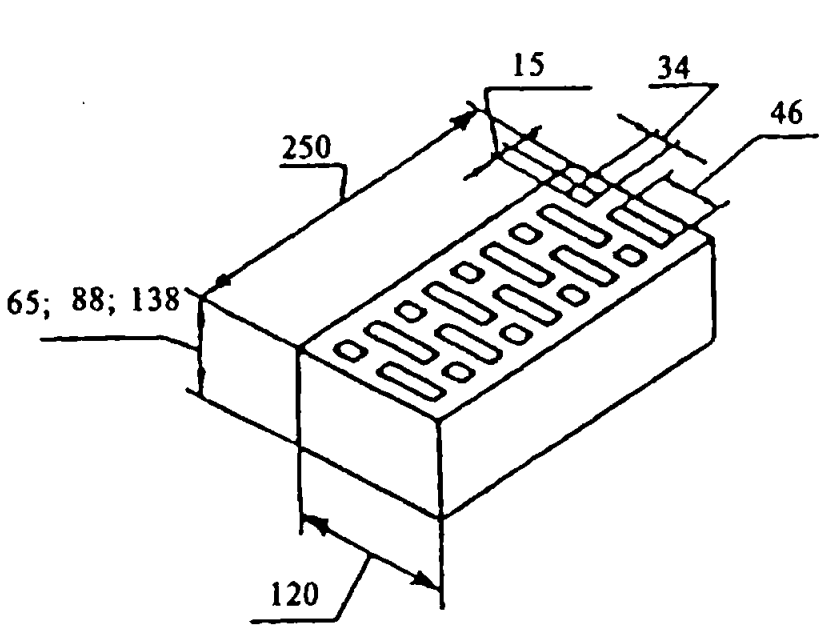
Камень керамический пустотелый 2NF

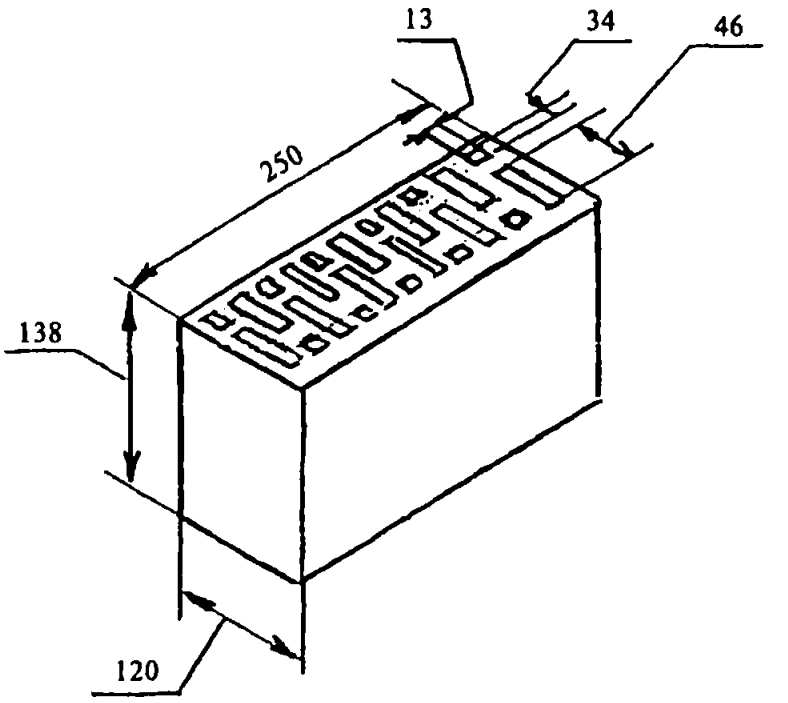
Размер, мм	250×120×138
Средняя плотность, кг/м^3	1200
Масса, кг	4,9
Пустотность, %	40
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	$\lambda = 0,55$
Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)	$\mu = 0,14$

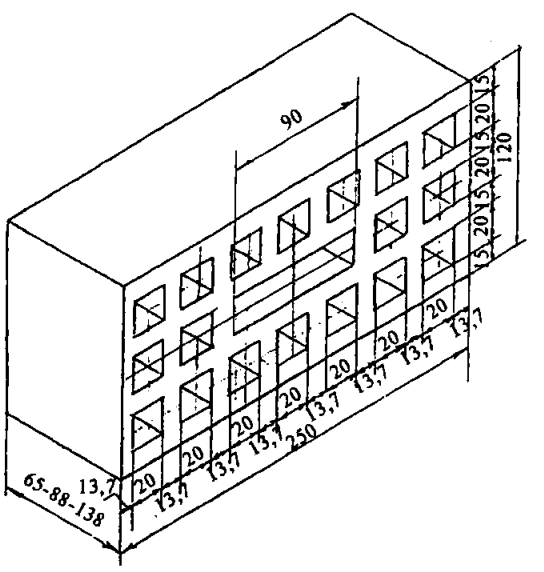
Номинальные размеры пустотелых керамических кирпичей и камней



Пустотность кирпича, %	Размеры, мм						
	A	B	C	Д	E	H	G
27	15	26,0	15,0	49,0	15,0	12,0	14,2
30	14	27,5	14,0	50,5	1,0	13,0	13,3
40	12,0	32,5	8,0	55,0	12,0	15,0	12,0


15
34
46
250
65; 88; 138
120


13
34
46
250
138
120


90
120
65-88-138
250

Библиография

1. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий/ 5-е изд. Пересмотр. – М.:АВОК-ПРЕСС, 2006.

2. Ильинский В.М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий) М. Высшая школа, 1974/

3. Hartwig M. Kunzel Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. Fraunhofer Institute of Building Physics. Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart 1995/

4. EN1745 Masonry and masonry products – Methods for determining thermal properties. CEN TC 125. 2009/

gost.e-ecolog.ru