

В.И. ЛЕДЕНЕВ, И.В. МАТВЕЕВА

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ЭКСПЛУАТАЦИИ НАРУЖНЫХ
КИРПИЧНЫХ СТЕН
ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ**



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»

В.И. Леденев, И.В. Матвеева

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ЭКСПЛУАТАЦИИ НАРУЖНЫХ
КИРПИЧНЫХ СТЕН
ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ**

Утверждено Ученым советом университета
в качестве учебного пособия
для студентов специальности 270105
«Городское строительство и хозяйство»



Тамбов
Издательство ТГТУ
2005

ББК Н711-09я73
УДК 624.059.7
Л39

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
В.П. Ярцев

Генеральный директор ОАО ПИ Тамбовгражданпроект
А.А. Воронков

Леденев, В.И.

ЛЗ9 Физико-технические основы эксплуатации наружных кирпичных стен гражданских зданий : учеб. пособие / В.И. Леденев, И.В. Матвеева. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2005. 160 с.

Изложены физико-технические основы эксплуатации кирпичных стен гражданских зданий. Рассмотрены процессы тепло-, влаго- и воздухопереноса в кирпичных стенах и их влияние на эксплуатационные качества стен, показаны меры, ограничивающие негативные воздействия температур, влаги и воздуха на кирпичные стены. Даны примеры оценки физико-технических параметров эксплуатируемых кирпичных стен зданий.

Пособие предназначено для студентов специальности 270105 «Городское строительство и хозяйство» всех форм обучения, изучающих курсы по технической эксплуатации и ремонту зданий. Оно также может быть полезным инженерно-техническим работникам, занимающимся эксплуатацией, ремонтом и реконструкцией зданий.

ББК Н711-09я73
УДК 624.059.7

ISBN 5-8265-0399-8

© Тамбовский государственный
технический университет
(ТГТУ), 2005
© Леденев В.И., Матвеева И.В.,
2005

Учебное издание

Леденев Владимир Иванович,
Матвеева Ирина Владимировна

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ЭКСПЛУАТАЦИИ НАРУЖНЫХ
КИРПИЧНЫХ СТЕН
ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Учебное пособие

Редактор З.Г. Чернова
Компьютерное макетирование Е.В. Кораблевой

Подписано в печать 17.06.2005.

Формат 60 × 84 / 16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура Times New Roman. Объем: 9,3 усл. печ. л.; 9,5 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз. С. 437^М

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета,
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И РАЗМЕРНОСТИ ОСНОВНЫХ ВЕЛИЧИН

q – плотность теплового потока (тепловой поток на единицу площади), Вт/м ² ;	R_{ext} – сопротивление теплоотдаче, м ² ·°C/Вт;
T, t – температура, К (°C);	R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции, м ² ·°C/Вт;
τ – температура поверхности, °C;	R – термическое сопротивление слоя
α (α_i, α_e) – коэффициент теплообмена (тепловосприятости или теплоотдачи), Вт/(м ² ·°C);	ограждающей конструкции, м ² ·°C/Вт;
C – коэффициент излучения поверхности, Вт/м ² ·К ⁴ ;	R_k^r – приведенное термическое сопротивление конструкции, м ² ·°C/Вт;
p – пористость материала, %;	R_0^r – приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м ² ·°C/Вт;
ρ_0 – объемная плотность материала, кг/м ³ ;	q_{cal} – расчетная величина теплового потока, Вт/м ² ;
ρ – плотность материала без наличия пор, кг/м ³ ;	τ_{siaV}, τ_{seaV} – средние температуры внутренней и наружной поверхностей ограждения, °C;
V – объем, м ³ ;	n – коэффициент, характеризующий положение наружной поверхности стены;
δ – толщина конструкции или ее отдельного слоя, м;	R_{req} – нормативное сопротивление теплопередаче ограждения, м ² ·°C/Вт;
m – масса материала, кг;	D_d – градусо-сутки отопительного периода, °C·сут.;
w – влажность материала по массе, %;	t_{ht} – средняя температура отопительного периода, °C;
w_V – влажность материала по объему, %;	z_{ht} – продолжительность отопительного периода, сут.;
λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·°C);	q_h^{des} – удельный расход теп-
λ_0 – коэффициент теплопроводности материала в сухом состоянии, Вт/(м·°C);	

c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·°С);	ловой энергии на отопление здания, кДж/(м ² ·°С·сут) или кДж/(м ³ ·°С·сут.);
c_0 – удельная теплоемкость материала в сухом состоянии, Дж/(кг·°С);	q_h^{red} – нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление здания, кДж/(м ² ·°С·сут.) или кДж/(м ³ ·°С·сут.);
c_{0V} – объемная теплоемкость материала, Дж/(м ³ ·°С);	Δt_n – нормируемый температурный перепад температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждения, °С;
R_0 – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м ² ·°С/Вт;	R_{vp}^{red} – нормируемое сопротивление паропрооницанию, м ² ·ч·Па/мг;
R_{int} – сопротивление тепловосприятию, м ² ·°С/Вт;	G – воздухопроницаемость конструкции, кг/(м ² ·ч);
φ – относительная влажность воздуха, %;	i – коэффициент воздухопроницаемости материала или слоя ограждения, кг/(м ² ·ч·Па);
f – абсолютная влажность воздуха, г/м ³ ;	R_{inf} – сопротивление воздухопроницанию ограждения или его отдельного слоя, м ² ·ч·Па/кг;
e – действительная упругость водяного пара, Па;	R_{inf}^{red} – нормируемое сопротивление воздухопроницанию ограждения, м ² ·ч·Па/кг;
E – максимальная упругость водяного пара (парциальное давление насыщенного водяного пара), Па;	γ – удельный вес воздуха, Н/м ³ .
μ – коэффициент паропрооницаемости материала, мг/(м·ч·Па);	
z – время, ч;	
R_{vp} – сопротивление паропрооницанию конструкции, м ² ·ч·Па/мг;	
R_{vint}, R_{vext} – сопротивления влагообмену на внутренней и наружной поверхностях стены, м ² ·ч·Па/мг;	

<i>a</i> – воздушная среда;	<i>min</i> – минимальное значение;
<i>al</i> – воздушная прослойка;	<i>n</i> – нормативное значение;
<i>av</i> – средняя величина;	<i>o</i> – нормативное значение, обозначение градуса, показатель в сухом состоянии;
<i>cal</i> – рассчитанное значение;	
<i>con</i> – условная расчетная величина;	<i>r</i> – приведенное значение;
<i>d</i> – сутки, точка росы;	<i>red</i> – требуемое значение;
<i>des</i> – проектное значение;	<i>se</i> – наружная поверхность;
<i>e, ext</i> – наружная среда или ограждение;	<i>si</i> – внутренняя поверхность;
<i>h</i> – теплота;	<i>t</i> – температура;
<i>ht</i> – отопление;	<i>V</i> – объем;
<i>i, int</i> – внутренняя среда или ограждение;	<i>w</i> – показатель по влажном состоянии;
<i>i</i> – целочисленное перечисление;	<i>wp</i> – паропроницание;
<i>ins</i> – теплоизоляция;	τ – температура поверхности;
<i>inf</i> – инфильтрационная составляющая;	1, 2, 3, ... – порядковая нумерация символа;
<i>k</i> – конструкция;	A, B – наименование условий эксплуатации.
<i>max</i> – максимальное значение;	

ВВЕДЕНИЕ

Кирпич является одним из древнейших искусственно созданных человечеством материалов, повсеместно используемых в практике строительства. Как строительный материал кирпич нашел широкое применение и в России. Из него за многие сотни лет на территории России возведено огромное количество зданий, определяющих в настоящее время основной опорный фонд большинства городов страны и имеющих экономическую, историческую, культурную и архитектурную значимость. В этой связи сохранение и поддержание кирпичных зданий в надлежащем состоянии является важнейшей задачей эксплуатирующих их организаций.

Происходящие в стенах процессы тепло-, влаго- и воздухопереноса при определенных условиях могут существенно ухудшать эксплуатационные качества стен, снижать их прочностные характеристики и долговечность. Поэтому успешное решение задачи по сохранению кирпичных зданий во многом зависит от знания эксплуатационниками физических процессов переноса влаги, тепла и воздуха в конструкциях кирпичных стен.

В настоящем пособии рассмотрены физико-технические основы эксплуатации кирпичных стен гражданских зданий. С позиций обеспечения их надежной эксплуатации последовательно рассмотрены: конструктивные решения и материалы стен эксплуатируемых зданий; внешние и внутренние воздействия на стены; требования, определяющие эксплуатационные качества стен; процессы теплопереноса и теплозащитные качества стен; влажностный режим стен и меры по ограничению их увлажнения; воздушный режим стен и меры по ограничению их повышенной воздухопроницаемости; принципы восстановления теплозащитных качеств стен.

Излагаемый в пособии материал сопровождается простыми и наглядными примерами, отражающими процессы тепло-, влаго- и воздухопереноса в кирпичных стенах, а также примерами улучшения физико-технических качеств эксплуатируемых кирпичных зданий.

Пособие предназначено для студентов специальности «Городское строительство и хозяйство» всех форм обучения, в том числе для бакалавров и магистров. Оно может быть полезным инженерно-техническим работникам, занимающимся эксплуатацией кирпичных зданий, а также проектировщикам, разрабатывающим проекты капитального ремонта и реконструкции зданий с кирпичными стенами.

1 КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ КИРПИЧНЫХ СТЕН ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Многовековой опыт строительства в России зданий с кирпичными стенами и их эксплуатация в различных природно-климатических условиях страны способствовали появлению и накоплению в опорном фонде современных городов кирпичных зданий с различными конструктивными решениями наружных стен. Эксплуатируемые в настоящее время здания различаются между собой по конструктивным схемам и системам несущего остова, конструктивным решениям стен, примененным материалам и изделиям. Наличие такого разнообразия в основном связано с уровнем технического развития строительного производства в разные периоды возведения зданий. Своеобразие конструктивных решений, качество применяемых материалов и технология возведения оказывают существенное влияние на физические процессы переноса тепла, влаги и воздуха в конструкциях стен и, соответственно, на их долговечность и эксплуатационную надежность.

Ниже с этих позиций рассмотрены конструктивные решения и материалы эксплуатируемых в настоящее время кирпичных стен гражданских зданий.

1.1 Конструктивные схемы и системы кирпичных зданий

Стены являются основным элементом несущего остова здания и совместно с фундаментами и перекрытиями обеспечивают его жесткость и устойчивость. Жесткость и устойчивость эксплуатируемых кирпичных зданий определяется конструктивной схемой стен и конструктивной системой здания, обеспечивающей их взаимосвязь и совместную работу со всеми остальными элементами несущего остова.

По конструктивным схемам эксплуатируемые кирпичные здания делятся на схемы с продольными или поперечными несущими стенами и схемы с перекрестным расположением продольных и поперечных несущих стен. В кирпичных зданиях имеются также схемы с внутренними колоннами, заменяющими внутренние несущие стены. Кроме того, в кирпичных зданиях, и особенно, старой постройки, встречаются комбинированные конструктивные схемы, например, схемы с продольными и поперечными стенами, с продольными и поперечными стенами и внутренними колоннами и т.п. Основные виды конструктивных схем эксплуатируемых кирпичных зданий приведены на рис. 1.1.

В зданиях с продольными несущими стенами наружные стены выполняют две функции: несущую и ограждающую. При обеспечении несущей функции кирпичные стены должны обладать достаточной несущей способностью для восприятия нагрузок от собственного веса и веса, передающегося на них с перекрытий и крыши.

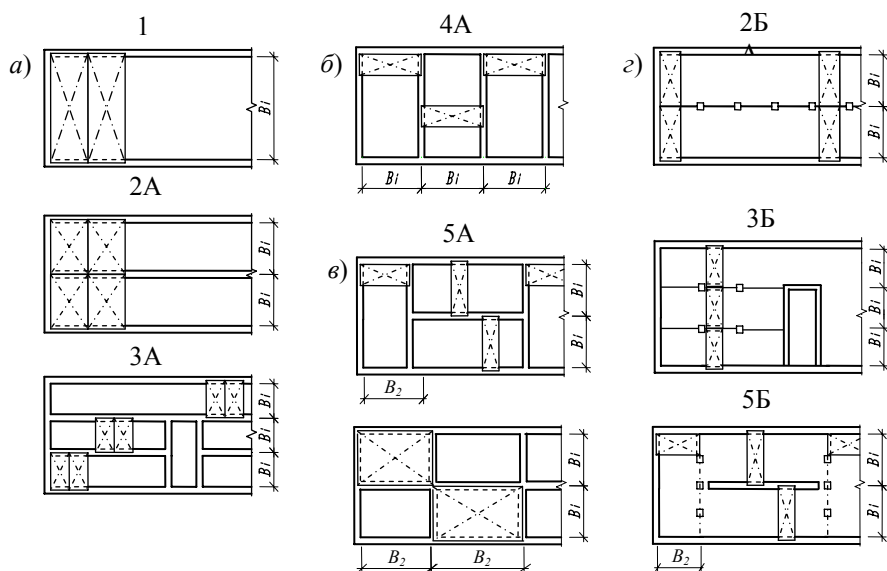


Рис. 1.1 Конструктивно-планировочные схемы кирпичных зданий с продольными (а), поперечными (б) и перекрестными (в) несущими стенами и с неполным каркасом (з):

1 – однопролетные; 2 – двухпролетные; 3 – трехпролетные; 4 – многопролетные;
5 – смешанные; А – с внутренними несущими стенами; Б – с колоннами, заменяющими внутренние стены

Следовательно, наружные несущие стены должны выполняться из прочных материалов, но обладающих в этой связи повышенной теплопроводностью. Для обеспечения ограждающей функции, и в частности, по теплозащите, наружные несущие стены должны выполняться из теплоизолирующих материалов, имеющих меньшую прочность по сравнению с материалами, используемыми для внутренних несущих конструкций. Необходимость использования в стенах материалов, обеспечивающих одновременно требования прочности и теплозащиты, привела к ограничению этажности кирпичных зданий с продольными несущими стенами в основном пятью этажами. При большей высоте здания толщина наружных стен определялась уже не требованиями норм теплозащиты, действующими в стране до 1995 г., а требованиями прочности.

Кирпичные здания высотой девять этажей и более, как правило, возводились с поперечными несущими стенами. Схемы с перекрестным расположением продольных и поперечных несущих стен использовались при строительстве кирпичных зданий повышенной этажности. Наружные стены в этих зданиях, как правило, являются самонесущими и в основном выполняют ограждающие функции. По этой причине материал и толщина внутренних стен определялись необходимой прочностью, а наружных стен – их теплозащитными качествами при одновременном соблюдении требований прочности.

В зданиях с внутренними колоннами наружные кирпичные стены, как правило, выполнялись несущими. По этой причине здания с неполным каркасом возводились в основном высотой до пяти этажей. Все кирпичные здания вне зависимости от принятых конструктивных схем имеют стоечно-балочные конструктивные системы: коробчато-стеновую при сборных плитных, сборно-монолитных и монолитных железобетонных перекрытиях в современных зданиях и балочно-стеновую при балочных перекрытиях с деревянными, металлическими или железобетонными балками и с деревянным, кирпичным или бетонным межбалочным заполнением. Балочные перекрытия в основном применялись в зданиях постройки ранее 50-х гг. XX в.

Жесткость и устойчивость в кирпичных зданиях с коробчато-стеновой конструктивной системой обеспечивается жестким соединением продольных и поперечных стен и жесткими дисками перекрытий.

В зданиях с балочно-стеновой системой жесткость и устойчивость в большей мере обеспечивается жестким соединением продольных и поперечных стен, а также за счет раскрепления стен балками перекрытий.

В зданиях, возводимых до 20-х гг. XX в., для повышения жесткости и устойчивости в стенах устраивались металлические связи. Связи устанавливались выше уровня оконных перемычек и располагались по всем капитальным продольным и поперечным стенам. Количество связевых поясов зависело от наличия в здании арочных перекрытий и проемов, приводящих к появлению распорных сил, а также этажности здания. При обследовании кирпичных зданий, построенных в Тамбове до 20-х гг. XX в., нами было выявлено, что практически во всех одноэтажных зданиях пояса устанавливались над оконными

проемами выше уровня арочных или клинчатых перемычек. В двух- и трехэтажных зданиях связи располагались над перемычками второго и третьего этажей ниже или выше уровней междуэтажных перекрытий. Связи выполнялись из ковanej полосой стали и реже из стали квадратного сечения. Площадь поперечного сечения тяжей составляла 6...9 см². По длине элементы связей соединялись штырями, устанавливаемыми в петли элементов связей. Петли выполнялись с помощью «кузнечной» сварки.

Как показали обследования, связи за счет надежного сцепления металла с материалами кладки в значительной мере обеспечивают монолитность кладки, жесткость и устойчивость стен. Особенно это важно для зданий, построенных на слабых грунтах, и зданий с деревянными балочными перекрытиями. Об этом, в частности, свидетельствуют факты появления в стенах трещин после случайных разрывов связей во время эксплуатации и при разрезании их во время ремонтов зданий.

1.2 Материалы кирпичных стен

Материалами кирпичных стен являются кирпичи различных способов производства и кладочные строительные растворы.

Кирпичи относятся к искусственным строительным материалам. По виду производства кирпичи бывают обжигового и автоклавного изготовления. К обжиговым относятся глиняные кирпичи. Они бывают сплошного сечения и с пустотами. К автоклавным относятся силикатные и шлаковые кирпичи.

Все кирпичи, использованные в кладке существующих зданий, условно можно разделить на три вида:

- керамические (глиняные) полнотелые кирпичи;
- силикатные кирпичи;
- облегченные (легковесные) кирпичи.

К легковесным кирпичам относятся сорта кирпичей, имеющих объемную плотность ≤ 1500 кг/м³. По этому признаку к легковесным кирпичам относятся пористые кирпичи, трепельные, глиняно-трепельные, пустотелые, дырчатые, шлаковые и др.

Наибольшее распространение в практике имеют здания с кирпичными стенами, выполненными из керамических и силикатных кирпичей.

Керамические кирпичи в настоящее время изготавливают способами пластического формования или полусухого прессования из глинистых и кремнеземистых пород, обожженных в печах. Для кладки наружных стен в силу особенностей их эксплуатации под действием различных природных факторов используются кирпичи пластического формования. Кирпичи полусухого формования используются для устройства внутренних конструкций.

Кирпичи, изготовленные до начала XX в., по качеству обжига и, соответственно, по эксплуатационным характеристикам можно условно разделить на три сорта [2]: железняк, красный, алый.

Наиболее обожженный кирпич, называемый «железняком», имеет стекловидную поверхность. Он обладает повышенной прочностью и морозостойкостью. По этим причинам его использовали для наиболее нагруженных конструкций, работающих в условиях повышенной влажности, то есть для фундаментов, стен подвалов и цокольных участков наружных стен. При обследовании церковных построек Тамбовской области нами также установлено, что наиболее нагруженные участки стен, столбы и колонны церквей во многих случаях выполнялись из «железняка».

Хорошо и равномерно обожженный кирпич, называемый «красным», имеет, как правило, ярко-красный цвет, хорошую равномерную плотность по объему, правильные грани и сравнительно высокую прочность. При простукивании такой кирпич издает звонкий звук. «Красный» кирпич использовался для строительства наружных кирпичных стен. В частности, в Тамбове все значимые по тому времени гражданские и церковные здания возведены с использованием «красного» кирпича.

Третий сорт кирпича назывался «алым». Кирпичи этого сорта обжигались при более низких температурах. Об этом свидетельствуют их бледные цвета. При простукивании «алые» кирпичи издают глухой звук. Они имеют пониженную прочность и морозостойкость. При строительстве «алые» кирпичи использовались в основном для забутовки в наружных стенах и для кладки внутренних малонагруженных стен и перегородок.

При обследовании кирпичных зданий, построенных в XIX в. в сельских районах Тамбовской области (приходские церкви, дворянские усадьбы и т.д.), установлено, что нередко в наружных стенах в качестве лицевых кирпичей использовались одновременно все три сорта. При такой кладке на наружных стенах в настоящее время имеются повсеместные повреждения «алых» кирпичей на глубину до 5...10 см. Наибольшие повреждения «алых» кирпичей отмечены в кладке, сложенной на цементно-песчаном

растворе. Повреждения «красных» кирпичей менее значительны и мало зависят от вида раствора. Кладка из «железняк» практически не имеет повреждений.

Глиняные полнотелые кирпичи изготавливаются одинарными и утолщенными с размерами в плане 250 × 120 мм и, соответственно, с толщинами 65 и 88 мм.

В зданиях постройки начала XX в. и ранее применялись кирпичи размерами 266 × 133 × 67 мм, что в русской системе мер составляло 6 × 3 × 1,5 вершка. Например, в кирпичных зданиях, возведенных в середине XIX в. в дворянской усадьбе графа Воронцова-Дашкова на территории села Новотомниково Тамбовской области, кладка выполнена из кирпичей местного кирпичного завода, имеющих размеры 266 × 133 × 67 мм. Все кирпичи по виду обжига и качеству изготовления соответствуют марке «красный».

Кроме указанных кирпичей в стенах, возведенных в XIX в. и начале XX в., встречаются кирпичи и других размеров. Например, в стенах обследованных нами кирпичных зданий Тамбовской области, построенных в этот период, фактические размеры кирпичей составляли по длине 24,5... 27,0 см, по ширине – 12,0... 13,4 см, по высоте – 6,0... 6,7 см.

Глиняные пустотелые и пористые кирпичи применяются в строительстве относительно непродолжительное время. Они используются для улучшения теплоизоляционных свойств кладки, снижения массы стен и уменьшения расхода материалов. В связи с более низкой по сравнению с полнотелыми кирпичами прочностью, а в ряде случаев и с пониженной морозостойкостью область применения пустотелых и пористых кирпичей была достаточно ограниченной.

Силикатные кирпичи изготавливаются способами прессования увлажненной смеси из кремнеземистых материалов и извести или из других известесодержащих вяжущих с последующим твердением ее под действием насыщенного пара в автоклаве. Силикатные кирпичи выпускаются одинарными толщиной 65 мм и утолщенными толщиной 88 мм, полнотелыми и пустотелыми.

Возведение стен из силикатных кирпичей в России началось в XX в. Начало наиболее массового строительства гражданских зданий с силикатными стенами в России относится к 50-м гг. XX столетия. Поэтому накопленный опыт эксплуатации таких зданий ограничивается в основном 50 – 60 гг.

Виды и характеристики современных кирпичей приведены в табл. 1.1.

1.1 Виды и характеристики кирпичей

№ п/п	Вид кирпичей	Объемная плотность γ_0 , кг/м ³	Марки кирпичей по прочности
1	Глиняный обыкновенный пластического прессования	1700...1900	50...300
2	Глиняный обыкновенный полусухого формования	1800...2000	75...200
3	Силикатный	1800...2000	75...200
4	Глиняный пустотелый (дырчатый, пористо-дырчатый) пластического прессования	1300...1450	50...150
5	Глиняный пустотелый полусухого прессования	<1500	75...150
6	Легковесный (глиняный пористый и трепельный)	700...1450	35...100
7	Шлаковый	1200...1800	25...75

Вторым важнейшим компонентом кирпичной кладки является раствор. Современный кладочный раствор представляет собой смесь вяжущего, мелкого заполнителя, воды и, в случае необходимости, специальных добавок. В кладке растворы после твердения выполняют задачу по связыванию в единое целое кирпичей и обеспечивают равномерную передачу усилий между рядами кладки. Кроме

того, растворы улучшают эксплуатационные качества стен, например, уменьшая продуваемость и влагопроницаемость кладки.

Кладочные растворы в эксплуатируемых зданиях различаются по видам вяжущего и заполнителей, плотности и прочности.

Прочность растворов во многом зависит от количества вяжущего и его активности.

Наиболее широко в качестве вяжущего в практике используются цементы (портландцемент и его разновидности) и извести (воздушная или гидравлическая). Растворы, изготовленные на их основе, называются, соответственно, цементными и известковыми. Часто также растворы приготавливаются сложными на нескольких вяжущих, например, известково-цементные растворы.

До начала XX в. в качестве кладочных растворов в кирпичных стенах использовались известковые растворы. Такие растворы имели низкие марки по прочности (от 4 до 20), но зато отличались удобоукладываемостью и хорошим сцеплением с кирпичами. Это обеспечивало хорошие эксплуатационные качества кладки по воздухо- и влагопроницаемости.

В более позднее время начали применяться цементно-песчаные растворы, а также сложные растворы – цементно-известковые, обладающие достаточно высокой прочностью и в то же время имеющие хорошие пластические свойства и удобоукладываемость. Например, в Тамбовской области первые здания с использованием цементных кладочных растворов были построены в 1910 – 1914 гг. Кладочные растворы в это время изготавливались на портландцементе с тяжелым заполнителем из речного песка. В зданиях этого периода встречаются также кладки, выполненные на известково-цементных растворах. Незначительное количество цемента в них вводилось для повышения прочности известкового раствора.

При строительстве в зимнее время в кладочные растворы вводились добавки, снижающие температуру замерзания. Наличие таких солевых добавок в значительной мере снижает эксплуатационные качества стен. В частности, они способствуют увеличению влажности стен за счет роста сорбционной влаги.

Эксплуатационные качества кирпичной кладки стен определяются различными свойствами материалов кладки. К таким свойствам относятся прочность, морозостойкость, водостойкость, плотность материалов, а также свойства, определяющие теплозащитные качества, воздухо- и водопроницаемость стен.

Прочность кирпичей является одной из основных характеристик кладки несущих конструкций стен. Она характеризуется марками. Марки кирпичей означают их временное сопротивление (предел прочности) сжатию и предел прочности при изгибе, определяемые при испытаниях. Испытания кирпичей кладки по прочности регламентированы соответствующими ГОСТами [3 – 6].

Для оценки прочности кирпичей эксплуатируемых зданий производится их отбор из кладки и испытание в соответствии с действующими методиками. При испытании кирпича на сжатие из стены отбираются целые кирпичи и распиливаются дисковой пилой. Затем половинки кирпича склеиваются раствором так, чтобы поверхности распила были направлены в противоположные стороны. Толщина слоя раствора не более 5 мм. Поверхности покрываются раствором толщиной 3 мм. Подготовленные образцы испытывают на прессе через три – четыре дня. Предел прочности при изгибе определяется путем испытаний на прессе целого кирпича, уложенного на две опоры, расположенные на расстоянии 200 мм, и нагруженного сосредоточенной силой в середине пролета.

Допускается определять прочность кирпичей эксплуатируемых зданий при сжатии на образцах-цилиндрах диаметром и высотой около 50 мм, высверленных из кладки электродрелью со специальной коронкой. Могут также использоваться неразрушающие методы определения прочности, например, ультразвуковой метод определения прочности при сжатии [7]. Ориентировочно марку кирпича можно определять по последствиям нанесения по нему ударов молотком (табл. 1.2).

1.2 Приближенная оценка прочности кирпича

Марка	Количество ударов	Вид разрушения
< 50	Один	Разбивается в щебень
50...100	Несколько ударов	Разрушается в мелкие куски
> 100	Скользящие удары	Материал искрит, откалываются мелкие ле-

Марки основных видов кирпичей, применяемых в современных зданиях, приведены в табл. 1.1.

Кирпичи, использованные в старых зданиях (до 20-х гг. XX столетия), имеют прочность, соответствующую маркам в основном в пределах 30...50. Лишь в редких случаях прочность достигает значений, соответствующих марке 75. Например, при испытаниях «красных» кирпичей, взятых из стены доходного дома купца Никонова, построенного в 1912 г. в г. Тамбове, из 25 образцов только два образца соответствовали марке 75, десять – марке 50, а остальные – маркам 35 – 40. Прочность кирпичей старой кладки заметно снижается при повышении влажности кладки.

Морозостойкость кирпичей в значительной мере определяет долговечность кладки. В увлажненной кладке вода замерзает и, увеличиваясь в объеме, стремится разорвать стенки пор. Морозостойкость кирпичей определяется марками F, обозначающими количество циклов замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии, выдерживаемых кирпичами без видимых разрушений и без снижения прочности согласно ГОСТа [8]. Кирпичи наружных стен современных зданий соответствуют маркам F25, 35, 50, 75, 100, 150, 200, 300. В старых зданиях кирпичи кладки соответствуют маркам F10, 15, 25. Очень редко в таких зданиях марка достигает F35. При обследовании установлено, что в зданиях с кладкой, имеющей морозостойкость, соответствующую маркам F10, 15, наблюдаются повреждения наружных слоев кладки на участках, подвергаемых периодическим увлажнениям.

Применение для наружных стен гражданских зданий кирпичей малой плотности уменьшает их прочность и снижает морозостойкость.

Морозостойкость кирпичей связана с их водопоглощением, которое зависит не только от пористости материала, но и от степени закрытости пор. Например, водопоглощение керамического кирпича за счет закрытости пор меньше водопоглощения силикатного кирпича, имеющего поры в виде открытых, выходящих наружу каналов.

Прочность кладочного раствора зависит от активности вяжущего, водоцементного отношения, длительности и условий твердения [9]. Прочность характеризуется маркой, устанавливаемой по пределу прочности на сжатие, которая определяется при испытании образцов, изготавливаемых в виде кубиков [10]. Для эксплуатируемых зданий кубики изготавливаются размерами 40×40 мм из отобранных из кладки и склеенных гипсовым раствором пластинок кладочного раствора.

Растворы кирпичной кладки имеют марки 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200. Наименьшую прочность имеют известковые растворы. В старых зданиях прочность известковых растворов соответствует маркам от 4 до 15. Увлажненные известковые растворы имеют пониженную прочность. Например, прочность известкового кладочного раствора в наружных стенах дома купца Никонова, построенного в 1912 г., на неувлажненных участках соответствовала маркам 10, 15. На увлажненных участках кладки раствор имел прочность, соответствующую маркам от 4 до 10.

Морозостойкость раствора определяется числом циклов попеременного замораживания и оттаивания до потери 15 % первоначальной прочности (или 5 % массы). По морозостойкости растворы подразделяют на марки Mrз 10...300. В стенах жилых зданий в основном использованы растворы с марками Mrз 4, 10, 25 и редко с маркой Mrз 50.

Характеристики материалов кладки, определяющие теплозащитные качества стен, рассмотрены в главе 2.

1.3 Конструктивные решения кирпичных стен

Конструктивное решение кирпичных стен во многом определяется типом их кладки. Развитие и совершенствование кладки стен происходило постоянно во все времена возведения кирпичных зданий. До начала XX в. это совершенствование основывалось на осмыслении имеющегося эмпирического опыта строительства кирпичных зданий. В последующие времена развитие и совершенствование в этой области связано с развитием (начиная с 30-х гг. XX в.) теории расчета и практики проектирования каменных и армокаменных конструкций.

В период до начала XX в. стены выполнялись со сплошной массивной кладкой толщиной от 69 см (2,5 кирпича) до 150 см (5,5 кирпича). Большая толщина стен определялась низкими прочностными характеристиками кирпичей и кладочных растворов, а также отсутствием надежной теории расчета каменных конструкций. В этой связи наибольшую толщину имели наиболее нагруженные стены церковных зданий. В частности, наружные стены сохранившихся в Тамбовской области храмов имеют толщины не менее чем в 3,0 кирпича. Стены гражданских кирпичных зданий, возведенных в Тамбове в этот

период, имеют толщину в пределах от 2,5 до 3,5 кирпичей. Например, толщина стен памятника архитектуры федерального значения «Гостиный двор», построенного в 30-х гг. XIX в. в г. Тамбове, составляет на первом этаже 3,5 кирпича, а на втором этаже 3,0 кирпича.

В гражданском строительстве этого периода использовалось несколько видов сплошной кладки [14]:

- *цепная* – ложковые и тычковые ряды в кладке чередуются, вертикальные швы всех ложковых рядов совпадают (рис. 1.2, а);
- *крестовая* – вертикальные швы в ложковых рядах выкладываются в перевязку (рис. 1.2, б);
- *голландская* – тычковые ряды чередуются со смешанными рядами; при этом в смешанном ряду ложковые и тычковые кирпичи идут через один (рис. 1.2, в);
- *готическая* – кладка в виде только смешанных рядов; при этом тычковые и ложковые кирпичи чередуются в каждом ряду (рис. 1.2, г);

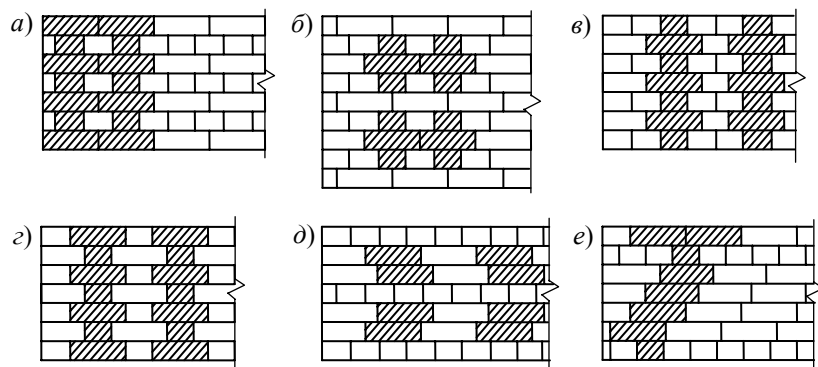


Рис. 1.2 Тип кирпичных кладок:

а – цепная; б – крестовая; в – голландская; г – готическая;
д – английская; е – многорядная

- *английская* – в кладке на каждые два ложковых ряда приходится один тычковый; при этом все ряды перевязаны в 1/4 кирпича (рис. 1.2, д);
- *многорядная* – в кладке тычковые ряды выполняются через четыре ложковых ряда; при этом все ряды перевязаны в 1/4 кирпича (рис. 1.2, е).

Из перечисленных кладок наибольшее распространение имели цепная и многорядная кладка. В провинциальных городах в основном применялась цепная система кладки. При обследовании зданий в г. Тамбове установлено, что 90 % стен сложено с цепной перевязкой, в остальных случаях использована многорядная кладка. На нескольких зданиях обнаружена кладка с крестовой перевязкой, а также готическая кладка.

Начиная с 30-х г. XX в. и по настоящее время в практике строительства применяются в основном две системы перевязки: цепная и многорядная (рис. 1.3).

При этом кладка с многорядной системой перевязки имеет более широкое распространение. Это связано с целым рядом прочностных, технологических и эксплуатационных преимуществ многорядной системы, а именно [1]:

– так как ложковые ряды придают кладке прочность в продольном направлении, а тычковые в поперечном, многорядная перевязка создает большую сопротивляемость в продольном направлении, что

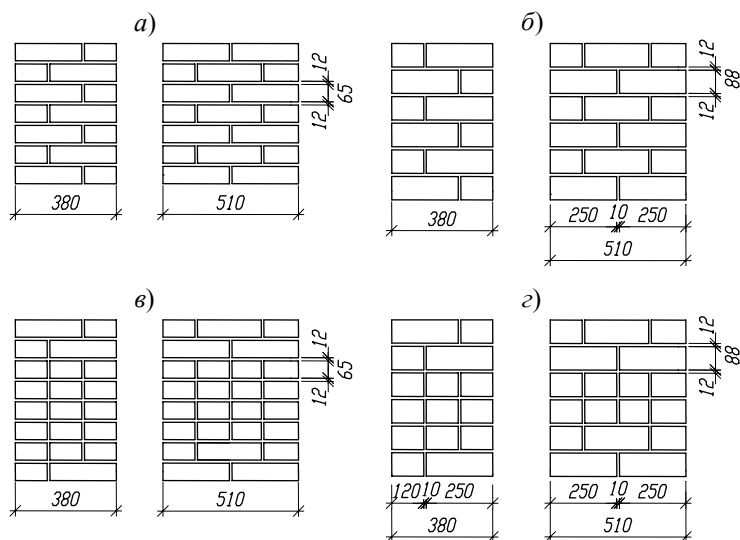


Рис. 1.3 Системы перевязок кладки из кирпича:

а – цепная перевязка кладки из кирпича толщиной 65 мм; *б* – то же, из кирпича толщиной 88 мм; *в* – многорядная перевязка кладки из кирпича толщиной 65 мм; *г* – то же, из кирпича 88 мм

очень существенно для стен, имеющих большую протяженность;

– вертикальные швы многорядной кладки обладают большим сопротивлением образованию трещин, так как они перекрываются на 1/2 кирпича, тогда как при цепной перевязке на 1/4 кирпича (см. рис. 1.3);

– многорядная система улучшает сопротивляемость кладки растяжению и срезу, поскольку в этом случае раствор горизонтального шва перекрыт на 1/2 кирпича, а не на 1/4 кирпича как в цепной кладке;

– кладка с многорядной системой более технологична, производительна и менее трудоемка (на 15...20 %), требует менее квалифицированных специалистов, так как имеет по сравнению с цепной системой больший объем забутовки;

– многорядная система перевязки снижает теплопроводность кладки по сравнению с цепной перевязкой, однако следует отметить, что воздухо-проницаемость ее несколько выше – в кладке возможно образование участков с продольной фильтрацией воздуха.

Наряду с кирпичными стенами из сплошной массивной кладки в практике эксплуатации встречаются здания со стенами из облегченной кирпичной кладки. Впервые строительство стен с такой кладкой было предложено русским инженером А.И. Герардом в 1829 г. Он предлагал устраивать стены из двух наружных стенок толщиной в 1/2 кирпича каждая, соединяемых между собой металлическими связями, а пространство между ними заполнять шлаком. Этот принцип используется и до настоящего времени.

Достаточно широкое распространение получила облегченная кладка (рис. 1.4 и 1.5) в практике

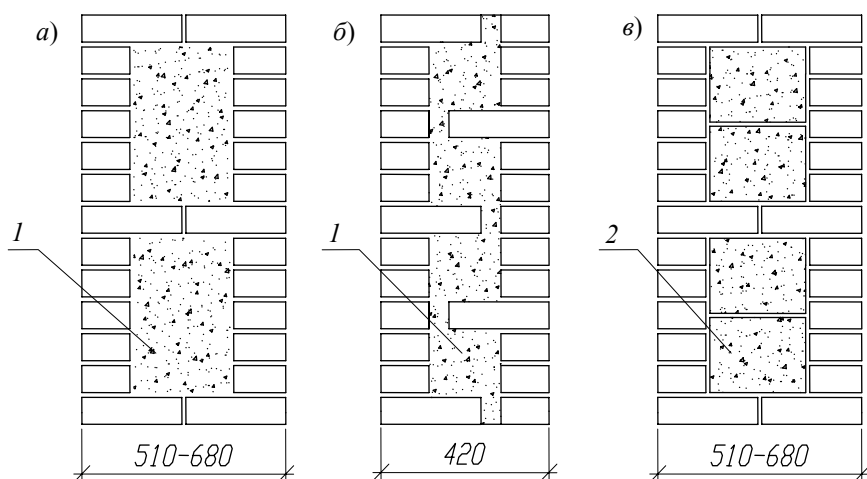


Рис. 1.4 Кирпично-бетонные стены:

а, б – с заполнением из легкого бетона; *в* – с термовкладышами;
1 – легкий бетон; 2 – термовкладыши

строительства в 20-х – 40-х гг. XX столетия.

Это было связано с тем, что в малоэтажном строительстве, а также в зданиях средней этажности с поперечными несущими стенами прочность сплошной кладки наружных стен остается недоиспользованной. В облегченной кладке теплозащитные и прочностные функции распределены между разными материалами. К наиболее распространенным типам облегченных стен относятся кирпично-бетонные стены и стены с колодцевой кладкой.

Кирпично-бетонные стены выполнялись двух видов (рис. 1.4, а, б, в) – с заполнением легким монолитным бетоном и с термовкладышами заводского изготовления, выполненными из легкого бетона, пенобетона, пеносиликата и других теплоэффективных материалов.

Достоинством кирпично-бетонных стен первого вида по сравнению с другими видами облегченных кладок является их более значительная прочность. Связано это с тем, что бетон воспринимает часть нагрузки, передаваемой на стену. При этом лицевые кирпичные стенки имеют хорошую связь. Здания с такими стенами возводились на высоту до пяти этажей. Иногда такую кладку делали на пяти верхних этажах более высоких зданий. Однако такие стены имели повышенную трудоемкость изготовления и существенные эксплуатационные недостатки, приводящие к снижению их долговечности.

Стены с колодцевой кладкой выполнялись нескольких видов. К ним, в частности, относятся кладки

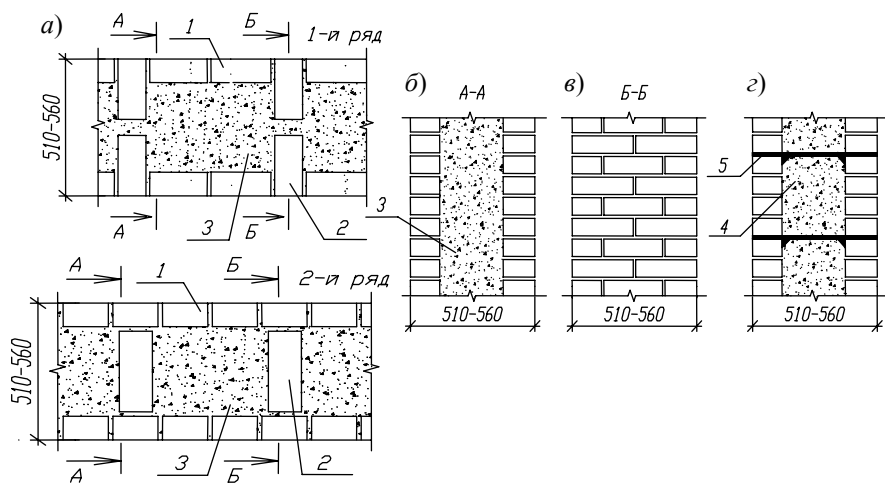


Рис. 1.5 Колодцевая кладка:

а – планы; б – сечение по колодцу; в – сечение по поперечной стенке; г – сечение по колодцу при устройстве засыпки; 1 – ложка; 2 – поперечная стенка; 3 – легкий бетон; 4 – засыпка шлаком; 5 – армированные растворные диафрагмы

с термовкладышами, с засыпками шлаком или керамзитом, с заливкой колодцев легким бетоном (рис. 1.5, а, б, в, г). Колодцевая кладка с монолитным легким бетоном применялась в зданиях высотой до пяти этажей. Кладка со шлаковыми и другими засыпками использовалась в двухэтажных зданиях. Как показал опыт эксплуатации стен с колодцевой кладкой, они также имеют значительные эксплуатационные недостатки и пониженную долговечность из-за недостаточной прочности и разрушений теплоизолирующих материалов.

В последнее время здания с облегченной кладкой практически не возводились.

В 30-х – 60-х гг. XX столетия были построены здания с кладкой наружных стен на «теплых» кладочных растворах. Такие растворы имели шлаковые добавки. Эксплуатация стен с «теплыми» растворами показала, что кладка имеет пониженную прочность, менее долговечна, и особенно, при повышенной влажности.

В последнее время в связи с повышением норм по теплозащите зданий наружные кирпичные стены начинают выполнять с конструктивными решениями, обеспечивающими более четкое разделение несущих и ограждающих функций стены. Это достигается путем устройства многослойных конструкций, состоящих из несущей кирпичной части и из теплоизолирующей конструкции, расположенной с внутренней или наружной поверхности кладки. Такие решения принимаются также и в случаях дополнительного утепления стен при капитальном ремонте и реконструкции зданий (см. главу 6).

Важное значение для обеспечения монолитности кладки и создания благоприятных условий для эксплуатации стен имеет качество выполнения швов. Толщина горизонтальных швов оказывает влияние на прочность кладки. С ростом толщины прочность кладки снижается. Например, согласно [2] при повышении толщины швов от 8 мм до 10...12 мм ориентировочно прочность снижается на 10 %, а при

толщине 15...17 мм или неровном кирпиче – до 25 %. При строительстве зданий в XIX в. рекомендовалось принимать толщину горизонтальных швов равной 12 мм. При такой толщине в 1 м по высоте размещалось 13 рядов кладки из кирпичей толщиной 65 мм и 10 рядов кладки при толщине кирпичей 88 мм. При обследовании фактическая толщина швов определяется путем замера десяти рядов кладки и соответствующего арифметического подсчета.

Важное влияние на эксплуатационные качества стен оказывает вид обработки швов наружной поверхности кладки (рис. 1.6).

В случае устройства кладки под штукатурку для лучшей связи штукатурного слоя со стеной швы с наружной стороны не заполняются раствором на глубину 10...15 мм (рис. 1.6, а). Такой прием кладки называется «впустошовку». Если поверхность стен не оштукатуривается, то кладку

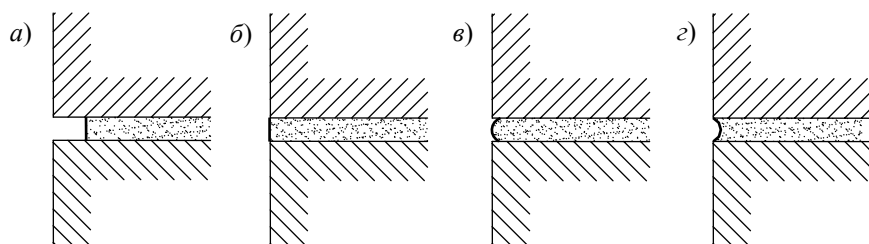


Рис. 1.6 Обработка швов кирпичной кладки:

а – кладка впустошовку; б – вподрез; в и з – под расшивку

ведут с полным заполнением швов приемами «вподрез» (рис. 1.6, б) или «под расшивку» (рис. 1.6, в, з). В гражданских зданиях лицевые швы с целью придания наружным неоштукатуренным стенам декоративных качеств в основном используется прием кладки «под расшивку». Расшивка швов выполняется специальным инструментом, придающим им форму валика или выкружки. При качественном выполнении расшивки значительно снижается воздухопроницаемость стен.

2 ВНЕШНИЕ И ВНУТРЕННИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТЕНЫ И ТРЕБОВАНИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ КАЧЕСТВА

Наружные стены являются одним из основных элементов оболочки здания, обеспечивающих требуемые параметры микроклимата помещений. В процессе эксплуатации стены находятся под постоянным воздействием многочисленных факторов внешней и внутренней среды. От вида и уровня воздействия этих факторов во многом зависят их конструктивные решения и эксплуатационная надежность. Обеспечение эксплуатационной надежности и долговечности стен достигается правильной организацией их эксплуатации с учетом конкретных природно-климатических условий района и параметров микроклимата внутри здания.

2.1 Характеристики климата, влияющие на эксплуатационные качества стен

Конструкции наружных кирпичных стен и степень их долговечности в значительной мере определяются природно-климатическими условиями района строительства. От этого, в частности, зависит выбор материалов кладки, толщина стен и их конструктивные решения.

В процессе эксплуатации стены находятся под воздействием различных факторов внешней окружающей среды. К таким воздействиям относятся температура и влажность наружного воздуха; вид, количество и характер выпадения осадков; скорости и направления ветра; солнечная радиация и др. Сведения о параметрах этих воздействий приведены в СНиП 23-01-99* [12].

Большая территория страны, наличие горных, равнинных и прибрежных районов, резко отличающихся по климатическим признакам, и ряд других подобных факторов привели к необходимости деления страны на четыре климатических района, включающих в себя 15 подрайонов. Такое деление позволяет более дифференцированно подходить к проектированию и эксплуатации зданий с учетом конкретных при-

родных условий подрайона. Карта климатического районирования и характеристики климатических районов приведены в СНиП 23-01-99* [21].

Большинство внешних воздействий, оказывающих влияние на стены, проявляется комплексно. Воздействия вызываются одновременным действием нескольких физических величин, например, низкой температуры и ветра, высокой температуры и солнечной радиации. Совместные действия могут приводить к чрезмерному переохлаждению или перегреву конструкций. Возникновение таких или подобных им ситуаций должно быть учтено как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации стен, например, путем нанесения на стены дополнительных защитных слоев.

Внешние воздействия оказывают влияние на процессы старения ограждения. Интенсивность воздействий внешней среды зависит от ее характера. К наиболее важным факторам, определяющим характер среды, относятся: солнечная радиация, атмосферная, грунтовая, биологическая и водная составляющие, температурные параметры среды и их колебания во времени. Перечисленные факторы оказывают влияние на конструкции стен не изолированно, а совместно, усиливая тем самым действие каждого из них. Например, осмотические напряжения, возникающие при капиллярном поднятии жидкости, сочетаются с действиями механических напряжений: напряжений, вызываемых действием солнечной радиации; напряжений от периодически меняющихся наружных температур, часто переходящих через нулевое значение; напряжений, определяемых структурой материала, и т.п. В таких случаях в материале возникают сложные напряженные состояния, приводящие к появлению микротрещин, а затем и к последующему разрушению конструкций.

Характерным примером комплексного воздействия факторов природной среды на стены зданий является процесс интенсивного износа кирпичных стен в прибрежных районах Охотского моря [13].

По просьбе администрации г. Охотска в 1980 г. было произведено исследование наружных кирпичных стен зданий, возведенных в период 70-х гг. XX в. на прибрежных территориях Охотского моря. При обследовании было установлено, что в природных условиях этих районов по истечении нескольких лет эксплуатации кирпичные нештукатуренные стены начинают интенсивно разрушаться. В процессе разрушения от наружных поверхностей кирпича отслаиваются пластинки материала толщиной 5...20 мм. На местах сколов было заметно наличие солевого налета. Постепенное отслоение материала привело к тому, что со временем уменьшились не только теплотехнические свойства стен, но и возникла угроза снижения их несущей способности. Наиболее интенсивно подвергались разрушению поверхности стен южной, юго-восточной и юго-западной ориентаций.

При изучении причин разрушения было установлено, что оно вызывается комплексным действием влаги с сопутствующими этому физико-химическими процессами и колебаниями наружных температур.

Кирпичная кладка имеет пористо-капиллярную структуру. При контакте с водой или влажным воздухом она интенсивно увлажняется. Влияние влаги на долговечность проявляется как поверхностно-активного вещества, оказывающего физические воздействия на конструкцию, и как химически активной агрессивной среды. При увлажнении кладки дождевой водой силы капиллярного давления влаги вызывают сложные напряжения в материале, приводя к появлению микротрещин. Влага, попадающая в микротрещины, в силу дипольной ориентации молекул в адсорбированном слое, имеет упругость, близкую к упругости материала, и оказывает расклинивающее воздействие по мере сужения микротрещин. Схема такого воздействия показана на рис. 2.1.

Процесс разрушения ускоряется при совместном действии отрицательных температур и влаги. При низких температурах замерзающая вода увеличивается в объеме и вызывает в материале напряжения, превосходящие его прочность.

Большое влияние на износ кирпичной кладки в этих условиях оказывает ее попеременное увлажнение и высыхание. Это влияние усиливается при увлажнении водой, содержащей растворы морских солей.

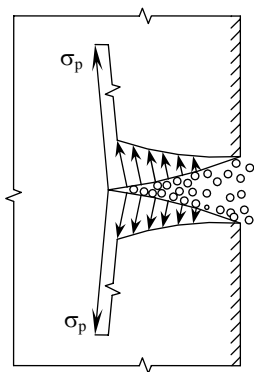


РИС. 2.1 РАСКЛИНИВАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ

Находящаяся в конструкции вода образует растворы неодинаковой концентрации. Стремясь выровнять концентрацию, растворы вызывают большие осмотические давления на стенки пор. При высыхании конструкции соли, оставаясь в кладке, образуют кристаллы, увеличивающие расклинивающие воздействия в месте микротрещин.

Чем больше различаются плотности кирпича и раствора кладки, тем большим оказывается влияние перечисленных выше факторов. В кладочном растворе, так как он является микропористым материалом, при замерзании влаги возникают большие, чем в кирпиче, напряжения. Кирпич оказывается сдавленным «обоймой». Напряжения, возникающие в результате ее действия, способствуют соединению микротрещин и, как следствие, происходит отслоение пластинок материала. Эффект усиливается также за счет влаги, накапливающейся на границе кирпича и раствора и не успевающей мигрировать в раствор.

Колебания температур в ограждениях в зимний период в прибрежных районах Охотского моря существенно зависят от воздействия солнечной радиации. Воздействия солнечной радиации в период с отрицательными температурами наружного воздуха меняют положение нулевой изотермы в ограждении. При этом появляются также нулевые изотермы и в пределах наружного слоя конструкции. Их наличие способствует проникновению влаги внутрь конструкции и увеличению ее концентрации в пределах наружных слоев. В конечном итоге при высыхании конструкции это ведет к увеличению давления кристаллов солей, а при замораживании – к увеличению давления кристаллов льда.

Воздействие солнечной радиации в этих районах дополнительно усиливается тем, что влага, попадающая в конструкции из наружного воздуха, содержит большое количество растворенных солей. Соли понижают температуру замерзания воды и, следовательно, циклы замораживания и оттаивания происходят более часто, чем в других районах.

Рассмотренный пример наглядно указывает на необходимость учета при проектировании и эксплуатации стен совместного воздействия на них факторов природной среды.

Следует отметить, что учет при проектировании комплексного воздействия факторов внешней среды является сложной задачей. Так как закономерности влияния каждого из факторов существенно различны по своему физическому действию, при определении физических свойств конструкции, например, ее сопротивления теплопередаче или теплоустойчивости, приходится учитывать только расчетные величины отдельных наиболее важных факторов. В последующем это может негативно сказываться на эксплуатационных качествах ограждений. Поэтому в ряде случаев необходим расчет стен по нескольким сочетаниям климатических воздействий, например:

- по наиболее неблагоприятным условиям воздухопроницания (при сильном ветре и сопровождающей его умеренной температуре);
- по наибольшему возможному охлаждению при низкой расчетной температуре и относительном безветрии;
- по условиям большой скорости ветра и предельно низкой температуры (если их совпадение возможно по времени).

Выбор сочетаний регламентируется соответствующими главами СНиП.

Подробно с физико-климатическими факторами и их воздействиями на ограждающие конструкции можно ознакомиться в [12].

2.2 Микроклимат помещений и требования, определяющие эксплуатационные качества стен

В помещениях гражданских зданий в зависимости от их функционального назначения должны обеспечиваться санитарно-гигиенические условия, определяющие микроклимат внутренней среды.

Микроклимат помещений характеризуется температурами воздуха, их колебаниями во времени и изменениями по объему, температурами поверхностей ограждений, относительной влажностью воздуха, скоростью движения воздуха в помещении, кратностью воздухообмена, а также гигиеническим состоянием воздуха и наличием или отсутствием агрессивных воздействий на ограждения. Параметры микроклимата определяются соответствующими главами СНиП, СанПиНами и ГОСТами, например, [11, 17, 18] и учитывают указанные выше факторы, а также вид деятельности людей, находящихся в помеще-

нии. Основные критериальные параметры микроклимата, обеспечивающие комфортное тепловое восприятие человека, приведены в табл. 2.1.

2.1 Критериальные значения параметров микроклимата в помещениях жилых и общественных зданий

Параметры	Ед. изм.	Допустимые уровни	Оптимальные уровни
Температура воздуха	°С	17 (зима) 28 (лето)	20...22 (зима) 22...25 (лето)
Градиент температуры воздуха по горизонтали	°С	3,0	2,0
Градиент температуры воздуха по вертикали	°С	3,0	2,0
Разница температур «воздух-ограждение»	°С	4...6	2,0

Продолжение табл. 2.1

Параметры	Ед. изм.	Допустимые уровни	Оптимальные уровни
Температура стекла	°С	10...12	20
Температура пола	°С	18...28	24
Влажность воздуха	%	≤ 60	30-45
Скорость движения воздуха	м/с	0,15...0,30 (зима)	0,10...0,20 (зима)
		0,30...0,50 (лето)	0,20...0,30 (лето)

Обеспечение нормальных условий эксплуатации наружных стен во многом зависит от влажностного режима помещений. Согласно СНиП 23-02–2003 [19] влажностный режим помещений характеризуется сочетанием температуры и относительной влажности воздуха. Сочетания, определяющие влажностный режим помещений, приведены в табл. 2.2.

2.2 Влажностный режим помещений

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

Повышенная влажность воздуха помещения совместно с конкретной температурой приводят к увлажнению кладки стен и, соответственно, к снижению их теплотехнических качеств и долговечности.

Степень увлажнения стен зависит также от зоны влажности территории, на которой размещено здание. Сочетания зон влажности местности и влажностного режима помещений определяют условия эксплуатации ограждающих конструкций, которые согласно СНиП 23-02–2003 [19] делятся на два вида: А и Б. Условия эксплуатации в зависимости от зоны влажности района и влажностного режима помещений приведены в табл. 2.3.

2.3 Условия эксплуатации ограждающих конструкций

Влажностный режим помещений зданий (по табл. 2.2)	Условия эксплуатации А и Б в зоне влажности района		
	сухая	нормальная	влажная
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б

В случае условий вида Б конструкции наружных стен имеют повышенную влажность и, соответственно, худшие условия эксплуатации.

Комфортные санитарно-гигиенические условия в помещениях зависят от внутренних тепло- и влаговыделений и внешних климатических воздействий. Обеспечение комфортных условий достигается регулировкой внутренних тепло- и влаговыделений, а также путем снижения степени воздействия внешних факторов наружными ограждениями и, в частности, кирпичными стенами.

Таким образом, наружные стены должны отвечать целому ряду требований, выполнение которых необходимо при эксплуатации здания для обеспечения санитарно-гигиенических условий и условий по долговечности и надежности работы конструкций:

- стены должны обладать достаточными теплозащитными свойствами для защиты помещения зимой от холода, а летом от перегрева;
- температура внутренних поверхностей стен не должна значительно отличаться от температуры внутреннего воздуха. Разница температур не должна превышать величин, определяемых санитарно-гигиеническими требованиями и условиями невыпадения конденсата на внутренних поверхностях ограждений;
- воздухопроницаемость стен не должна превышать допустимых величин, определяемых условиями ограничения низких температур на внутренних поверхностях ограждений, ограничения скорости движения воздуха у поверхностей стен, а также условиями ограничения накопления влаги в ограждении и повышенного расхода тепловой энергии;
- влажность материалов стен должна быть минимальной по условиям, исключающим образование на поверхностях ограждений плесени и грибков, а также по условиям долговечности конструкций.

3 ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ КАЧЕСТВА КИРПИЧНЫХ СТЕН ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Для обеспечения в помещениях требований микроклимата и ограничения расхода тепловой энергии, теряемой зданием через стены, необходимо чтобы стены имели достаточные теплозащитные качества. Требуемые теплозащитные качества стен эксплуатируемых гражданских зданий определялись нормами проектирования, действующими в период их возведения. В настоящее время в эксплуатации находятся кирпичные здания с фактическими сроками службы от 1 года до 100 и более лет. Стены этих зданий были запроектированы с использованием разных теплотехнических норм и, соответственно, имеют различные уровни теплозащиты. На теплозащитные качества стен существ-

венное влияние оказывают условия передачи тепла через ограждения, теплофизические свойства использованных строительных материалов (кирпича и раствора) и условия эксплуатации стен.

3.1 Процессы и условия передачи тепла через наружные стены

Через стены при разности температур на их внутренней и наружной поверхностях идет поток тепловой энергии. В связи с тем, что происходят постоянные колебания температур наружного и внутреннего воздуха, тепловой поток также постоянно изменяется во времени. Условия теплопередачи при изменениях теплового потока во времени называются *нестационарными*. В случае, если колебаний температур не происходит, поток тепловой энергии остается постоянным во времени и условия теплопередачи называются *стационарными*.

В реальных ситуациях теплопередача через стены практически всегда нестационарна. Однако, учитывая, что теплотехнические расчеты ограждений при нестационарных условиях теплопередачи достаточно сложны, они выполняются только в особых случаях, например, при оценке теплоустойчивости. В большинстве же ситуаций с точностью, допустимой при практических расчетах, можно считать теплопередачу через ограждающие конструкции стационарной. При этом температура воздуха в здании принимается осредненной за некоторый период времени (например, за сутки), а для наружной температуры устанавливается некоторое расчетное ее значение исходя из климатических условий данной местности и тепловой инерции ограждения.

В случае стационарного режима теплопередачи все теплотехнические расчеты значительно упрощаются. В практике при стационарных условиях определяются потери тепла зданием, теплозащитные качества ограждений, распределения температур в ограждениях и др.

Передача тепла через стену происходит в сторону более низких температур, т.е. зимой – в сторону наружного воздуха. Весь процесс передачи тепла в этом случае состоит из трех этапов:

- восприятие тепла внутренней поверхностью ограждения от воздуха помещения;
- передача тепла через толщу стены;
- отдача тепловой энергии наружной поверхностью стены наружному воздуху.

В этом процессе участвуют все три вида передачи энергии в окружающей среде: теплопроводность, конвекция, излучение.

Теплопроводность – вид передачи тепла, при котором кинетическая энергия передается последовательно в твердых и жидких телах упругими волнами, а в газах – диффузией атомов или молекул.

Наиболее полно теплопроводность проявляется в твердых телах.

Конвекция – перенос тепловой энергии движущимися массами вещества. Конвекция наблюдается в жидкой и газообразной средах.

Излучение – перенос энергии в виде электромагнитных волн между взаимно излучающими поверхностями, имеющими температуру выше абсолютного нуля. Излучение происходит в газообразной среде.

Процесс передачи тепла через стену сопровождается понижениями температур на ее поверхностях и в толще. Схемы распределения температур на границах и в толще однослойной и многослойной стен приведены на рис. 3.1.

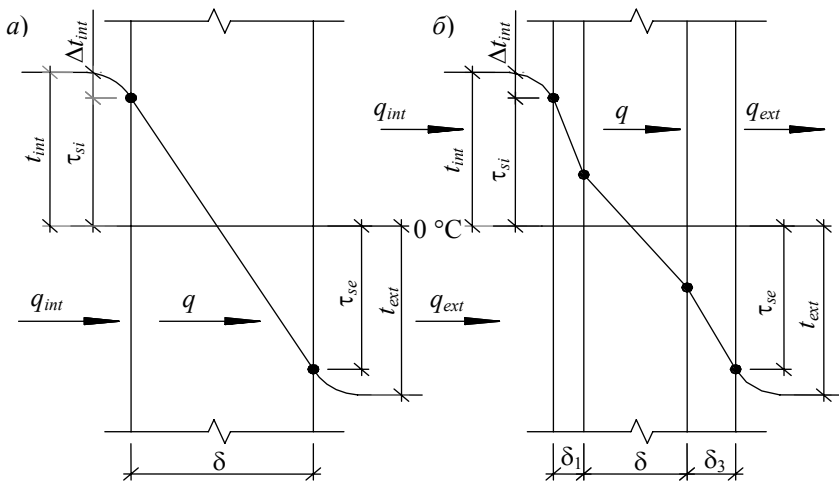


Рис. 3.1 Передача тепла и распределение температур в однослойной (а) и многослойной (б) конструкциях стен при стационарном режиме теплопередачи

На первом этапе передача тепла к поверхности наружного ограждения осуществляется от воздуха помещения конвекцией и от внутренних поверхностей ограждений помещения (стен, полов, потолков) излучением. При этом по мере приближения к поверхности стены происходит понижение температуры воздуха t_{int} до температуры поверхности τ_{si} (см. рис. 3.1). Перепад температур $\Delta t_{int} = t_{int} - \tau_{si}$, обусловленный процессом теплообмена у внутренней поверхности ограждения, зависит от коэффициента теплоотдачи внутренней поверхности α_i , Вт/(м² · °С). Тепловой поток, поступающий на единицу площади конструкции, в этом случае определяется как

$$q_{int} = \alpha_i(t_{int} - \tau_{si}), \text{ Вт/м}^2. \quad (3.1)$$

На втором этапе передача тепла через толщу кирпичной стены, не имеющей воздушных прослоек, происходит за счет теплопроводности. Изменение температур в толще стены зависит от толщины конструкций δ , м и от коэффициента теплопроводности кладки λ , Вт/м · °С. Тепловой поток, проходящий через толщу единицы площади стены, определяется как

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(\tau_{si} - \tau_{se}), \text{ Вт/м}^2. \quad (3.2)$$

Отдача тепла наружной поверхностью стены наружной окружающей среде (третий этап) осуществляется конвекцией и излучением. Понижение температуры с τ_{se} до t_{ext} обусловлено процессом теплообмена у наружной поверхности, который зависит от величины коэффициента теплообмена поверхности α_e , Вт/(м² · °С). Тепловой поток, уходящий с единицы поверхности стены, определяется как

$$q_{ext} = \alpha_e(\tau_{se} - t_{ext}), \text{ Вт/м}^2. \quad (3.3)$$

Как видно из формул (3.1) и (3.3), отдача тепла на поверхностях стены определяется величиной коэффициентов α_i и α_e , зависящих от условий конвективного теплообмена и теплового излучения, т.е.

$$\alpha_i = \alpha_{ик} + \alpha_{ил}, \quad \alpha_e = \alpha_{ек} + \alpha_{ел}, \quad (3.4)$$

где $\alpha_{ик}$, $\alpha_{ил}$, $\alpha_{ек}$, $\alpha_{ел}$ – коэффициенты теплоотдачи конвекцией и излучением соответственно на внутренней и наружной поверхностях стены.

Для конкретных условий эксплуатации эти коэффициенты могут быть получены расчетом на основании экспериментальных данных о температурах среды и поверхностей ограждений, а также о характеристиках излучения энергии поверхностями.

Коэффициенты теплоотдачи излучением $\alpha_{ил}$, $\alpha_{ел}$ с достаточной точностью можно определять по формулам, приведенным в [24], как

$$\alpha_{ил} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}} \frac{\left[\frac{t_{int} + 273}{100} \right]^4 - \left[\frac{\tau_{si} + 273}{100} \right]^4}{t_{int} - \tau_{int}}; \quad (3.5)$$

$$\alpha_{ел} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}} \frac{\left[\frac{\tau_{se} + 273}{100} \right]^4 - \left[\frac{t_{ext} + 273}{100} \right]^4}{\tau_{se} - t_{ext}}. \quad (3.6)$$

Здесь $C_0 = 5,77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела; C_1 и C_2 – соответственно, коэффициенты излучения поверхностей наружной стены и других излучающих на эту стену поверхностей.

В случае, если наружная поверхность исследуемой стены находится достаточно далеко от стен других зданий, коэффициент C_2 можно принимать равным C_0 и тогда формула (3.6) будет иметь более простой вид:

$$\alpha_{ел} = \frac{C_1}{\tau_{se} - t_{ext}} \left\{ \left[\frac{\tau_{se} + 273}{100} \right]^4 - \left[\frac{t_{ext} + 273}{100} \right]^4 \right\}. \quad (3.7)$$

Значения коэффициентов излучения для некоторых материалов, применяемых при отделке кирпичных стен, приведены в табл. 3.1.

3.1 Значения коэффициентов излучения

Наименование материала и состояние поверхностей	$C,$ Вт/(м ² · К 4)
Мрамор шлифованный:	
серый	5,37
темный	5,37
Гранит серый светлый шлифованный	2,42
Известняк шлифованный:	
светлый	2,31
темный	2,31
Песчаник шлифованный красный	3,29
Кирпич обыкновенный красный	5,37
Бетон, гладкая поверхность	3,58
Силикатный кирпич	5,25
Штукатурка:	
светлая	5,25
темная	5,42
Эмалевые краски	5,18

Конвективный теплообмен у внутренней и наружной поверхностей стен различен. У внутренней поверхности происходит естественная конвекция, вызываемая разностью температур воздуха и поверхности стены. У наружной поверхности стены из-за действия ветра в основном происходит вынужденная конвекция. В этой связи коэффициенты теплоотдачи конвекцией $\alpha_{ик}$ и $\alpha_{ек}$ определяются по разным формулам.

Согласно [24] $\alpha_{ик}$ можно определить как

$$\alpha_{ик} = K\sqrt[3]{\Delta t}, \quad (3.8)$$

где $\Delta t = t_{int} - \tau_{si}$ – температурный перепад у поверхности стены, °С; K – коэффициент, учитывающий положение поверхности. Для вертикальной гладкой поверхности стены $K = 1,66$.

Значения $\alpha_{ек}$ можно вычислять по формуле Франка [18]:

$$\alpha_{ек} = 7,34v^{0,656} + 3,78e^{-1,91v}, \quad (3.9)$$

где v – скорость ветра, м/с; $e = 2,718$ – основание логарифмов. За расчетную скорость ветра для зимних условий принимается средняя скорость ветра из тех румбов за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более. Расчетные скорости ветра приведены в СНиП [21].

Следует отметить, что первый член формулы (3.9) учитывает вынужденную конвекцию, а второй – естественную. Видно, что при наличии ветра второй член практически приближается к нулю, и теплообмен происходит в основном за счет вынужденной конвекции.

Пример 3.1. Найти коэффициенты теплообмена у поверхностей наружной эксплуатируемой стены. По результатам обследования и выполненных измерений установлено следующее. Стена сложена из глиняного обожженного кирпича. Толщина кирпичной кладки составляет 0,51 м. С внутренней стороны стена оштукатурена известково-цементной штукатуркой толщиной 0,02 м. Снаружи стена не оштукатурена и выполнена с расшивкой швов. Температура и относительная влажность внутреннего воздуха составляют $t_{int} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi_{int} = 50 \%$. Температуры внутренней и наружной поверхностей стены равны $\tau_{si} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau_{se} = -23 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура наружного воздуха равна $t_{ext} = -25 \text{ }^\circ\text{C}$. Скорость ветра – 5 м/с. Внутренние поверхности стены и других ограждений помещения имеют коэффициент излучения $C = 5,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$. Коэффициент излучения наружной поверхности стены равен $C = 5,37 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

Решение. Значения α_i и α_e находятся по формулам (3.4) – (3.9).

Определяем по формуле (3.5) коэффициент теплоотдачи излучением внутренней поверхности стены:

$$\alpha_{in} = \frac{1}{\frac{1}{5,25} + \frac{1}{5,25} - \frac{1}{5,77}} \frac{\left[\frac{18 + 273}{100} \right]^4 - \left[\frac{12 + 273}{100} \right]^4}{18 - 12} = 4,56 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией внутренней поверхности стены определяем по формуле (3.8)

$$\alpha_{ik} = 1,66 \sqrt[3]{18 - 12} = 3,02 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены согласно формуле (3.4) равен

$$\alpha_i = \alpha_{ik} + \alpha_{in} = 3,02 + 4,56 = 7,58 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}.$$

Так как обследованное здание находится на достаточном удалении от соседних зданий и, соответственно, $C_2 = C_0$, расчет коэффициента теплоотдачи излучением наружной поверхности стены производим по формуле (3.7):

$$\alpha_{en} = \frac{5,37}{-23 - (-25)} \left\{ \left[\frac{-23 + 273}{100} \right]^4 - \left[\frac{-25 + 273}{100} \right]^4 \right\} = 3,31 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией наружной поверхности стены определяем по формуле (3.9):

$$\alpha_{ек} = 7,34 \cdot 5^{0,656} + 3,78e^{-1,91 \cdot 5} = 21,06 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}.$$

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены

$$\alpha_e = \alpha_{ек} + \alpha_{ел} = 21,06 + 3,31 = 24,37 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}.$$

Коэффициенты теплоотдачи $\alpha_{ик}$ и $\alpha_{ил}$ можно также определить по графикам, приведенным на рис.

3.2.

В частности, для данного случая при $\Delta t = t_{int} - \tau_{si} = 18 - 12 = 6 \text{ °C}$ и

$t_{av} = (t_{int} + \tau_{si})/2 = (18 + 12)/2 = 15 \text{ °C}$, коэффициенты $\alpha'_{ик}$ и $\alpha'_{ил}$ будут равны

$$\alpha'_{ик} = 2,99 \text{ Вт/°C} \cdot \text{°C}), \alpha'_{ил} = 4,63 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha'_i = \alpha'_{ик} + \alpha'_{ил} = 2,99 + 4,63 = 7,62 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Видно, что α_i и α'_i практически совпадают.

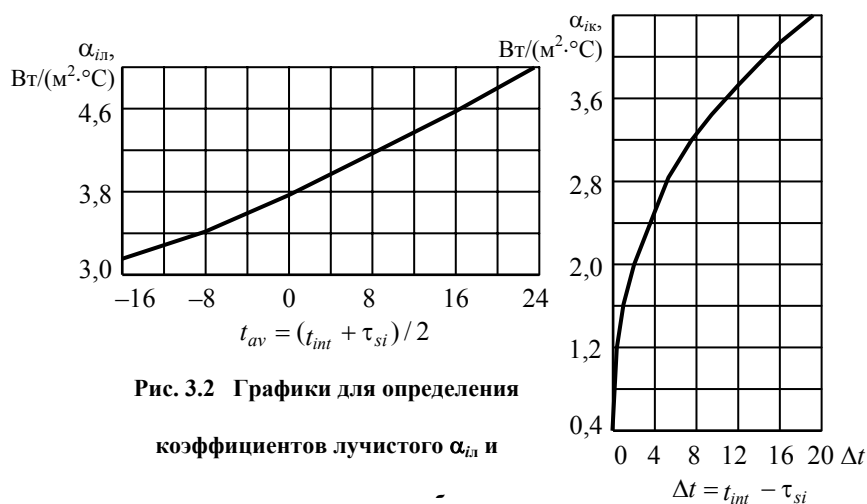


Рис. 3.2 Графики для определения коэффициентов лучистого α_{il} и

Анализ результатов расчетов показывает, что теплообмен на внутренней поверхности стены в данном случае в большей мере определяется излучением (60 %). На наружной поверхности стены отдача тепла излучением имеет незначительную величину (13,6 %). Конвективная теплоотдача на наружной поверхности стены определяется в основном вынужденной конвекцией. Естественная конвекция на наружной поверхности при скорости ветра 5 м/с практически равна нулю.

Так как при эксплуатации гражданских зданий в зимний период, как правило, на поверхностях наружных стен обеспечиваются примерно одни и те же условия теплообмена, при расчетах теплозащиты можно также использовать коэффициенты α_i и α_e , принимаемые по СНиП 23-02–2003 [19] и равные для гладких стен $\alpha_i = 8,7$ Вт/(м²·°C), $\alpha_e = 23$ Вт/(м²·°C).

3.2 Теплотехнические характеристики материалов кладки

Теплозащитные свойства стены определяются величиной проходящего через них потока тепловой энергии. Согласно формуле (3.2) величина потока зависит от коэффициента теплопроводности материала λ .

Коэффициент теплопроводности λ характеризует способность материала проводить тепло через свою массу. Он показывает количество тепла в Дж, проходящего за 1 с через 1 м² плоской стенки толщиной в 1 м при разности температур на ее поверхностях в 1 °C, и имеет, соответственно, размерность Вт/(м·°C).

Величина теплопроводности зависит от объемной плотности материалов, связанной с его пористостью, структуры и от влажности материалов.

Материалы кирпичной кладки в большей или меньшей мере являются пористыми телами.

Пористость материала определяется содержанием пор в материале и выражается процентным отношением объема пор к общему объему материала, p , %.

Объемная плотность материала ρ_0 , кг/м³, определяется массой единицы объема материала в том состоянии, в котором он применяется в строительстве. Объемная плотность может значительно отличаться от плотности материала без наличия пор ρ , кг/м³. Например, глиняный кирпич, состоящий из глины и песка, имеет плотность материала, равную $\rho = 2600$ кг/м³. Объемная же плотность глиняного кирпича ρ_0 изменяется в пределах от 1900 кг/м³ для плотного кирпича до 700 кг/м³ для пористого кирпича.

При известных значениях плотности ρ и объемной плотности ρ_0 величина пористости определяется как

$$p = \frac{\rho - \rho_0}{\rho} 100, \% . \quad (3.10)$$

Материал кладки стены всегда содержит определенное количество влаги. **Влажность материала** характеризуется наличием в нем химически свободной воды. Выражается влажность относительными величинами по массе w или по объему w_V

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100, \% ; \quad w_V = \frac{V_1}{V_2} 100, \% , \quad (3.11)$$

где m_1, m_2 – массы влажного и сухого материала; V_1 – объем влаги, содержащейся в материале; V_2 – объем сухого материала.

При одном и том же объемном содержании влаги в образце значения влажности по массе будут различны в зависимости от объемной плотности материала. Для материалов с большей плотностью влажность по массе выразится меньшим процентом, чем для материала с меньшей объемной плотностью. Следовательно, объемная влажность более полно характеризует содержание влаги в материале, чем влажность по массе. Объемную влажность материала сложно определять экспериментально, поэтому ее чаще всего находят по формуле

$$w_V = \frac{w \rho_0}{1000} . \quad (3.12)$$

Здесь w и ρ_0 – влажность по массе и объемная плотность материала в сухом состоянии, определенные экспериментально.

Коэффициенты теплопроводности кладки существенно зависят от объемной плотности и пористости кирпичей.

Так как теплопроводность воздуха меньше теплопроводности самого материала, увеличение пористости кирпичей приводит к снижению коэффициента теплопроводности. Наглядным примером служат данные о зависимости коэффициента теплопроводности от объемной плотности, приведенные на рис. 3.3. Как видно из графика, по объемной плотности кирпичей можно приближенно судить об их коэффициентах теплопроводности. Имеющиеся на графике отклонения от прямой линии связаны с тем, что на величину коэффициента теплопроводности кирпичей кроме пористости также оказывают влияние размеры пор и структура материала. С увеличением размеров пор растет коэффициент теплопроводности воздуха в порах и, соответственно, всего изделия.

Теплопроводность зависит также от связи пор между собой. При сообщающихся порах коэффициент теплопроводности из-за возникновения конвекционных токов воздуха возрастает. В кирпичах и растворе кладки поры, как правило, замкнуты и это явление практически не имеет значения.

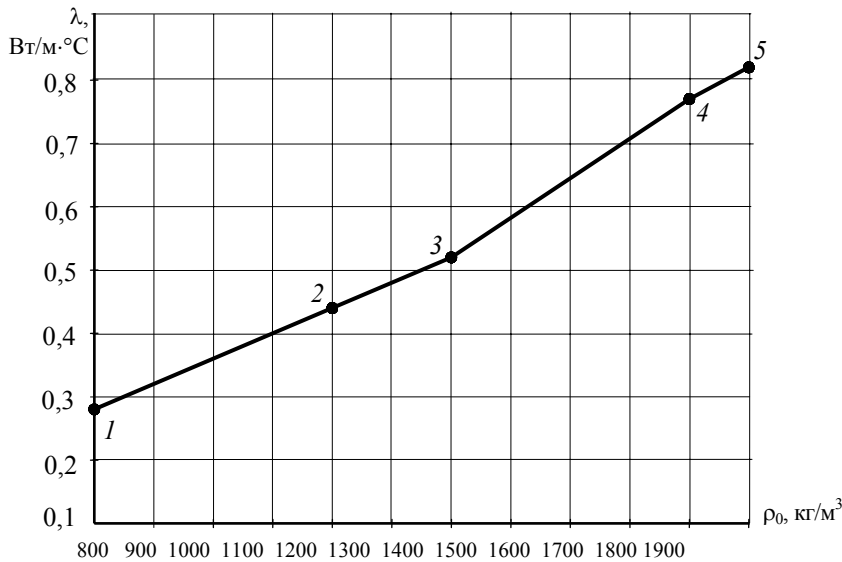


РИС. 3.3 ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГЛИНЯНОГО КИРПИЧА ОТ ОБЪЕМНОЙ ПЛОТНОСТИ ПО ДАННЫМ [18]:

1 – высокопористый кирпич с пористостью $p = 69\%$; 2 – пористый кирпич с $p = 54\%$; 3 – слабопористый кирпич с $p = 46\%$; 4 – плотный

На коэффициент теплопроводности оказывает влияние не только воздух, но и теплопроводность основного вещества изделия. Это влияние приближенно можно показать на материалах кладки. Силикатный кирпич кладки и цементно-песчаный раствор имеют одинаковую объемную плотность 1800 кг/м^3 , но при этом их коэффициенты различны. По данным [25] коэффициент теплопроводности кирпичей в сухом состоянии равен $0,754 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, а раствора, соответственно, $0,692 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

На коэффициент теплопроводности кирпичей незначительное влияние оказывает также величина контактных площадок между частицами материала. При уменьшении площадок контакта величина коэффициента теплопроводности уменьшается.

Коэффициенты теплопроводности материалов увеличиваются с повышением их средних температур. Это явление связано с ростом кинетической энергии молекул основного материала, а также с возрастанием теплопроводности воздуха в порах материалов и с увеличением в них передачи тепла излучением. Как показывают исследования, величина изменений коэффициентов теплопроводностей материалов кирпичной кладки в пределах рабочего диапазона температур (от -50 °C до $+50 \text{ °C}$) очень незначительна и ею при практических расчетах обычно пренебрегают [24].

Коэффициенты теплопроводности кирпичей и кладочного раствора существенно зависят от их влажности. С повышением влажности наблюдается достаточно резкий рост теплопроводности и, соответственно, ухудшение теплозащитных качеств стен. Изменение коэффициентов теплопроводности кладки, сложенной из обыкновенного глиняного кирпича на цементно-песчаном растворе, в зависимости от влажности по массе приведено на графике рис. 3.4.

Подробные исследования влияния влаги на теплопроводность кирпичей и кладочных растворов было выполнено в середине XX в. в НИИСФе А.У. Франчуком [25]. Некоторые данные этих исследований приведены в табл. III.

Повышение теплопроводности кладки при росте влажности материалов связано с тем, что вода, попадающая в поры, имеет больший коэффициент теплопроводности, чем вытесненный ею воздух (примерно в 20 раз). Кроме того, вода в порах увеличивает размеры контактных площадок между частицами материала и тем самым дополнительно повышает теплопередачу.

Из графика рис. 3.4 видно, что сначала при увеличении влажности кирпича от первоначальных малых значений идет более интенсивный рост коэффициента теплопроводности. Затем рост несколько замедляется. Связано это с тем, что вначале заполняются водой мелкие поры и капилляры, оказывающие большее влияние на теплопроводность кирпичей, чем крупные поры.

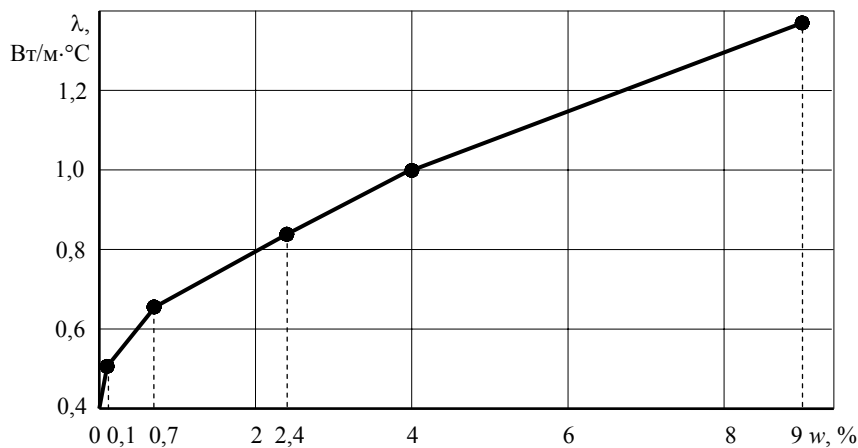


Рис. 3.4 Зависимость теплопроводности кладки от влажности

использованы данные из Ф. Ф. Фомин [24]

При замерзании влажной кладки теплопроводность ее возрастает еще более. Связано это с тем, что коэффициент теплопроводности льда в четыре раза превышает коэффициент теплопроводности воды. В частности, это повышение теплопроводности хорошо заметно при сравнении коэффициентов теплопроводности, приведенных в табл. П1 для положительных и отрицательных температур. В качестве примера на рис. 3.5 приведены графики роста коэффициентов теплопроводности красного кирпича при росте его объемной влажности при положительных и отрицательных температурах.

Следует отметить, что замерзание влаги в порах может происходить при температурах значительно ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Чем меньше диаметр пор, тем ниже температура замерзания влаги. Таким образом, с понижением температуры замерзшей кладки теплопроводность ее постоянно возрастает.

Накопление влаги в кирпичных стенах, как будет показано далее в главе 4, зависит от климатических условий района строительства, от параметров микроклимата, материалов кладки, конструктивного решения стен и ряда других факторов.

В соответствии с особенностями климатических воздействий, влияющих на естественную сушку ограждений, территория России разделена на три зоны влажности: сухую, нормальную и влажную. Карта зон влажности приведена в СНиП 23-02-2003 [19].

В сухой зоне средняя многолетняя равновесная влажность ограждений в зданиях с нормальной влажностью близка к максимальной гигроскопической влажности, а в районах с устойчивым сухим климатом может быть и ниже.

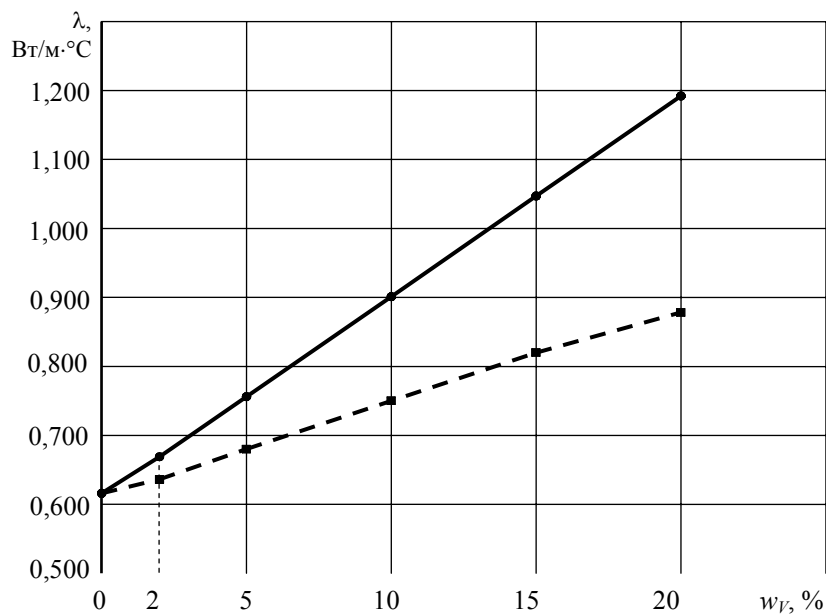


Рис. 3.5 Рост коэффициента теплопроводности красного кирпича объемной плотностью $\gamma_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$ в зависимости от роста объемной влажности при положительных (—■—■—) и отрицательных (—●—●—) температурах

В зоне с нормальной влажностью равновесная влажность ограждений, как правило, превышает максимальную гигроскопическую влажность и коэффициенты теплопроводности наружных ограждений, в том числе и кирпичных стен, имеют более высокие значения, чем в сухой зоне.

Во влажной зоне материалы наружных ограждений могут иметь весьма большую влажность. В этом случае их коэффициенты теплопроводности имеют высокие значения, и особенно, у медленно высыхающих материалов (например, шлаковых кирпичей).

Как сказано в п. 2.2, сочетание влажностных параметров климата и температурно-влажностных параметров помещений определяют условия эксплуатации наружных ограждений по условиям накопления в них влаги. В зависимости от условий эксплуатации устанавливаются расчетные коэффици-

енты теплопроводности материалов, которые всегда выше коэффициентов теплопроводности этих материалов в сухом состоянии.

Во всех теплотехнических расчетах используются расчетные коэффициенты теплопроводности. Значения расчетных коэффициентов теплопроводности строительных материалов приведены в СП 23-101–2004 [22]. Значения коэффициентов λ для материалов кирпичной кладки приведены также в приложении в табл. П2.

Следует иметь в виду, что для кирпичной кладки значения коэффициентов λ даны как для комплексной конструкции, состоящей из кирпичей и кладочного раствора. В зависимости от вида кирпичей и состава раствора расчетные коэффициенты теплопроводности кладок существенно различаются между собой даже при их одинаковой объемной плотности.

Например, согласно данным [22] (см. также табл. П2) кладка из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе объемной плотностью $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$ имеет коэффициенты теплопроводности для условий эксплуатации А и Б, соответственно, $\lambda_A = 0,70 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ и $\lambda_B = 0,81 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$. Кладка из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе объемной плотностью $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$ имеет для этих условий коэффициенты $\lambda_A = 0,76 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ и $\lambda_B = 0,87 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

Пример 3.2. Выбрать расчетную величину коэффициента теплопроводности кирпичной кладки из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе с объемной плотностью $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$ для стен жилых зданий, эксплуатируемых в условиях городов Тамбова и Архангельска. Температура воздуха в помещении $t_{int} = 20 \text{ °C}$, относительная влажность воздуха $\varphi_{int} = 50 \%$.

Решение. Результаты выбора приведены в табл. 3.2.

Видно, что в условиях влажного климата Архангельска кирпичные стены больше накапливают влаги и, следовательно, имеют более высокий расчетный коэффициент теплопроводности по сравнению с расчетным коэффициентом для кирпичных стен, эксплуатируемых в условиях сухого климата г. Тамбова. Превышение составляет 15,7 %. По сравнению с λ_0 кладки в сухом состоянии эксплуати-

руемые стены в обоих случаях имеют более значительные величины расчетных коэффициентов λ . Превышения составляют, соответственно, 25 и 45 %.

Важной теплотехнической характеристикой материалов является их *теплоемкость* – способность материала поглощать тепло при повышении температуры. Количественно теплоемкость характеризуется *удельной теплоемкостью* c , равной количеству тепла в Дж, необходимому для повышения температуры 1 кг материала на 1 °С, и имеющей размерность Дж/(кг · °С). Удельная теплоемкость зависит от влажности материала. С повышением влажности растет и удельная теплоемкость. Это объясняется ростом в материале воды, имеющей более высокую теплоемкость, чем строительный материал.

Значения удельной теплоемкости для материалов в сухом состоянии c_0 приведены в СП 23-101–2004 [22]. Для кирпичной кладки стен они даны также в табл. П2.

3.2 Выбор расчетного коэффициента теплопроводности для кладки стен

Наименование показателя	Район строительства		Обоснование показателя
	Та мбов	Архангельск	
Температура воздуха помещения, °С	20	20	по ГОСТ 30494–96
Относительная влажность воздуха помещения, %	50	50	по ГОСТ 30494–96
Влажностный	су	сухой	СНиП 23-02–

режим помещения	хой		2003, табл. 1 (см. также табл. 2.2 пособия)
Зона влажности	сухая	влажная	СНиП 23-02–2003, прил. В
Условия эксплуатации стены	А	Б	СНиП 23-02–2003, табл. 2 (см. также табл. 2.3 пособия)
Коэффициент теплопроводности кладки в сухом состоянии, Вт/(м·С)	0,56	0,56	СП 23-101–2004, прил. Е, табл. Е.1 (см. также табл. П2 пособия)
Расчетный коэффициент теплопроводности кладки в условиях эксплуатации	0,70	0,81	СП 23-101–2004, прил. Е, табл. Е.1 (см. также табл. П2

			пособия)
--	--	--	----------

Для материала, имеющего конкретную влажность, удельная теплоемкость может быть вычислена по формуле

$$c_w = \frac{c_0 + 0,01w}{1 + 0,01w}, \quad (3.13)$$

где c_w – удельная теплоемкость материала при влажности по массе равной w , %; c_0 – удельная теплоемкость этого же материала в сухом состоянии.

Для кладки, как конструкции, состоящей из нескольких материалов, удельную теплоемкость следует определять с учетом весовых частей материалов кладки

$$c_{\text{кл}} = \frac{c_{\text{к}}p_{\text{к}} + c_{\text{р}}p_{\text{р}}}{p_{\text{к}} + p_{\text{р}}}, \quad (3.14)$$

где $c_{\text{кл}}$, $c_{\text{к}}$, $c_{\text{р}}$ – удельные теплоемкости, соответственно кладки, кирпичей и раствора; $p_{\text{к}}$, $p_{\text{р}}$ – весовые части в кладке, соответственно, кирпичей и кладочного раствора.

В СП 23-100–2004 [22] и табл. ПЗ значения удельной теплоемкости для кладок стен даны приведенными в соответствии с формулой (3.14).

Реже в практике оценки теплотехнических качеств ограждений используется **объемная теплоемкость материала**. Она определяется как произведение удельной теплоемкости c_0 на объемную плотность материала, т.е.

$$c_{0V} = c_0 \rho_0. \quad (3.15)$$

Объемная плотность c_{0V} имеет, соответственно, размерность Дж/(м³ · °С).

3.3 Сопротивление теплопередаче стен как мера их теплозащитных качеств

Как показано в п. 3.1, процесс передачи тепла через стену в зимних условиях состоит из трех этапов: восприятия тепла внутренней поверхностью стены от воздуха помещения, передачи его через толщу ограждения и последующей отдачи наружной поверхностью окружающей среде.

Учитывая, что потоки тепла, поступающие на ограждение, проходящие через его толщу и уходящие наружу, в условиях стационарной теплопередачи, равны между собой, можно, сложив формулы (3.1) – (3.3) и выполнив соответствующие преобразования, получить общую формулу теплового потока, проходящего через ограждение, в виде

$$q_0 = \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0}. \quad (3.16)$$

В формуле (3.16) величина R_0 , равная

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}, \quad (3.17)$$

называется *сопротивлением теплопередаче ограждающей конструкции*.

Как видно из формулы (3.16) с ростом величины R_0 поток тепловой энергии, уходящей через конструкцию, уменьшается. Следовательно, *сопротивление теплопередаче R_0 является мерой теплозащитных свойств ограждения*.

Из формулы (3.17) видно, что теплозащита зависит от коэффициентов теплоотдачи α_i и α_e , толщины ограждения δ и коэффициента теплопроводности материала ограждения λ .

Величины

$$R_{int} \qquad R_{int} = \frac{1}{\alpha_i}, \quad R_{ext} = \frac{1}{\alpha_e} \quad (3.18)$$

называются, соответственно, *сопротивлениями тепловосприятия и теплоотдачи ограждения*.

Величина

$$R_k = \frac{\delta}{\lambda} \quad (3.19)$$

называется *термическим сопротивлением ограждения*.

Расчеты величин R_0 следует выполнять по формуле

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_i} + R_k + \frac{1}{\alpha_e}. \quad (3.20)$$

Расчетные формулы для определения R_k зависят от конструктивного решения ограждения.

Как показано в главе 1, наружные кирпичные стены могут выполняться однослойными, многослойными, многослойными со сложной регулярной структурой кладки и т.п. В стенах могут быть разные включения с различными коэффициентами теплопроводности, а также замкнутые и вентиля-

руемые воздушные полости и прослойки. Кирпичи кладки могут быть сплошными по сечению и с пустотами. В каждом из перечисленных случаев определение величины термического сопротивления R_k имеет свои особенности.

Однослойные стены. Для однослойных конструкций (см. рис. 3.1, а) термическое сопротивление конструкции

$$R_k = R = \frac{\delta}{\lambda}. \quad (3.21)$$

Многослойные стены. Для многослойных конструкций, в которых слои материала располагаются параллельно наружным поверхностям и друг другу (см. рис. 3.2, б), сопротивление

$$R_k = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (3.22)$$

где $R_i = \delta_i/\lambda_i$ – термическое сопротивление i -го слоя конструкции, имеющего толщину δ_i и коэффициент теплопроводности материала λ_i .

Пример 3.3. Найти сопротивление теплопередаче наружной кирпичной стены эксплуатируемого в г. Тамбове здания, выполненной из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе и оштукатуренной с внутренней стороны цементно-песчаной, а с наружной стороны известково-цементной штукатурками. При обследовании установлено, что кладка имеет объемную плотность $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$, толщина кладки составляет 0,51 м. Толщина штукатурных слоев равна 0,02 м. Известково-цементная штукатурка имеет объемную плотность $\rho_0 = 1700 \text{ кг/м}^3$, объемная плотность цементно-песчаной штукатурки равна $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$. При установившемся тепловом потоке и температуре внутреннего воздуха равной $t_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ температура на внутренней поверхности стены по данным измерений составляет $\tau_{si} = 13 \text{ }^\circ\text{C}$. Средняя температура наружного воздуха за пять суток в период обследования составляла $t_{ext} = -28 \text{ }^\circ\text{C}$. Относительная влажность внутреннего воздуха помещения составляла $\phi_{int} = 45 \text{ \%}$. Условия теплообмена на наружной поверхности стены аналогичны условиям, показанным в примере 3.1.

Решение. Определяем коэффициент теплообмена α_i на внутренней поверхности стены. Как показано в параграфе 3.1 $\alpha_i = \alpha_{ik} + \alpha_{in}$. Для нахождения конвективной α_{ik} и лучистой α_{in} составляющих коэффициента α_i определим величину температурного перепада $\Delta t = t_{int} - \tau_s = 20 - 13 = 7 \text{ }^\circ\text{C}$ и среднее арифметическое значение температур t_{int} и τ_{si} : $(t_{int} + \tau_{si})/2 = (20 + 13)/2 = 16,5 \text{ }^\circ\text{C}$. По графикам рис. 3.2 находим, что $\alpha_{ik} = 3,14 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$, а $\alpha_{in} = 4,94 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$. Тогда имеем $\alpha_i = 3,14 + 4,94 = 8,08 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$.

Так как условие теплообмена на наружной поверхности стены аналогичны условиям обмена стены в примере 3.1, коэффициент теплообмена α_e принимаем равным $\alpha_e = 24,37 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Определяем коэффициенты теплопроводности материалов конструкций. Для этого вначале находим условия эксплуатации стены. Так как влажность и температура воздуха помещения соответственно равны $\varphi_{int} = 45\%$ и $t_{int} = 20 \text{ °C}$, влажностный режим помещения *сухой* (см. табл. 2.2). Зона влажности территории согласно карте зон влажности (см. прил. В [19]) – *сухая*. Следовательно, условия эксплуатации стены соответствуют условиям вида А (см. табл. 2.3). По табл. Е.1 прил. Е СП 23-101-2004 [22] (см. также табл. П2) находим, что коэффициенты теплопроводности составляют: для кладки – $\lambda_{кл} = 0,70 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$; для цементно-песчаной штукатурки – $\lambda_{щп} = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$; для известково-цементной штукатурки – $\lambda_{щп} = 0,70 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$.

Вычисляем термическое сопротивление отдельных слоев стены: внутренней цементно-песчаной штукатурки $R_{щп} = 0,02/0,76 = 0,026 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; кладки $R_{кл} = 0,51/0,70 = 0,729 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; наружной известково-цементной штукатурки $R_{щп} = 0,02/0,70 = 0,029 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Термическое сопротивление стены равно $R_k = 0,026 + 0,729 + 0,029 = 0,784 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Сопротивление теплопередаче стены в целом составляет

$$\begin{aligned} R_0 &= 1/\alpha_i + R_k + 1/\alpha_e = 1/8,08 + 0,784 + 1/24,37 = \\ &= 0,124 + 0,784 + 0,041 = 0,949 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}. \end{aligned}$$

Так как сопротивление R_0 является мерой теплозащитных свойств ограждения, можно определить поток тепловой энергии, уходящей через 1 м^2 кладки стены. В данных условиях он составляет

$$t_{int} \quad q_0 = (t_{int} - t_{ext}) / R_0 = [20 - (-28)] / 0,949 = 50,60 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Стены с неоднородным конструктивным решением. В тех случаях, когда конструкции неоднородные (слои не располагаются параллельно, имеются теплопроводные включения и т.п.), при расчете R_0 определяется приведенное термическое сопротивление конструкции

$$R_k^r = (\tau_{siv} - \tau_{seav}) / q_{cal}, \quad (3.23)$$

где q_{cal} – расчетная величина теплового потока, определяемая как

$$t_{int} \qquad q_{cal} = \alpha_i(t_{int} - \tau_{siav}) = \alpha_e(\tau_{seav} - t_{ext}); \qquad (3.24)$$

τ_{siav} , τ_{seav} – средние температуры внутренней и наружной поверхности неоднородного ограждения, определяемые по данным расчета температурного поля или по результатам экспериментальных замеров температур на стенах эксплуатируемых зданий.

При экспериментальных исследованиях можно также непосредственно определять тепловой поток $q_{экс}$ и затем производить расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждения как

$$t_{int} \qquad R_0^r = (t_{int} - t_{ext})/q_{экс} . \qquad (3.25)$$

Методика определения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций на основе расчета температурных полей приведена в СП 23-101–2004 [22].

Стены с регулярной системой неоднородностей. Как показано в главе 1, в практике встречаются кирпичные стены, имеющие неоднородную конструкцию с регулярной системой неоднородностей: слои разных материалов располагаются перпендикулярно и параллельно друг другу (см. рис. 1.4 и 1.5). Для оценки теплозащитных качеств таких ограждений можно производить расчет приведенного сопротивления теплопередаче, используя методику, изложенную в [22].

1) Плоскостями, параллельными направлению теплового потока, стена (или ее часть) условно разрезается на участки, из которых одни могут быть однородными (однослойными) – из одного материала, а другие неоднородными – из слоев различных материалов, и определяется термическое сопротивление $R_{ат}$:

$$R_{ат} = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \dots + \frac{F_n}{R_n}}, \qquad (3.26)$$

где F_1, F_2, \dots, F_n – площади отдельных участков стены; R_1, R_2, \dots, R_n – термические сопротивления этих участков, определенные по формуле (3.21) – для однородных участков и по формуле (3.22) – для неоднородных участков.

2) Плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока стена (или часть ее, принятая для определения $R_{ат}$) условно разрезается на слои, из которых одни могут быть однородными – из

одного материала, а другие неоднородными – из однослойных участков разных материалов. Термическое сопротивление однородных слоев определяется по формуле (3.21), а неоднородных слоев по формуле (3.26) и термическое сопротивление стены R_T находится как сумма термических сопротивлений отдельных однородных и неоднородных слоев по формуле (3.22).

Приведенное термическое сопротивление стены определяется в конечном итоге по формуле

$$R_k^r = (R_{ат} + 2R_T)/3. \quad (3.27)$$

В тех случаях, если величина $R_{ат}$ превышает величину R_T более чем на 25 %, то приведенное термическое сопротивление R_k^r следует определять на основании расчета температурного поля.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены определяется как

$$R_0^r = \frac{1}{\alpha_i} + R_k^r + \frac{1}{\alpha_e}. \quad (3.28)$$

Пример 3.4. Найти сопротивление теплопередаче облегченной кирпичной стены, сложенной из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе с заполнением перлитобетоном (см. рис. 3.6). Стена оштукатурена с наружной стороны известково-песчаным раствором, с внутренней стороны – сложным раствором.

При обследовании конструкции стены и лабораторных испытаниях образцов установлены коэффициенты теплопроводности материалов: кладка – $\lambda_k = 0,81$ Вт/(м · °С); перлитобетон – $\lambda_{п} = 0,23$ Вт/(м · °С); известково-песчаный раствор – $\lambda_{из} = 0,81$ Вт/(м · °С); сложный раствор – $\lambda_{сл} = 0,87$ Вт/(м · °С).

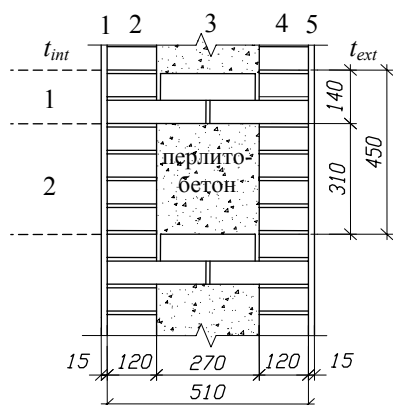


Рис. 3.6 Схема кирпичной стены облегченной кладки к приме-

Решение. Однородность материала стены нарушена как в параллельном, так и в перпендикулярном тепловому потоку направлениях. Кладка имеет регулярную систему, следовательно, расчет можно произвести по изложенной выше методике.

В качестве расчетной площади по поверхности стены берем шесть рядов кладки длиной 1 м, т.е. $F_{\text{расч}} = 0,45 \cdot 1 = 0,45 \text{ м}^2$. Это обусловлено тем, что структура стены не меняется по всей длине.

Чтобы определить приведенное термическое сопротивление стены выполняем вначале расчет сопротивлений $R_{\text{ат}}$ и $R_{\text{т}}$.

Разрезаем конструкцию плоскостями, параллельными направлению теплового потока, на два участка и по формуле (3.26) определяем

$$R_{\text{ат}} = \frac{\frac{F_1 + F_2}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2}}}{\frac{0,14 + 0,31}{\frac{0,14}{0,79} + \frac{0,31}{1,51}}} = 1,18 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

где $F_1 = 1 \cdot 0,14 = 0,14 \text{ м}^2$; $F_2 = 1 \cdot 0,31 = 0,31 \text{ м}^2$ – площади 1 м длины 1-го и 2-го участков; R_1 и R_2 – термические сопротивления 1-го и 2-го участков,

$$R_1 = \frac{\delta_{\text{из}}}{\lambda_{\text{из}}} + \frac{\delta_{\text{к}}}{\lambda_{\text{к}}} + \frac{\delta_{\text{с}}}{\lambda_{\text{с}}} = \frac{0,015}{0,81} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,015}{0,87} = 0,79 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_2 = \frac{\delta_{\text{из}}}{\lambda_{\text{из}}} + 2 \frac{\delta_{\text{к}}}{\lambda_{\text{к}}} + \frac{\delta_{\text{с}}}{\lambda_{\text{с}}} + \frac{\delta_{\text{п}}}{\lambda_{\text{п}}} = \frac{0,015}{0,81} + 2 \frac{0,12}{0,81} + \frac{0,015}{0,87} + \frac{0,27}{0,23} = 1,51 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Разрезаем конструкцию плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, на пять слоев. По формуле (3.21) определяем термические сопротивления однородных 1, 2, 4 и 5 слоев:

$$R_1 = \delta_{\text{из}}/\lambda_{\text{из}} = 0,015/0,81 = 0,018 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_2 = R_4 = \delta_{\text{к}}/\lambda_{\text{к}} = 0,12/0,81 = 0,148 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_5 = \delta_{\text{с}}/\lambda_{\text{с}} = 0,015/0,87 = 0,017 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Сопротивление неоднородного третьего слоя определяем по формуле (3.26):

$$R_3 = \frac{\frac{F_1 + F_2}{R'_3} + \frac{F_2}{R''_3}}{\frac{F_1}{R'_3} + \frac{F_2}{R''_3}} = \frac{0,14 + 0,31}{\frac{0,14}{0,31} + \frac{0,31}{1,17}} = 0,628 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

где $R'_3 = \delta_{\text{к}}/\lambda_{\text{к}} = 0,25/0,81 = 0,31 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ – термическое сопротивление части третьего слоя, состоящей из кирпичной кладки; $R''_3 = \delta_{\text{п}}/\lambda_{\text{п}} = 0,27/0,23 = 1,17 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ – термическое сопротивление части третьего слоя, состоящей из перлитобетона.

По формуле (3.22) определяем термическое сопротивление

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 =$$

$$= 0,018 + 0,148 + 0,628 + 0,148 + 0,017 = 0,960 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Так как $R_{ат} = 1,18 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ превышает $R_T = 0,96 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ на $23 < 25 \%$, расчет приведенного термического сопротивления можно выполнить по формуле (3.27), т.е.

$$R_k^r = (R_{ат} + 2R_T)/3 = (1,18 + 2 \cdot 0,96)/3 = 1,03 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче стены равно

$$R_0^r = \frac{1}{\alpha_i} + R_k^r + \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{8,7} + 1,03 + \frac{1}{23} = 1,19 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Здесь $\alpha_i = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, $\alpha_e = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ – значения коэффициентов теплоотдачи приняты стандартными по СНиП 23-02–2003 [19].

Поток тепловой энергии, проходящей через 1 м^2 поверхности стены с облегченной кладкой, при температуре $t_{int} = 20 \text{ °C}$ и наружной температуре $t_{ext} = -28 \text{ °C}$ составляет

$$q_0 = (t_{int} - t_{ext})/R_0^r = [20 - (-28)]/1,19 = 40,34 \text{ Вт/м}^2.$$

Сравнение потоков тепла q_0 , проходящих через стены, рассмотренные в примерах 3.3 и 3.4, показывает, что стена с облегченной кладкой при одинаковой толщине ее со стеной из сплошной кладки более эффективна по теплозащите. Тепловой поток $q_{0обл}$ на 25% меньше $q_{0спл}$.

Стены с кладкой из пустотелых кирпичей и камней. Достаточно часто в практике строительства мало- и среднеэтажных зданий стены устраиваются из различных пустотелых кирпичей и кам-

ней с большим количеством пустот (силикатные и керамические кирпичи и камни, мелкогазобетонные и шлакобетонные блоки и др.). Определение приведенного термического сопротивления стены путем разрезки стены плоскостями, параллельными и перпендикулярными направлению теплового потока, значительно усложняет расчет, так как в этих случаях получается большое количество участков по поверхности стены и слоев по ее толщине. Поэтому для упрощения обычных практических расчетов предварительно определяют средний коэффициент теплопроводности кирпича (камня, блока и т.п.), а затем рассматривают стену как сложенную из сплошных кирпичей (камней, блоков) с коэффициентом теплопроводности, равным среднему коэффициенту теплопроводности кирпича (камня, блока).

Пример 3.5. Найти сопротивление теплопередаче стены, сложенной из керамических камней со щелевидными сквозными пустотами, расположенными параллельно плоскости стены. При обследовании установлено, что стена имеет толщину кладки 400 мм и оштукатурена с двух сторон цементно-песчаным раствором толщиной 20 мм. Коэффициент теплопроводности массы камня – $\lambda_k = 0,81$ Вт/(м · °С), штукатурки – $\lambda_{шт} = 0,76$ Вт/(м · °С). Размеры камня даны на рис. 3.7.

Решение. Вначале определяем приведенное термическое сопротивление керамического камня. Так как камень имеет неоднородную регулярную структуру, расчет его термического сопротивления выполняем по методике, рассмотренной выше.

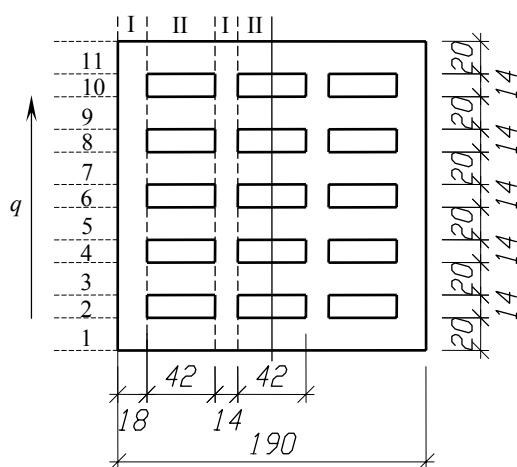


Рис. 3.7 Схема пустотелого керамического камня к при-

Камень симметричен относительно средней оси и, следовательно, расчет производим для одной его половины. Учитывая, что структура камня по высоте одинакова, в качестве расчетной площади принимаем половину ширины камня, т.е. 95 мм. Термические сопротивления воздушных прослоек, входящих в состав камня, принимаем в соответствии с данными табл. 3.5. При толщине прослоек 14 мм $R_{al} = 0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Расчет производим в следующей последовательности.

1 Условно разрезаем камень плоскостями, параллельными тепловому потоку (см. рис. 3.7). При этом получаем четыре участка. Так как первый и третий, второй и четвертый участки идентичны, объединяем их в расчете под одними номерами I и II. Вычисляем термическое сопротивление каждого участка.

I участок. Сплошная керамика: $F_I = (0,018 + 0,014)0,19 = 0,006 \text{ м}^2$; $R_I = 0,19/0,81 = 0,23 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

II участок. Керамика с пятью щелевидными пустотами:

$$F_{II} = (0,042 + 0,021) 0,19 = 0,012 \text{ м}^2;$$

$$R_{II} = (0,19 - 0,014 \cdot 5)/0,81 + 0,15 \cdot 5 = 0,881 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Термическое сопротивление камня при разрезке плоскостями, параллельными тепловому потоку, составит

$$R_{ат} = \frac{F_I + F_{II}}{\frac{F_I}{R_I} + \frac{F_{II}}{R_{II}}} = \frac{0,006 + 0,012}{\frac{0,006}{0,23} + \frac{0,012}{0,881}} = 0,454 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

2 Условно разрезаем панель плоскостями, перпендикулярными тепловому потоку (см. рис. 3.7).

Слои 1, 3, 5, 7, 9, 11 состоят из сплошной керамики. Сумма сопротивлений этих слоев будет $R_{1-11} = (0,02/0,81) \cdot 6 = 0,148 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, а расчетная площадь равна $F_{1-11} = 0,02 \cdot 0,095 \cdot 6 = 0,0114 \text{ м}^2$.

Слои 2, 4, 6, 8, 10 состоят из керамики и пустот. Термические сопротивления пяти воздушных прослоек равны $R_{al} = 0,15 \cdot 5 = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Площадь воздушных прослоек равна $F_{al} = 0,014(0,042 + 0,021) \cdot 5 = 0,0044 \text{ м}^2$. Термическое сопротивление слоев керамики $R_{кер} = (0,014/0,81) \cdot 5 = 0,086 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Площадь слоев керамики $F_{кер} = 0,014 \cdot 0,032 \cdot 5 = 0,0022$. Тогда термическое сопротивление слоев 2, 4, 6, 8, 10 составит

$$R_{2-10} = \frac{F_{al} + F_{кер}}{\frac{F_{al}}{R_{al}} + \frac{F_{кер}}{R_{кер}}} = \frac{0,0044 + 0,0022}{\frac{0,0044}{0,75} + \frac{0,0022}{0,086}} = 0,210 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Термическое сопротивление камня при разрезании плоскостями, перпендикулярными тепловому потоку, составит

$$R_T = R_{1-11} + R_{2-10} = 0,148 + 0,210 = 0,358 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Приведенное термическое сопротивление камня со щелевидными пустотами равно

$$R_k^r = (R_{ат} + 2R_T)/3 = (0,454 + 2 \cdot 0,358)/3 = 0,390 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Средний коэффициент теплопроводности камня равен

$$\lambda_{кav} = \delta_k / R_k^r = 0,19 / 0,39 = 0,490 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.$$

Тогда сопротивление теплопередаче стены будет равно

$$R_0^r = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{кл}}{\lambda_{кav}} + 2 \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} = \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,40}{0,49} + 2 \frac{0,02}{0,76} = 1,03 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Поток тепловой энергии, проходящей через 1 м^2 поверхности стены из керамических камней толщиной $0,40 \text{ м}$ при температуре $t_{int} = 20 \text{ °C}$ и наружной температуре $t_{ext} = -28 \text{ °C}$, составит

$$q_0 = (t_{int} - t_{ext}) / R_0^r = [20 - (-28)] / 1,03 = 46,60 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Из сравнения полученного значения q_0 с данными расчетов в примере 3.3 видно, что конструкция стены с пустотными керамическими камнями эффективнее по теплозащите, чем стена со сплошной кладкой из полнотелых кирпичей.

Стены с замкнутыми воздушными прослойками. В состав кирпичных стен иногда входят замкнутые воздушные прослойки. Так как воздух имеет достаточно низкое значение коэффициента

теплопроводности (при $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, $\lambda_{\text{в}} = 0,025 \text{ Вт/(м}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$), передача тепла в них в основном происходит за счет конвекции и излучения.

Величина термического сопротивления прослойки R_{al} зависит от ее толщины, места расположения в ограждении и направления теплового потока. Термическое сопротивление конструкции стены при наличии в ней с воздушной прослойки определяется как

$$R_k = \sum_{i=1}^n R_i + R_{al} . \quad (3.29)$$

Для практических расчетов, не требующих большой точности, можно пользоваться величинами термических сопротивлений воздушных прослоек, приведенными в справочной литературе, а также в ранее действующем СНиП II-3-79** [20]. Сведения о термических сопротивлениях воздушных прослоек с условиями теплопередачи, аналогичными условиям теплопередачи в замкнутых воздушных прослойках кирпичных стен, приведены в табл. 3.3.

3.3 Термическое сопротивление вертикальной замкнутой воздушной прослойки

Тем- пера- тура	Термическое сопротивление воздушной прослойки						
	$R_{al}, \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/Вт}$ при толщине прослойки, м						
возду- ха в про- слойке	0	0	0	0	0	0	0,20
	,	,	,	,	,	,	...0,3
	0	0	0	0	1	1	0
	1	2	3	5	0	5	
Поло- житель- ная	0	0	0	0	0	0	0,15
	,	,	,	,	,	,	
	1	1	1	1	1	1	
	3	4	4	4	5	5	
Отри- цатель- ная	0	0	0	0	0	0	0,19
	,	,	,	,	,	,	
	1	1	1	1	1	1	
	5	5	6	7	8	8	

Учитывая, что в практике современного строительства начинают находить применение разнообразные эффективные теплозащитные конструкции кирпичных стен, включающие в свой состав замкнутые воздушные прослойки различной формы и протяженности, вопросы оценки их термических сопротивлений рассмотрим более подробно.

Передача тепла в замкнутых воздушных прослойках происходит иначе, чем в твердых телах. Термическое сопротивление твердого слоя прямо пропорционально его толщине, и, следовательно, количество тепла, проходящего через него, при постоянной разности температур на поверхностях обратно пропорционально его толщине. В воздушной прослойке такой пропорциональности не имеется. Теплопередача в ней осуществляется не только теплопроводностью, но и конвекцией и излучением, и, соответственно, тепловой поток определяется как

$$q_{al} = q_T + q_k + q_l, \quad (3.30)$$

где q_T – поток тепла за счет теплопроводности, q_k и q_l – потоки за счет конвекции воздуха и излучения поверхностями прослойки.

Рассмотрим процесс передачи тепла в замкнутой воздушной прослойке (рис. 3.8) с температурами на поверхностях $\tau_1 > \tau_2$.

Передача тепла теплопроводностью воздуха описывается как

$$q_T = (\tau_1 - \tau_2)\lambda_T / \delta_{al}, \quad (3.31)$$

где λ_T – коэффициент теплопроводности неподвижного воздуха; δ_{al} – толщина прослойки.

Движение воздуха в прослойке имеет характер естественной конвекции. Схема движения воздуха показана на рис. 3.8. Конвективный тепловой поток при этом может быть описан как

$$q_k = (\tau_1 - \tau_2)\lambda_k / \delta_{al}, \quad (3.32)$$

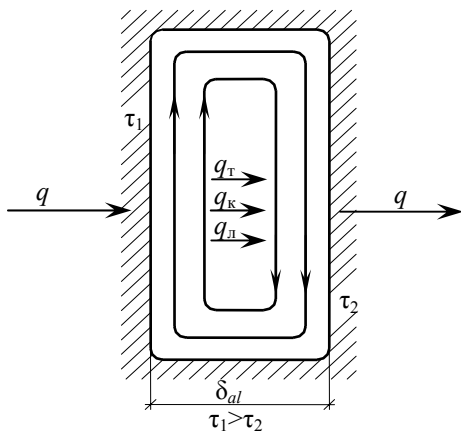


Рис. 3.8 Передача тепла в воздушной прослойке

где λ_k – условный коэффициент, называемый коэффициентом передачи тепла конвекцией [24].

Коэффициент λ_k зависит от толщины прослойки, температуры воздуха в ней, разности температур на поверхностях и расположения прослойки в ограждении. Коэффициент передачи тепла конвекцией возрастает с увеличением толщины прослойки.

Это объясняется тем, что в тонких прослойках восходящий и нисходящий потоки взаимно тормозятся и в очень тонких прослойках (<5 мм) величина λ_k стремится к нулю. С увеличением толщины прослойки, наоборот, конвекционные токи становятся более интенсивными, увеличивая λ_k . С увеличением разности температур на по-

верхностях величина λ_k также возрастает вследствие повышения интенсивности конвекционных потоков. Разделить величины λ_T и λ_k достаточно сложно, поэтому их значения обычно даются совместно. Значения величин $\lambda_T + \lambda_k$ по данным [24] приведены в табл. 3.4.

Поток тепла излучением в прослойках описывается выражением

$$q_{л} = (\tau_1 - \tau_2) \alpha_{л}, \quad (3.33)$$

где $\alpha_{л}$ – коэффициент отдачи тепла излучением.

Видно, что количество тепла, передаваемого излучением, не зависит от толщины прослойки.

Коэффициент $\alpha_{л}$ определяется по формуле (3.5), из которой видно, что $\alpha_{л}$ не является постоянной величиной, а зависит от коэффициентов излучения поверхностей, ограничивающих воздушную прослойку, и от разности четвертых степеней абсолютных температур этих поверхностей.

3.4 Значения величин $\lambda_T + \lambda_k$ при температуре воздуха θ °С для вертикальных воздушных прослоек в зависимости от толщины прослойки δ_{al} и разности температур на ее поверхностях

$$\tau_1 - \tau_2$$

$\tau_1 - \tau_2,$ °С	Значения $\lambda_T + \lambda_k$, увеличенные в 1000 раз, при δ_{al} в см									
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25
1	2	2	3	4	6	8	9	1	1	1
	3	4	4	9	3	1	3	1	4	6
								2	0	3
2	2	3	4	6	7	1	1	1	1	2

5	3	1	2	2	9	0	1	4	7	0
						4	7	0	4	6
5	2	3	5	7	9	1	1	1	2	2
	4	7	0	3	4	2	4	6	0	4
						3	1	6	7	1
1	2	4	5	8	1	1	1	1	2	2
0	6	4	9	7	1	4	6	9	4	9
					2	5	5	8	8	7
1	2	4	6	9	1	1	1	2	2	3
5	8	9	5	7	2	6	8	1	7	2
					3	0	4	9	4	1
2	3	5	7	1	1	1	1	2	2	3
0	0	2	1	0	3	7	9	3	9	4
				4	3	3	8	5	4	5
2	3	5	7	1	1	1	2	2	3	3
5	3	6	4	0	4	8	0	4	1	6
				9	1	3	9	9	7	5
3	3	5	7	1	1	1	2	2	3	3
0	4	8	8	1	4	9	2	6	2	8
				5	7	1	1	1	6	3

Согласно [24] для определения величины

$$K_T = \left[\left(\frac{\tau_1 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\tau_2 + 273}{100} \right)^4 \right] / (\tau_1 - \tau_2), \quad (3.34)$$

входящей в правую часть формулы (3.5) и называемой «температурным коэффициентом», достаточно знать среднюю температуру воздушной прослойки $(\tau_1 + \tau_2)/2$. Это возможно сделать для наружных ограждений. Ввиду малости диапазона температур, величина коэффициента может быть принята

не зависящей от значений τ_1 и τ_2 , а зависящей только от их средней величины. Значения температурного коэффициента формулы (3.5) для средних температур воздушной прослойки в диапазоне от +25 до -25 °С приведены по данным [24] в табл. 3.5.

Из табл. 3.5 видно, что значения температурного коэффициента K_T растут с увеличением средней температуры прослойки. Следовательно, ее теплозащитные свойства улучшаются по мере понижения средней температуры. т.е. в теплотехническом отношении прослойку выгоднее располагать ближе к наружной поверхности, где температуры в зимнее время более низкие.

Сложив значения потоков q_T, q_K, q_L , имеем

$$q_{al} = (\tau_1 - \tau_2)(\lambda_T + \lambda_K + \alpha_L \delta_{al}) / \delta_{al} .$$

3.5 Значения температурного коэффициента K_T в зависимости от средней температуры воздушной прослойки

Средняя температура воздушной прослойки $(\tau_1 + \tau_2)/2$	Температурный коэффициент
+25	1,06
+20	1,01
+15	0,96
+10	0,91
+5	0,86
+0	0,81
-5	0,77
-10	0,73
-15	0,69
-20	0,65
-25	0,61

Выражение $\lambda_T + \lambda_K + \alpha_L \delta_{al}$ можно рассматривать как коэффициент теплопроводности воздуха в прослойке, подчиняющийся законам передачи тепла через твердые тела. Этот суммарный коэффициент носит название эквивалентного коэффициента теплопроводности воздушной прослойки λ_3 [24]:

$$\lambda_3 = \lambda_T + \lambda_K + \alpha_L \delta_{al} . \quad (3.35)$$

Зная величину λ_3 , термическое сопротивление прослойки можно найти по формуле (3.19), как $R_{al} = \delta_{al} / \lambda_3$.

Следует иметь в виду, что формула (3.35) применима только для замкнутых воздушных прослоек, т.е. не имеющих сообщения с наружным или внутренним воздухом.

При сообщении с наружным воздухом прослойка становится вентилируемой. При проникновении холодного воздуха в прослойку ее термическое сопротивление не только может стать равным нулю, но и послужить причиной еще более значительного уменьшения сопротивления теплопередаче ограждения в целом.

Для определения величины $\lambda_T + \lambda_K$, входящей в формулу (3.35), необходимо знать температуры на поверхностях прослойки, которые в свою очередь зависят от термического сопротивления R_{al} , определяемого по величине λ_3 . Поэтому при оценке фактического R_{al} существующих конструкций сведения о температурах получают экспериментально. При расчетах новых конструкций температурами задаются предварительно и по ним определяют λ_3 , R_{al} и R_0 . Затем по значениям сопротивлений R_0 и R_{al} находят температуры в ограждении на границах прослойки (расчет температур в ограждении рассмотрен ниже) и уточняют λ_3 . Если вновь полученная величина λ_3 оказывается близкой к первоначально принятой, расчет считается законченным, в противном случае делается пересчет.

Пример 3.6. Оценить термическое сопротивление невентилируемой воздушной прослойки, размещаемой в кирпичной стене. Температуры на стенках прослойки по результатам измерений составляют

$\tau_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\tau_2 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Толщина прослойки равна 5 см.

Решение. Вычисляем коэффициент α_L . Расчет производим по формуле (3.5). Вначале находим среднюю температуру прослойки $(\tau_1 + \tau_2)/2 = (10 + 5)/2 = 7,5 \text{ }^\circ\text{C}$. По табл. 3.5 при средней температуре прослойки $7,5 \text{ }^\circ\text{C}$ определяем температурный коэффициент K_T . Он равен $K_T = 0,89$. Определяем приведенный коэффициент излучения поверхности по формуле $C_{пр} = 1/(1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_0) = 1/(1/5,37 + 1/5,37 + 1/5,77) = 5,02$. Здесь коэффициенты C_1 и C_2 приняты по табл. 3.1 для кладки из красного кирпича. Вычисляем по формуле (3.5) коэффициент $\alpha_L = 5,02 \cdot 0,89 = 4,47 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$.

По разности температур $\tau_1 - \tau_2 = 10 - 5 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ по табл. 3.4 для толщины прослойки 5 см находим величину $\lambda_T + \lambda_K = 0,073 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$.

По формуле (3.35) определяем эквивалентный коэффициент теплопроводности прослойки:

$$\lambda_3 = 0,073 + 4,47 \cdot 0,05 = 0,30 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$$

Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки составляет

$$R_{al} = \delta_{al} / \lambda_3 = 0,05 / 0,30 = 0,17 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Количество тепла, проходящего через прослойку составляет

$$q_{al} = (\tau_1 - \tau_2) / R_{al} = (10 - 5) / 0,17 = 29,4 \text{ Вт/м}^2.$$

Анализ формул (3.30) – (3.35) и данных табл. 3.5 – 3.7 показывает следующее:

– воздушная прослойка с точки зрения теплозащиты является более эффективной, если ее располагать ближе к наружной поверхности, т.е. в зоне более низких температур;

– увеличение толщины воздушной прослойки мало влияет на уменьшение количества тепла, проходящего через прослойку. Это связано с тем, что основная доля тепла в прослойке передается излучением, на процессы которого не влияет расстояние между стенками прослойки;

– уменьшение количества тепла, проходящего через прослойку, можно достичь путем повышения коэффициента излучения поверхности стенок прослойки. В практике это делается за счет оклейки поверхности стенки алюминиевой фольгой [24];

– при росте толщины прослойки могут наступить условия, когда величина λ_3 может оказаться выше коэффициента λ_{yt} утеплителя, который возможно расположить в прослойке. В этих случаях прослойку следует заполнять теплоизолирующими материалами. Например, в примере 3.6 при заполнении прослойки пенопластом с $\lambda_{п} = 0,041 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ термическое сопротивление составит $R_{п} = 0,05 / 0,041 = 1,22 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} \gg R_{al} = 0,17 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

В целом результаты анализа показывают, что устройство в кирпичных стенах замкнутых воздушных прослоек не эффективно с точки зрения теплозащиты и экономически нецелесообразно.

3.4 Распределение температур в стенах

При оценке теплозащитных качеств наружных стен необходимо знать температуру на внутренней поверхности стены, а также распределение температур внутри нее при заданных значениях температур воздуха с двух сторон ограждения. Особое значение для теплотехнической оценки стен имеет температура внутренней поверхности. Она определяет возможность образования конденсата на стенах, а также количество теряемой человеком тепловой энергии за счет излучения ее на наружные стены. Распределение температур в стене необходимо знать также при расчетах ее влажностного режима. Сведения о температурах на поверхностях и внутри ограждений позволяют судить о средних коэффициентах теплопроводности отдельных слоев и стены в целом.

Определение температуры на внутренней поверхности производится по формуле

$$t_{si} = t_{int} - n(t_{int} - t_{ext}) / (\alpha_i R_0), \quad (3.36)$$

а температура наружной поверхности определяется как

$$t_{se} = t_{int} - \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{R_0} \left(\frac{1}{\alpha_i} + R_k \right), \quad (3.37)$$

где R_k – термическое сопротивление конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; t_{int} , t_{ext} – температуры внутреннего и наружного воздуха, °C ; n – коэффициент, характеризующий положение наружной поверхности стены по отношению к наружному воздуху (для стен согласно СНиП 23-02–2003 он равен $n = 1$); R_0 – сопротивление теплопередаче стены, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, определяемое по формуле (3.20); α_i – коэффициент теплопередачи внутренней поверхности стены, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Расчет температуры в любой плоскости внутри однородного ограждения выполняется по формуле

$$t_x = t_{int} - \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{R_0} \left(\frac{1}{\alpha_i} + \sum R_x \right), \quad (3.38)$$

где $\sum R_x$ – сумма термических сопротивлений части конструкции от внутренней поверхности ограждения до рассматриваемого сечения x .

Расчеты по формулам (3.36) – (3.38) справедливы для плоских однородных участков стены при направлении теплового потока перпендикулярно к поверхности ограждения. В этом случае линии, соединяющие точки с одинаковыми значениями температур (изотермы), располагаются параллельно поверхности стены. Изменение температур происходит только в одном направлении и температурное поле (распределение температур) стены является одномерным. На участках стен, имеющих углы, выступы, ниши, проемы, теплопроводные включения (например, опирание железобетонных балок или плит на наружную стену) и т.п., температурные поля могут быть двух- и трехмерными (см. рис. 3.9). Распределение температур в этом случае определяется на основе расчета температурных полей. Расчет можно производить на ПЭВМ по специально разработанным программам.

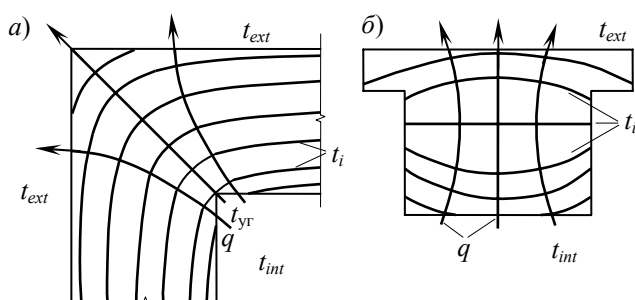


РИС. 3.9 СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ДВУМЕРНЫХ ПОЛЕЙ.

Пример 3.7. Найти характер распределения температур в кирпичной стене из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе плотностью 1800 кг/м^3 ($\lambda_k = 0,81 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$) с внутренним отделочным слоем толщиной 20 мм из сложного раствора плотностью 1700 кг/м^3 ($\lambda_{шт} = 0,87 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$) (рис. 3.10). Толщина кладки 510 мм . Место строительства – г. Тамбов. Температура воздуха: внутреннего
 $t_{int} = 18 \text{ °C}$, наружного $t_{ext} = -28 \text{ °C}$. Определить температуру в плоскости, расположенной на расстоянии 270 мм от ее внутренней грани.

Решение. Вычисляем термические сопротивления слоя кладки толщиной 510 мм – R_k , слоя кладки толщиной 250 мм – R'_k и отделочного слоя – $R_{шт}$.

Имеем $R_k = 0,51/0,81 = 0,630 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$

$$R'_k = 0,25/0,81 = 0,308 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

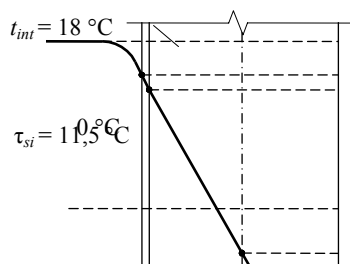
$$R_{шт} = 0,02/0,87 = 0,023 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Находим сопротивление теплопередаче всего ограждения

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_i} + R_{шт} + R_k + \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{8,7} + 0,02 + 0,63 + \frac{1}{23} = 0,81 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Вычисляем по формуле (3.36) температуру на внутренней поверхности ограждения

$$\tau_{si} = 18 - \frac{18 - (-28)}{8,7} \cdot 0,81 = 11,5 \text{ °C}.$$



$$\tau_1 = 10,05 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\tau_2 = -5,09 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\tau_{se} = -25,7 \text{ }^\circ\text{C} \quad t_{ext} = -28 \text{ }^\circ\text{C}$$

Рис. 3.10 Схема распределения температур в кирпичной стене к примеру 3.7

Определяем по формуле (3.38) температуры в толще стены:

– на границе между отделочным слоем и кирпичной кладкой имеем

$$\tau_1 = 18 - \frac{1(18 - (-28))}{0,81} \left(\frac{1}{8,7} + 0,02 \right) = 10,05 \text{ }^\circ\text{C};$$

– на расстоянии 270 мм от внутренней поверхности стены

$$\tau_2 = 18 - \frac{1(18 - (-28))}{0,81} \left(\frac{1}{8,7} + 0,02 + 0,31 \right) = -5,09 \text{ }^\circ\text{C};$$

– на наружной поверхности стены

$$\tau_{se} = 18 - \frac{1(18 - (-28))}{0,81} \left(\frac{1}{8,7} + 0,02 + 0,63 \right) = -25,73 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Пример 3.8. Найти распределение температур в стене и на плите перекрытия в месте опирания плиты перекрытия на наружную стену. Место расположения здания – г. Иркутск. Стена выполнена из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе плотностью 1800 кг/м^3 . Стена оштукатурена с двух сторон цементно-песчаным раствором плотностью 1800 кг/м^3 . Толщина кирпичной кладки 510 мм , толщина штукатурки 20 мм . Плита перекрытия выполнена из железобетона толщиной 160 мм . Плита опирается на стены на глубину 200 мм . Согласно данным обследования температура внутреннего воздуха $t_{int} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха $\varphi_{int} = 55 \text{ } \%$. Схема участка стены дана на рис. 3.11.

Решение. Так как обследуемый участок стены неоднородный (плита перекрытия является теплопроводным включением), температурное поле на этом участке будет двухмерным.

Расчет поля производим на ПЭВМ по программе «ТЕРЛО.BAS», разработанной в ТГТУ. При решении использованы следующие данные: температура наружного воздуха $t_{ext} = -37 \text{ } ^\circ\text{C}$; коэффициенты теплообмена на поверхностях $\alpha_i = 8,7 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$, $\alpha_e = 23 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$; коэффициенты теплопроводности кладки и штукатурки $\lambda_{кл} = 0,76 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$, $\lambda_{шт} = 0,76 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$; коэффициент теплопроводности железобетонной плиты $\lambda_{ж} = 2,04 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$.

Распределение температур на исследуемом участке стены по данным расчетов на ПЭВМ приведено на рис. 3.11.

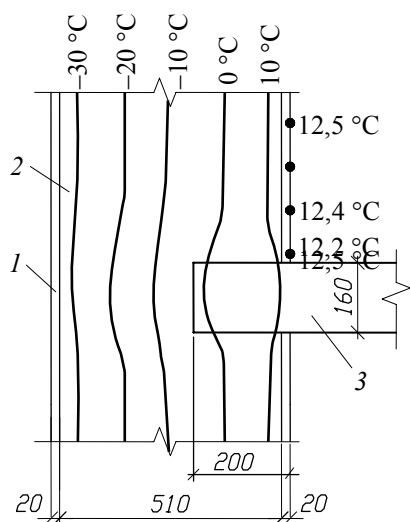


Рис. 3.11 Распределение температур в месте опирания железобетонной плиты на кирпичную стену к примеру 3.8:

1 – цементно-песчаный раствор;
2 – кирпичная кладка; 3 – железобетонная плита перекрытия

Видно, что наличие железобетона внутри кирпичной кладки приводит к искажению температурного поля в месте опирания. Однако, из-за незначительной толщины плиты и малой по сравнению с толщиной стены глубиной опирания плиты, понижение температур на поверхностях плиты и стены вблизи опирания в сравнении с температурами на остальной глади незначительно. Следовательно, такое решение опирания плит на кирпичные стены, принятое исходя из условий прочности, допустимо также и по теплотехническим требованиям.

Пример 3.9. Установить среднее значение коэффициента теплопроводности материала наружной стены, если по результатам замеров $t_{int} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau_{si} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{ext} = -20 \text{ }^\circ\text{C}$. Толщина стены 0,41 м.

Решение. Используя формулу (3.36), определяем сопротивление теплопередаче стены. Имеем

$$R_0 = \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{(t_{int} - \tau_{si})\alpha_i} = \frac{1(16 - (-20))}{(16 - 10) \cdot 7,4} = 0,81 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Здесь значение α_i принято по графикам рис. 3.2 при $\Delta t = 16 - 10 = 6 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_{av} = (16 + 10)/2 = 13 \text{ }^\circ\text{C}$. Имеем $\alpha_i = \alpha_{ик} + \alpha_{ил} = 2,8 + 4,6 = 7,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$. Коэффициент α_e принимаем равным $\alpha_e = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$.

Зная, что $R_0 = \frac{1}{\alpha_i} + R_k + \frac{1}{\alpha_e} = 0,81 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$, вычисляем термическое сопротивление ограждения как

$$R_k = R_0 - \frac{1}{\alpha_i} - \frac{1}{\alpha_e} = 0,81 - \frac{1}{7,4} - \frac{1}{23} = 0,63 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Находим средний коэффициент теплопроводности материала стены

$$\lambda_{av} = \frac{\delta}{R_k} = \frac{0,41}{0,63} = 0,65 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}).$$

3.5 Оценка температуры внутренней поверхности кирпичных стен в местах расположения теплопроводных включений

Достаточно часто в эксплуатируемых кирпичных стенах встречаются включения из материалов с большей теплопроводностью, чем материал кладки. Из-за повышенной теплопроводности включений температуры внутренней поверхности на этих участках стен оказываются ниже, чем на остальной их глади. Такое понижение температуры (при определенных условиях) может приводить к образованию конденсата на поверхностях. Выпадение конденсата на участках с теплопроводными включениями наблюдается при понижениях температур наружного или внутреннего воздуха или при повышении влажности воздуха помещения.

Теплопроводные включения могут быть выполнены из металлических или железобетонных элементов и имеют разные конструктивные решения. Основные схемы теплопроводных включений приведены на рис. 3.12.

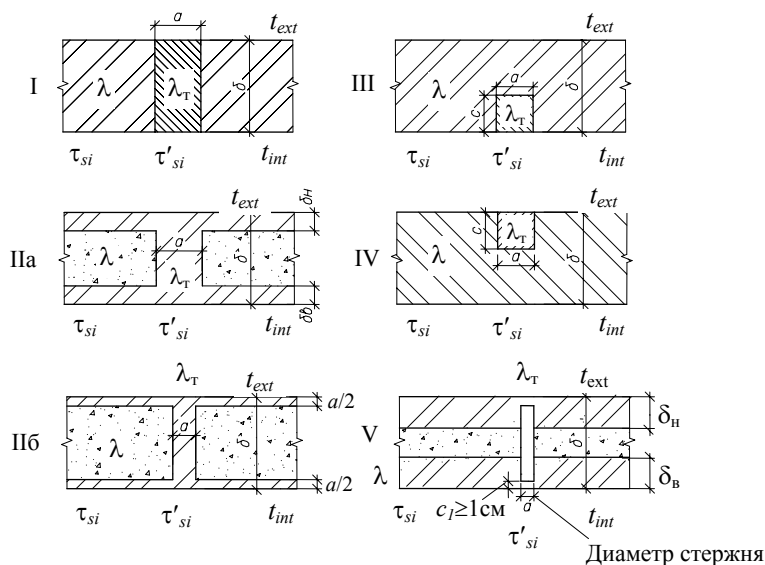


РИС. 3.12 СХЕМА ТЕПЛОПРОВОДНЫХ

Для оценки возможности выпадения конденсата в местах теплопроводных включений и разработки мер по его исключению необходимо определять температуру поверхностей на этих участках.

Температуру внутренней поверхности в местах размещения теплопроводных включений, схемы которых приведены на рис. 3.12, можно определить по формулам СП 23-101–2004 [22]:

– для неметаллических теплопроводных включений (железобетонных колонн, плит, балок, поясов, армошвов и др.)

$$t_{si} = t_{int} - \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{R_0^{con} \alpha_i} \left[1 + \eta \left(\frac{R_0^{con}}{R_0'} - 1 \right) \right]; \quad (3.39)$$

– для металлических теплопроводных включений (металлических колонн, элементов связей, балок и др.)

$$t_{si} = t_{int} - \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{R_0^{con} \alpha_i} \cdot (1 + \xi R_0^{con} \alpha_i), \quad (3.40)$$

где, R_0' , R_0^{con} – сопротивления теплопередаче по сечению ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, соответственно в местах теплопроводных включений и вне этих мест, определяемые по формуле (3.20); η , ξ – коэффициенты, принимаемые согласно СНиП II-3-79* [20] по табл. 3.6 и 3.7; n , t_{int} , t_{ext} , α_i – то же, что и в формуле (3.36).

Чаще всего в конструкциях кирпичных стен встречаются включения, соответствующие III и IV схемам рис. 3.12. В эксплуатируемых кирпичных зданиях к таким включениям относятся устраиваемые при реконструкции и ремонтах железобетонные пояса усиления. К схеме I в кирпичных зданиях относятся участки с армированными швами, устраиваемыми во время нового строительства или при последующей надстройке здания. Схема II встречается в кирпичных стенах с термовкладышами и засыпками (см. главу 1).

Анализ формулы (3.39) показывает, что величина температуры t_{si} зависит от размеров и места расположения включения. Например, расположение железобетонного пояса с наружной стороны стены

0,25	,	,	,	,	,	,	,	,	,
0,50	1	2	4	5	6	7	8	9	
0,75	6	8	5	7	6	4	7	5	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	,	,	,	,	,	,	,	,	,
	2	3	5	6	7	8	9	9	
	3	9	7	0	7	3	1	5	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	,	,	,	,	,	,	,	,	,
	2	4	6	7	8	8	9	9	
	9	7	7	8	4	8	3	5	

Примечания: 1 Для промежуточных значений a/δ коэффициент η следует определять интерполяцией.

2 При $a/\delta > 2,0$ следует принимать $\eta = 1$.

3 Для параллельных теплопроводных включений типа Па табличное значение коэффициента η следует принимать с поправочным множителем $1 + e^{-5L}$ (где L – расстояние между включениями, м).

При размещении пояса с внутренней стороны стены (схема III) понижение температуры будет более резким, но достаточно ограниченным по поверхности. Последнее относится и к сквозному включению (схема I), например, при устройстве армошва.

Таким образом, при выборе конструкции теплопроводного включения необходимо учитывать размеры и место его расположения.

3.7 Значения коэффициента ξ

Схема теплопровода ного включения по рис. 3.12		Коэффициент ξ при $a\lambda_T/\delta\lambda$								
		0,25	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	20,0	50,0	150,0
I		0,10	0,16	0,22	0,30	0,38	0,43	0,45	0,48	0,50
		5	0	7	4	7	0	6	5	3
Пб		–	–	–	0,15	0,20	0,25	0,30	0,36	0,43
					6	6	7	7	9	6
III	При c/δ	0,06	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10
	0,25	1	5	5	1	6	0	1	1	2
	0,50	0,08	0,11	0,14	0,16	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18
	0,75	4	2	0	0	8	4	6	7	8
		0,10	0,14	0,18	0,22	0,26	0,27	0,29	0,29	0,29
		6	2	9	7	7	8	1	2	3
IV	При c/δ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,25	2	2	3	3	3	4	4	5	5
	0,50	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
	0,75	6	8	1	2	4	7	9	1	2
		0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07
		3	2	3	5	8	3	6	1	3
V	При δ_B/δ_H	0,00	0,02	0,05	0,14	–	–	–	–	–

0,75	7	1	5	7	–	–	–	–	–
1,00	0,00	0,01	0,04	0,12	–	–	–	–	–
2,00	6	7	7	7					
	0,00	0,01	0,03	0,09					
	3	1	2	8					

Примечания: 1 Для промежуточных значений

$\alpha_{\lambda T} / \delta \lambda$ коэффициент ξ следует определять интерполяцией.

2 Для теплопроводного включения типа V при наличии плотного контакта между гибкими связями и арматурой (сварка и скрутка вязальной проволокой) в формуле (3.40) вместо R_0^{cop} следует принимать R_0^r .

Пример 3.10. При реконструкции кирпичного здания памятника истории и культуры Тамбовской области «Доходный дом купца Никонова» нами был разработан проект и произведены работы по усилению наружных стен путем устройства в них железобетонных монолитных поясов. Толщина наружной стены, сложенной из глиняного обыкновенного кирпича на известковом растворе, составляет по результатам обмеров 0,80 м. С внутренней и наружной стороны стена оштукатурена известково-цементным раствором толщиной 0,03 м. Железобетонный пояс имеет размеры 0,25 × 0,30 м и располагается с внутренней стороны стены. Температура внутри помещения в зимний период эксплуатации составляет $t_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха равна $\phi_{int} = 60 \text{ } \%$. Расчетная температура наружного воздуха в зимний период для наиболее холодной пятидневки в г. Тамбове составляет $t_{ext} = -28 \text{ }^\circ\text{C}$. Коэффициенты теплопередачи на поверхностях стены равны $\alpha_i = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ и $\alpha_e = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$. Необходимо определить величину понижения температуры на поверхности стены в месте расположения железобетонного пояса. Схемы стены к расчету τ'_{si} приведены на рис. 3.13.

Решение. Определяем коэффициенты теплопроводности материалов конструкции. Для этого находим условия эксплуатации стены. Так как влажность и температура воздуха помещения равны $\varphi_{int} = 60\%$, $t_{int} = 20\text{ }^\circ\text{C}$, влажностный режим помещения *нормальный* (см. табл. 2.2). Зона влажности территории согласно карте зон влажности (см. прилож. В [19]) – *сухая*. Следовательно, условия эксплуатации стены соответствуют условиям вида А (см. табл. 2.3). По табл. Е.1 прил. Е СП 23-101–2004 [22] находим, что коэффициенты теплопроводности составляют: для кладки $\lambda_{кл} = 0,70\text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; для штукатурки – $\lambda_{шт} = 0,70\text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; для железобетона – $\lambda_{жб} = 1,92\text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

Определим вначале температуру поверхности стены при расположении пояса с внутренней стороны (см. рис. 3.13, а). Так как пояс выполнен неметаллическим, расчет величины τ'_{si} производим по формуле (3.39). Вначале вычисляем сопротивления теплопередаче R_0^{cop} и R'_0 . Имеем

$$R_0^{cop} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{кл}}{\lambda_{кл}} + 2 \cdot \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} + \frac{1}{23} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,80}{0,70} + 2 \cdot \frac{0,03}{0,70} + \frac{1}{23} = 1,39 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}};$$

Рис. 3.13 Схемы к расчету температуры внутренней поверхности стены при устройстве в ней железобетонного пояса:
 а – при расположении пояса с внутренней стороны стены;
 б – то же с наружной стороны стены

$$R'_0 = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_{кл}}{\lambda_{кл}} + 2 \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} + \frac{\delta_{жб}}{\lambda_{жб}} + \frac{1}{\alpha_e} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{0,50}{0,70} + 2 \cdot \frac{3}{0,10} + \frac{0,30}{1,92} + \frac{1}{23} = 1,11 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$$

Коэффициент η в формуле (3.39) находим по табл. 3.6 для схемы III при соотношениях $a/\delta = 0,25/0,86 = 0,29$ и $c/\delta = 0,30/0,86 = 0,35$. По интерполяции из табл. 3.6 имеем $\eta = 2,66$. Тогда

$$\tau'_{si} = 20 - \frac{1 \cdot (20 - (-28))}{1,39 \cdot 8,7} \left[1 + 2,66 \left(\frac{1,39}{1,11} - 1 \right) \right] = 13,36 \text{ °С.}$$

Определяем температуру поверхности стены τ'_{si} вне места расположения теплопроводного включения, используя формулу (3.36). Имеем

$$\tau_{si} = 20 - \frac{1 \cdot (20 - (-28))}{1,39 \cdot 8,7} = 16,03 \text{ °С.}$$

Температура в месте расположения железобетонного шва $\tau'_{si} = 13,36 \text{ °С}$ ниже температуры остальной глады стены $\tau_{si} = 16,03 \text{ °С}$ на $2,67 \text{ °С}$.

Размещение пояса с внутренней стороны стены было принято по конструктивным соображениям, исходя из удобств устройства пояса. Рассмотрим также вариант размещения пояса с наружной стороны стены. Схема стены к расчету приведена на рис. 3.13, б.

Расчет выполняем по формуле (3.39). В данном случае изменения имеет только коэффициент η . Его находим по интерполяции по табл. 3.6 для схемы IV при соотношениях $a/\delta = 0,25/0,86 = 0,29$ и $c/\delta = 0,30/0,86 = 0,35$. Имеем $\eta = 0,40$. Тогда

$$\tau'_{si} = 20 - \frac{1 \cdot (20 - (-28))}{1,39 \cdot 8,7} \left[1 + 0,40 \cdot \left(\frac{1,39}{1,11} - 1 \right) \right] = 15,63 \text{ °С.}$$

Видно, что в этом случае понижение температуры в месте расположения пояса значительно меньше, чем при расположении его с внутренней стороны стены. Понижение температуры составляет всего лишь $(16,03 - 15,63) = 0,40 \text{ °С}$.

Пример 3.11. Определить понижение температуры на внутренней поверхности стены в месте расположения армированного бетонного шва, устраиваемого при надстройке здания в г. Тамбове. Стена сложена из глиняного обыкновенного кирпича на известковом растворе. Толщина кладки $0,64 \text{ м}$. Стена оштукатурена с двух сторон известково-цементным раствором с толщиной штукатурки $0,03 \text{ м}$. Шов выполнен из бетона на мелком гранитном заполнителе толщиной $0,08 \text{ м}$.

Остальные данные аналогичны данным примера 3.10. Схема стены к расчету приведена на рис. 3.14.

Решение. Коэффициенты теплопроводности материалов кладки и шва имеют такие же значения, как и в примере 3.10.

Так как армошов является сквозным и выполнен из неметаллических материалов, расчет производим по формуле (3.39). Вначале вычисляем сопротивления теплопередаче $R_0^{\text{сop}}$ и R'_0 . Имеем

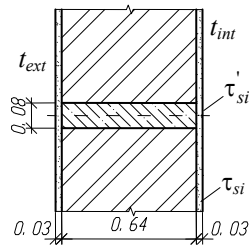


Рис. 3.14 Схема к расчету температуры внутренней поверхности стены в месте расположения армированного бетонного шва

$$R_0^{\text{сop}} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_{\text{кл}}}{\lambda_{\text{кл}}} + 2 \cdot \frac{\delta_{\text{шт}}}{\lambda_{\text{шт}}} + \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,64}{0,70} + 2 \cdot \frac{0,03}{0,70} + \frac{1}{23} = 1,16 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}};$$

$$R'_0 = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_{\text{а.ш}}}{\lambda_{\text{а.ш}}} + 2 \cdot \frac{\delta_{\text{шт}}}{\lambda_{\text{шт}}} + \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,64}{1,92} + 2 \cdot \frac{0,03}{0,70} + \frac{1}{23} = 0,58 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

Коэффициент η в формуле (3.39) находим по табл. 3.6 для схемы I при соотношении $a/\delta = 0,08/0,70 = 0,11$. По интерполяции из табл. 3.6 имеем $\eta = 0,54$.

Тогда

$$\tau'_{si} = 20 - \frac{1 \cdot (20 - (-28))}{1,16 \cdot 8,7} \left[1 + 0,54 \left(\frac{1,16}{0,58} - 1 \right) \right] = 12,49 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определяем температуру поверхности стены τ_{si} вне места расположения теплопроводного включения, используя формулу (3.36). Имеем

$$\tau_{si} = 20 - \frac{1 \cdot (20 - (-28))}{1,16 \cdot 8,7} = 15,24 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура в месте расположения армированного бетонного шва $\tau'_{si} = 12,49 \text{ } ^\circ\text{C}$ ниже температуры остальной глади стены $\tau_{si} = 15,24 \text{ } ^\circ\text{C}$ на $2,75 \text{ } ^\circ\text{C}$.

3.6 Нормирование теплозащитных качеств стен

Как видно из рассмотренного выше, теплозащитные качества стен с точки зрения расхода тепловой энергии определяются величиной теплового потока, проходящего через ограждения, или обратной ему величиной сопротивления теплопередаче [см. формулу (3.16)]. Санитарно-гигиенические условия в помещениях в зимний период во многом зависят от температуры внутренней поверхности наружной стены. Температура поверхности должна ограничиваться из условия минимальной отдачи тепла от тела человека наружной стене, а также из условия невыпадения конденсата на поверхности ограждения.

В этой связи в СНиП 23-02–2003 [19] для зданий установлены три нормируемых показателя тепловой защиты:

- приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания, в том числе и наружных стен;
- санитарно-гигиенический показатель, определяющий перепад между температурой внутреннего воздуха и температурами поверхностей ограждающих конструкций, в том числе и стен;
- удельный расход тепловой энергии на отопление здания, позволяющий варьировать величинами теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий, в том числе и стен.

Для обеспечения наружными стенами первого показателя необходимо, чтобы приведенное сопротивление теплопередаче стены R'_0 , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, было согласно [20] не менее нормируемого значения R_{req} , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, т.е.

$$R'_0 \geq R_{req}. \quad (3.41)$$

Значения нормируемого сопротивления теплопередаче R_{req} определяются по СНиП 23-02–2003 [19] в зависимости от градусо-суток района строительства $D_d, °C \cdot \text{сут.}$

Градусо-сутки отопительного периода $D_d, °C \cdot \text{сут.}$, вычисляются по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht})z_{ht}, \quad (3.42)$$

где t_{int} – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, $°C$, принимаемая для жилых, лечебно-профилактических и детских учреждений, школ, интернатов, гостиниц и общежитий по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494 (в интервале 20...22 $°C$), для других общественных зданий согласно классификации помещений и минимальных значений оптимальной температуры по ГОСТ 30494 (в интервале 16...21 $°C$); t_{ht}, z_{ht} – средняя температура наружного воздуха, $°C$, и продолжительность, сут., отопительного периода, принимаемые по СНиП 23-01–99* [21] для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 10 $°C$ – при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых и не более 8 $°C$ – в остальных случаях.

Следует иметь в виду, что приведенное сопротивление теплопередаче $R_0^r, м^2 \cdot °C / \text{Вт}$, для наружных стен необходимо рассчитывать для фасада здания в целом либо для одного промежуточного этажа с учетом откосов проемов без заполнений окон. Методики расчетов R_0^r приведены в СП 23-101–2004 [22].

Для обеспечения наружными стенами второго, санитарно-гигиенического, показателя необходимо, чтобы расчетный температурный перепад $\Delta t_0, °C$, между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности стены не превышал нормируемой величины $\Delta t_n, °C$, установленной в СНиП 23-02–2003 [19].

Нормативная величина Δt_n для наружных стен жилых, лечебно-профилактических и детских учреждений, школ, интернатов равна 4 $°C$, для других общественных зданий она составляет величину 4,5 $°C$.

Расчетный температурный перепад Δt_0 определяется по формуле

$$\Delta t_0 = \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{R_0^r \alpha_i}, \quad (3.43)$$

где n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности по отношению к наружному воздуху (для наружных стен его величина равна 1); α_i – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены, принимаемый для гладких стен равным 8,7 $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot °C)$; R_0^r – приведенное сопротивление стены, $\text{м}^2 \cdot °C / \text{Вт}$; t_{int} – то же, что и в формуле (3.42); t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, принимаемая по СНиП 23-01–99* [21] равной средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92.

Для обеспечения третьего показателя, отвечающего условиям энергосбережения, необходимо, чтобы удельный расход тепловой энергии на отопление здания, отнесенный к 1 м^2 площади или к 1 м^3 объема здания, $q_h^{des}, \text{кДж} / (\text{м}^2 \cdot °C \cdot \text{сут.})$ или $\text{кДж} / (\text{м}^3 \cdot °C \cdot \text{сут.})$, должен быть меньше или равен нормируемому значению q_h^{req} , т.е.

$$q_h^{des} \leq q_h^{req} . \quad (3.44)$$

Значения q_h^{req} устанавливаются СНиП 23-02–2003 [19] для разных видов зданий в зависимости от их назначения и этажности. Значения q_h^{des} рассчитываются по методике, изложенной в [19].

Требования теплозащиты для гражданских зданий считаются выполненными, если одновременно соблюдаются требуемые условия по первому и второму показателям или по второму и третьему показателям при соблюдении определенной величины первого показателя.

Достижение третьего показателя без значительного повышения приведенного сопротивления теплопередаче ограждений может быть обеспечено за счет выбора рациональных объемно-планировочных решений и соответствующих систем поддержания микроклимата. Выбор оптимальных по теплозащите объемно-планировочных решений возможен только при проектировании новых зданий. Поэтому для эксплуатируемых зданий, у которых наружные ограждения запроектированы по ранее действующим нормам теплозащиты, как правило, необходимо обеспечивать соблюдение нормативных требований в основном по первому и второму показателям.

Следует отметить, что если выполняется условие (3.44), то величина R_0^r для стен может быть снижена до величин R_{min} , определяемых как

$$R_{min} = 0,63R_{req} . \quad (3.45)$$

Расход тепловой энергии зависит от компактности здания, характеризуемой показателем компактности как

$$K_e^{des} = A_e^{sum} / V_h , \quad (3.46)$$

где A_e^{sum} – общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, м²; V_h – отапливаемый объем здания, ограниченный внутренними поверхностями наружных ограждений, м³.

Величина K_e^{des} не должна превышать значений, нормируемых СНиП 23-02–2003 [19].

Кроме рассмотренных выше трех нормируемых показателей к стенам согласно СНиП 23-02–2003 [19] предъявляется также требование по температурам внутренней поверхности стены в зоне теплопроводных включений (места опирания железобетонных плит, ригелей, жестких связей облегченной кладки и т.п.), на углах и оконных откосах. Эти температуры должны быть не ниже температуры точки росы t_d , °С, внутреннего воздуха при расчетной температуре наружного воздуха за холодный период года.

Температуры поверхностей в углах, на откосах, в местах теплопроводных включений следует определять на основании расчета температурных полей (см. параграф 3.4) или по приближенным методикам, данным, например, в СП 23-101–2004 [22] (см. параграф 3.5).

Расчет температуры точки росы подробно рассмотрен в главе 4.

Рассмотренные выше нормативные показатели теплозащиты стен в полном объеме введены в практику проектирования и строительства с 2003 г. До этого времени теплотехнические параметры стен устанавливались в соответствии с действующими в тот период нормами проектирования теплозащиты (например, СНиП II-В.3 «Строительная теплотехника», действующим до 1962 г., СНиП II-А.7–62 «Строительная теплотехника. Нормы проектирования», действующим до 1972 г., СНиП II-А.7–71 «Строительная теплотехника. Нормы проектирования», действующим до 1979 г., СНиП II-3–79 «Строительная теплотехника. Нормы проектирования», действующим с отдельными изменениями до 2003 г.).

До 1995 г. во всех перечисленных редакциях СНиПа сопротивления теплопередаче стен нормировались только по санитарно-гигиеническим условиям. При этом сопротивление теплопередаче стены R_0 должно было быть не менее требуемого сопротивления, определяемого по формуле

$$R_0^{\text{тр}} = \frac{n(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\alpha_{\text{в}} \Delta t^{\text{н}}}, \quad (3.47)$$

где n – то же, что и в формуле (3.41); $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая по нормам проектирования, действующим в этот период для зданий соответствующего назначения; $t_{\text{н}}$ – расчетная зимняя температура воздуха, принимаемая по главе СНиП «Строительная климатология и геофизика» с учетом тепловой инерции стены; $\alpha_{\text{в}}$ – то же, что и α_i в формуле (3.43); $\Delta t^{\text{н}}$ – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности стены, равный для жилых и подобных им по назначению общественных зданий 6 и 7 °С для остальных общественных зданий.

Как видно из формулы (3.47) в перечисленных выше нормах климатические условия района строительства учитывались весьма ограниченно. При этом практически не учитывался расход тепловой энергии, напрямую зависящий от градусо-суток отопительного периода. Обеспечение санитарно-

гигиенических условий связано в формуле (3.47) с величиной Δt^H . Видно, что в отмененных нормах она превышала нынешний уровень Δt_n для стен в 1,5 раза, а по отношению к оптимальному гигиеническому уровню (см. табл. 2.1) превышение было равно трем.

Таким образом, практически все находящиеся в настоящее время в эксплуатации гражданские здания с кирпичными стенами не отвечают требуемому современному уровню теплозащиты как по условиям энергосбережения (первый и третий показатели действующих норм), так и по санитарно-гигиеническим условиям (второй показатель действующих норм).

Для обеспечения требований теплозащиты необходимо все кирпичные стены эксплуатируемых гражданских зданий дополнительно утеплять. При этом сопротивление теплопередаче наружных стен должно быть повышено в зависимости от климатических условий в 2,5 – 3,0 раза. При таком увеличении сопротивления теплопередаче, как правило, автоматически обеспечиваются требования и по санитарно-гигиеническим условиям (по второму показателю действующих норм).

Вопросы, связанные с дополнительным утеплением стен эксплуатируемых зданий, рассмотрены в главе 6.

4 ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ КИРПИЧНЫХ СТЕН ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Влажностный режим кирпичных стен является одним из важнейших показателей их эксплуатационных качеств.

Как показано ранее, повышение влажности материалов кирпичной кладки приводит к значительному повышению ее теплопроводности и, соответственно, к снижению теплозащитных свойств стены.

Повышенная влажность стен не приемлема также и с гигиенической точки зрения. Влажный материал является средой, обеспечивающей появление и развития грибков, плесени и болезнетворных бактерий. Высокая влажность стен способствует увеличению влажности внутреннего воздуха. При наличии плесени это приводит к резкому ухудшению санитарно-гигиенических условий среды обитания.

Влажность материалов кладки влияет на долговечность стен. Влажные материалы имеют меньшую морозостойкость и, следовательно, срок службы их в условиях попеременного замораживания и оттаивания резко сокращается.

В этой связи при эксплуатации зданий с кирпичными стенами необходимо обеспечивать условия, ограничивающие возможность попадания и накопления влаги в стенах в период их эксплуатации.

4.1 Причины появления и накопления влаги в наружных кирпичных стенах

Выбор мер, обеспечивающих защиту кирпичных стен от повышенного увлажнения, зависит от путей попадания влаги в кладку стен. Имеется достаточно много причин появления и путей проникновения влаги в толщу стен.

Влага, накапливающаяся в конструкциях, может быть классифицирована в зависимости от причин ее появления в ограждениях. Различают строительную, атмосферную, эксплуатационную, грунтовую, гигроскопическую и конденсационную влагу.

Строительная влага вносится в кирпичные стены в процессе их возведения. При кладке стен влага попадает в толщу в месте с кладочным раствором, а также проникает в них при выпадении во время строительства атмосферных осадков в виде дождя и мокрого снега. В этой связи влажность возводимых стен существенно зависит от климатических условий в период строительства и продолжительности возведения здания. Строительная влага в стены попадает также при выполнении мокрой штукатурки и, особенно, с внутренней стороны стен.

Процесс естественного удаления строительной влаги из кирпичных стен в силу их конструктивных особенностей весьма продолжителен. В зависимости от конструктивного решения стены (сплошная кладка, кладка с термовкладышами и др.) и вида материалов кладки (красные, силикатные, шлаковые кирпичи, известковые, цементные, сложные растворы и др.) процесс ее сушки в естественных условиях может продолжаться в течение нескольких лет.

Как показывает практика, строительная влага не оказывает существенного влияния на дальнейший влажностный режим и долговечность стен в том случае, если удаляется из них в течение первых одного-двух лет эксплуатации.

Для более быстрого удаления строительной влаги в первый период эксплуатации влажных кирпичных стен рекомендуется интенсифицировать сушку за счет немедленного включения в действие систем отопления и вентиляции с повышенными температурами и скоростями движения воздуха. Также можно применять искусственную сушку, используя переносные нагревательные приборы в виде воздуходувок.

Атмосферная влага может проникать в кирпичные стены при смачивании наружной поверхности водой при косом дожде и мокром снеге с ветром. Попадание влаги в стены может также происходить в результате замачиваний стен из-за недостаточного выноса карнизов, неисправности кровли на карнизах и повреждений водостоков. Увлажнению стен также способствуют неудовлетворительно выполненные или разрушенные в процессе эксплуатации защитные слои и отливы на поясках, промежуточных карнизах и других, выступающих за плоскость стен элементах.

Атмосферная влага при определенных условиях может проникать в глубь наружных слоев стен и в сочетании с другими климатическими факторами внешней среды, как показано в главе 2, приводить к их быстрому разрушению.

Конструктивные мероприятия, исключающие проникновение атмосферной влаги в кирпичные стены, рассмотрены в п. 4.5.

Эксплуатационная влага проникает в стены при непосредственном контакте с ограждениями воды, появляющейся в результате повреждения в гражданских зданиях систем водопровода, отопления и канализации. Процесс увлажнения стен такой влагой зависит от качества эксплуатации указанных выше систем. В зданиях с изношенными элементами систем водопровода и канализации наружные стены в санитарно-технических помещениях часто имеют значительные повреждения кладки из-за размораживания. Основной мерой по ограничению увлажнения наружных стен эксплуатационной влагой является своевременное выполнение мероприятий по содержанию и ремонту систем, исключающих прорывы воды. На стадии проектирования зданий необходимо разрабатывать планировочные решения, ограничивающие расположение помещений с мокрыми процессами у наружных стен. К конструктивным мерам, исключающим попадание эксплуатационной влаги в стены, относится устройство на стенах водонепроницаемых штукатурок и облицовочных плиток.

Грунтовая влага проникает в кирпичные стены в результате капиллярного всасывания в тело фундаментов и нижней части стен влаги из грунта. При определенных условиях капиллярная влага может подниматься на высоту 2,0...2,5 м от уровня земли. Увлажнения стен грунтовой влагой происходят чаще всего в зданиях постройки ранее XX в. Связано это, как правило, с отсутствием горизонтальной гидроизоляции между фундаментом и стеной или с последующими наслоениями культурных слоев грунта выше уровня горизонтальной гидроизоляции.

Защита стен от капиллярной влаги в эксплуатируемых кирпичных зданиях является сложной задачей,

требующей значительных материальных затрат и времени. Конструктивные мероприятия, исклю-

чающие подъем капиллярной влаги в кирпичных стенах, рассмотрены в п. 4.5.

Гигроскопическая влага появляется в кирпичных стенах в результате гигроскопичности материалов кладки. Гигроскопичность – это свойство материалов поглощать (сорбировать) влагу из воздуха. Этой способностью в разной степени обладают все строительные материалы, включая кирпичи и кладочные растворы. Повышению гигроскопичности способствует наличие в материалах кладки хлористых солей (хлористый магний, хлористый кальций, хлористый натрий и др.). Появление солей в кладке связано с добавлением их в кладочный раствор для снижения температуры замерзания раствора и в результате этого удлинения времени набора прочности раствором в условиях зимних низких температур. В стенах, сложенных с противоморозными добавками (хлористый натрий, нитрат натрия и др.), обладающими высокой гигроскопичностью, при эксплуатации накапливается большое количество сорбционной влаги и в результате значительно ухудшаются теплозащитные свойства стен. На внутренних сторонах стен в помещениях с повышенной влажностью (туалетах, ванных комнатах и др.) появляются сырые пятна, образуется налет выщелоченных солей. Устранение этих явлений в процессе эксплуатации зданий весьма затруднительно. Поэтому при возведении кирпичных стен необходимо избегать приме-

нения в них материалов, обладающих повышенной сорбцией (например, шлаковых кирпичей), а также не использовать при кладке в зимних условиях гигроскопичных противоморозных добавок.

Конденсационная влага появляется в кирпичных стенах в результате конденсации на внутренней поверхности стен и в их толще паров влаги из воздуха, омывающего поверхности стен и проникающего через поры в конструкцию. Во многих случаях конденсация влаги является основной причиной увлажнения кирпичных стен эксплуатируемых зданий.

Процесс накопления и удаления конденсационной влаги является сложным физическим процессом, связанным с явлениями тепло- и массопереноса. Выбор эффективных мероприятий по ограничению конденсационной влаги в стенах зависит от ясного представления о процессах накопления, переноса и удаления влаги. Эти сведения позволяют эксплуатационникам обеспечивать необходимые условия эксплуатации, исключая повышенное увлажнение стен.

Конструктивные мероприятия по исключению или ограничению сорбционного и конденсационного увлажнения стен рассмотрены ниже.

4.2 Конденсация влаги на поверхностях стен и меры по ее ограничению

Атмосферный воздух в своем составе всегда содержит определенное количество влаги. Влага, находящаяся в воздухе, может характеризоваться абсолютной величиной, определяющей содержание влаги в единице объема воздуха. **Абсолютная влажность воздуха f** , г/м³, дает количественные сведения о влаге воздуха.

При расчетах конденсации влаги удобнее пользоваться величиной **парциального давления** водяного пара в воздухе, называемой **упругостью водяного пара e** и измеряемой в Па. Упругость водяного пара и абсолютная влажность воздуха взаимосвязаны. Чем выше влажность воздуха, тем выше и упругость водяного пара. Следовательно, величина упругости водяного пара может являться и характеристикой его влажности.

При определенной температуре воздуха упругость водяного пара не может превышать определенного значения. Это предельное значение называется **парциальным давлением насыщенного водяного пара** или **максимальной упругостью водяного пара E** , Па. Величина E зависит от температуры воздуха. Чем выше температура, тем больше значение E , т.е. тем большее количество влаги может содержаться в воздухе. Значения величины E в зависимости от температуры воздуха приведены в приложении в табл. ПЗ и табл. П4.

Действительная упругость водяного пара e не дает представления о степени насыщения воздуха влагой. Для этого ее нужно сравнивать с максимальной упругостью водяного пара E при данной температуре исследования. В этой связи в практике оценки степени насыщения воздуха влагой используется **относительная влажность воздуха φ** , выражающая в процентах отношение действительной упругости водяного пара e к максимальной его упругости E при конкретной температуре помещения, т.е.

$$\varphi = \frac{e}{E} 100, \%. \quad (4.1)$$

Если температура воздуха с данной влажностью повысится, то его относительная влажность понизится. Это связано с тем, что величина упругости водяного пара e останется без изменения, а значение максимальной упругости E увеличится с повышением температуры. Наоборот, при охлаждении воздуха по мере понижения температуры относительная влажность его будет увеличиваться вследствие уменьшения E .

При температуре, когда e становится равной E , относительная влажность воздуха будет равной 100 %, т.е. воздух будет предельно насыщенным водяным паром. При дальнейшем понижении его температуры начнется конденсация влаги. Температура предельного насыщения воздуха водяным паром называется **температурой точки росы t_d** .

Так как внутренняя поверхность наружных ограждений в зимних условиях имеет температуру ниже температуры воздуха помещения, при соприкосновении воздуха с поверхностью происходит его охлаждение и, следовательно, повышение величины φ . Если температура поверхностей окажется ниже температуры точки росы t_d , на них возможно выпадение конденсата. В этой связи при проектировании и эксплуатации стен необходимо проверять условия образования на них конденсата. Конденсат на поверхности не образуется, если ее температура τ_{si} больше температуры t_d . Величина τ_{si} находится по формуле

(3.36).

В случае, если температура τ_{si} меньше температуры точки росы t_d , на поверхности ограждения образуется конденсат.

Температура различных поверхностей стены неодинакова. В углах и в местах теплопроводных включений она ниже, чем на глади стены. Кроме того, температура поверхностей во времени не бывает постоянной. Поэтому условия для конденсации влаги могут быть различными:

- 1) $\tau_{si} < t_d$ – конденсация возможна по всей внутренней поверхности наружной стены;
- 2) $\tau_{si} > t_d > t_{yr}$ – конденсация влаги возможна в наружном углу при отсутствии конденсации на остальной поверхности стены;
- 3) $\tau_{si} > t_d > \tau_{min}$ – возможна периодическая конденсация, связанная с понижением температуры внутренней поверхности ограждения в результате недостаточной теплоустойчивости стены.

Следовательно, при оценке выпадения конденсата необходимо определять не только температуру на глади стены, но и в местах, где возможно ее понижение, а также устанавливать возможные колебания температур поверхностей при изменениях температур наружного воздуха и колебаниях отдачи тепла отопительными приборами.

При проверочных расчетах по минимальной температуре внутренней поверхности стен обычно определяют допускаемую предельную относительную влажность воздуха, при которой начинается конденсация влаги на поверхности ограждения. Если полученная величина относительной влажности воздуха окажется больше действительной его влажности, ограждение будет гарантировано от конденсации влаги на его внутренней поверхности.

Пример 4.1. Для кирпичной стены дома необходимо установить предельную допустимую влажность воздуха в помещении, при которой исключается выпадение конденсата на стене. При обследовании установлено, что при температуре наружного воздуха равной $t_{ext} = -28$ °С и температуре воздуха $t_{int} = 18$ °С температура на глади поверхности составила $\tau_{si} = 13,0$ °С, а в углу $\tau_{yr} = 8,0$ °С.

Решение. Температуре внутреннего воздуха $t_{int} = 18$ °С согласно табл. П4 соответствует величина $E = 2064$ Па.

Температуре угла $\tau_{yr} = 8,0$ °С соответствует по табл. П4 величина $E = 1072$ Па.

Предельная относительная влажность, при которой еще будет отсутствовать конденсация в углу, составляет величину

$$\varphi_{yr} = \frac{1072}{2064} \cdot 100 = 51,9 \text{ \%}.$$

Температуре на глади стены $\tau_{si} = 13,0$ °С соответствует по табл. П4 величина $E = 1497$ Па.

Предельная относительная влажность, при которой еще будет отсутствовать конденсация на глади стены, составляет величину

$$\varphi_{ст} = \frac{1497}{2064} \cdot 100 = 72,5 \text{ \%}.$$

Следовательно, первоначальное выпадение конденсата произойдет в углу стены при относительной влажности воздуха выше 51,9 %. Конденсат на глади стены будет выпадать при повышении влажности более 72,5 %.

Пример 4.2. Проверить возможность выпадения конденсата на внутренней поверхности стены жилого дома, имеющей сопротивление теплопередаче $R_0 = 0,90$ м²·°С/Вт, при температурах внутреннего и наружного воздуха равных $t_{int} = 18$ °С и $t_{ext} = -28$ °С. Относительная влажность воздуха в помещении равна $\varphi_{int} = 55$ %. Установить при данных параметрах предельную величину относительной влажности, при которой возможно выпадение конденсата на стене.

Решение. Используя формулу (3.36), определяем температуру внутренней поверхности стены

$$\tau_{si} = 18 - \frac{18 - (-28)}{8,7 \cdot 0,90} = 12,1 \text{ °С}.$$

При расчете в формуле (3.36) значение α_i принято согласно СНиП 23-02–2003 равным $\alpha_i = 8,7$ Вт/(м²·°С).

По табл. П4 для $t_{int} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ находим $E_{t_{int}} = 2064 \text{ Па}$. Тогда в соответствии с формулой (4.1) величина e будет равна $e = 55 \cdot 2064 / 100 = 1135 \text{ Па}$. Температуру, при которой e станет значением максимальной упругости E , т.е. температуру точки росы, определяем по табл. П4. Для $E = 1135 \text{ Па}$ температура точки росы равна $t_d = 8,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Конденсации влаги на поверхности не будет, так как $\tau_{si} = 12,1 \text{ }^\circ\text{C} \gg t_d = 8,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Конденсация будет возможной, если действительная упругость e станет равной максимальной упругости для $\tau_{si} = 12,1 \text{ }^\circ\text{C} - E_{\tau_{si}}$.

По табл. П4 находим $E_{\tau_{si}} = 1412 \text{ Па}$ и вычисляем

$$\varphi_{td} = \frac{E_{\tau_{si}} \cdot 100}{E_{t_{int}}} = \frac{1412 \cdot 100}{2064} = 68,4 \text{ \%}.$$

Следовательно, конденсация влаги на поверхности стены будет возможна при относительной влажности воздуха выше 68,4 %.

Как видно из изложенного выше, основной мерой против конденсации влаги на внутренней поверхности стены является снижение влажности воздуха в помещении. Это может быть достигнуто улучшением вентиляции помещения.

Для избежания конденсации можно также повышать температуру поверхности стены путем ее утепления. Утепление целесообразно размещать с наружной стороны ограждения. В том случае, если это невозможно выполнить снаружи, утепление размещается с внутренней стороны. При этом для защиты утеплителя от влаги на его поверхности должна быть размещена плотная паронепроницаемая штукатурка.

Пример 4.3. Проверить возможность выпадения конденсата на внутренней поверхности стены общественного здания при расчетной температуре внутреннего воздуха $t_{int} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности $\varphi_{int} = 65 \text{ \%}$. Температура наружного воздуха $t_{ext} = -35 \text{ }^\circ\text{C}$.

При обследовании установлено, что стена сложена из глиняного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной 0,51 м и оштукатурена изнутри цементно-песчаным раствором толщиной 0,03 м. Район строительства по зоне влажности климата сухой.

В случае возможности выпадения конденсата определить требуемую толщину дополнительного утеплителя стены, при котором будет исключено выпадение конденсата.

Решение. Так как климат местности сухой, а влажностный режим помещения согласно табл. 2.2 при $t_{int} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\varphi_{int} = 65 \text{ \%}$ – влажный, условия эксплуатации стены Б. При таких условиях расчетные коэффициенты теплопроводности согласно табл. П2 равны: для кладки $\lambda_{кл} = 0,76 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$, для штукатурки $\lambda_{шт} = 0,93 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$. Коэффициенты теплоотдачи стен равны: на внутренней поверхности $\alpha_i = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$, на наружной поверхности $\alpha_e = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$.

Сопротивление теплопередаче стены равно

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_{кл}}{\lambda_{кл}} + \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} + \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,51}{0,76} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{1}{23} = 0,86 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/Вт}.$$

Температура внутренней поверхности стены в соответствии с формулой (3.36) равна

$$\tau_{si} = 22 - \frac{1(22 - (-35))}{8,7 \cdot 0,86} = 14,4 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Максимальная упругость водяного пара при температуре $t_{int} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ по табл. П4 составляет $E_{t_{int}} = 2644 \text{ Па}$.

Действительная упругость водяного пара воздуха согласно формуле (4.1) равна

$$e = 65 \cdot 2644 / 100 = 1719 \text{ Па}.$$

Максимальная упругость водяного пара воздуха, соответствующая температуре $\tau_{si} = 14,4 \text{ }^\circ\text{C}$ по табл. П4, равна $E_{\tau_{si}} = 1640 \text{ Па}$.

Так как действительная упругость водяного пара $e = 1719$ Па больше максимальной упругости $E_{\tau_{si}} = 1640$ Па, соответствующей температуре поверхности $\tau_{si} = 14,4$ °С, на поверхности будет выпадать конденсат.

Для прекращения выпадения конденсата стену следует утеплить.

Определяем температуру поверхности стены, при которой прекращается конденсация пара. Она соответствует температуре с максимальной упругостью водяного пара равной действительной упругости водяного пара $e = 1719$ Па. По табл. П4 имеем $\tau'_{si} = 15,1$ °С.

С использованием формулы (3.36) определяем сопротивление теплопередаче стены, при котором на поверхности будет обеспечиваться температура $\tau'_{si} = 15,1$ °С:

$$R'_0 = \frac{1(22 - (-38))}{8,7 \cdot (22 - 15,1)} = 0,95 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Величина требуемого дополнительного сопротивления равна

$$\Delta R = R'_0 - R_0 = 0,95 - 0,86 = 0,09 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

В качестве дополнительного утепления можно принять листы гипсовой штукатурки с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{\text{гшт}} = 0,23$ Вт/(м · °С). Толщина штукатурки должна быть не менее

$$\delta_{\text{гшт}} = \Delta R \lambda_{\text{гшт}} = 0,09 \cdot 0,23 = 0,02 \text{ м}.$$

При размещении у наружных стен помещений с влажным и мокрым режимом (например, ванных комнат), в которых влажность может достигать величин, близких к 100 %, на стенах будет постоянно выпадать конденсат. Предотвратить его появление в этом случае не представляется возможным. В таких ситуациях для исключения замачивания кладки необходимо устраивать на поверхностях стен защиту из паронепроницаемой штукатурки или керамической плитки, укладываемой на цементном растворе с добавкой жидкого стекла. В ряде случаев для защиты стен бывает достаточным нанесение на штукатурку слоя масляной краски.

В настоящее время в кирпичных зданиях старинной постройки часто размещаются заведения с одновременным пребыванием в них в течение некоторого времени большого количества людей (например, бары, кафе, дискотеки и др.). В этих случаях в воздух помещения выделяется большое количество влаги и возможно кратковременное выпадение конденсата на стенах

На стенах, покрытых плотными защитными водонепроницаемыми слоями (например, масляной краской), при конденсации влаги сразу же появляются капли росы, вызывающие негативные ощущения у посетителей. В этом случае более приемлемым является устройство на стенах *санирующей штукатурки*. Санирующая штукатурка имеет пористую структуру, впитывающую в себя достаточное количество влаги без видимых признаков увлажнения. Когда условия для конденсации влаги исчезают (например, в нерабочее время), штукатурка легко отдает накопленную влагу обратно в воздух помещения. Следует отметить, что использование такой штукатурки возможно только при ограниченном времени конденсации. В случае продолжительной конденсации влаги штукатурка становится сырой и для ее сушки требуется большие промежутки времени. В такой ситуации возможно прохождение накопленной в штукатурке влаги вглубь ограждения. Для исключения последнего санирующую штукатурку следует устраивать по плотной подоснове, например, из плотного слоя цементно-песчаной штукатурки.

4.3 Сорбционное увлажнение кладки кирпичных стен

Строительные материалы, в том числе кирпичи и раствор кладки, поглощают влагу из окружающего воздуха, находящуюся в нем в виде водяного пара. Поглощение водяного пара материалом происходит за счет поглощения пара поверхностью его пор в результате прилипания молекул воды к стенкам пор, а также за счет растворения молекул воды в твердом теле материала. Это явление носит название сорбции.

В отличие от процесса конденсации процесс сорбции не требует разности температур материала и воздуха и в этой связи может происходить при любых температурных условиях.

Величина сорбционного увлажнения материала зависит от относительной влажности воздуха и температуры среды. Установлено, что с понижением температуры сорбционная влажность возрастает. В то же время для материалов кирпичной кладки влияние температуры на сорбционное увлажнение не-

значительно. Зависимость между объемной влажностью глиняного обыкновенного кирпича и относительной влажностью воздуха (изотермы сорбции водяного пара) для различных температур воздуха по данным А.У. Франчука [25] приведены на рис. 4.1.

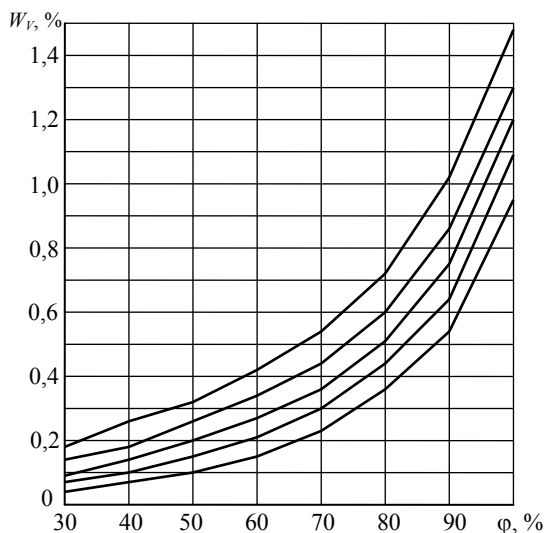


Рис. 4.1. Изотермы сорбции водяного пара глиняного обыкновенного кирпича для различных температур воздуха по данным А.У. Франчука [25]. Сорбционная влажность материалов может быть выражена в виде весовой или объемной влажности. Объемная влажность более удобна для сравнения сорбционной способности материалов с различной объемной плотностью. Данные объемной сорбционной влажности различных видов кирпичей, полученные А.У. Франчуком [25], даны в табл. П5. В случае необходимости пересчет данных табл. П5 в весовую влажность можно производить по формуле (3.12).

Для разных кирпичей кладки в соответствии с природой их материалов и особенностями пористой структуры сорбционное влагосодержание может быть различным. На рис. 4.2 даны изотермы сорбции влаги глиняного, силикатного и трепельного кирпичей при температуре 20 °С. Видно, что наименее выраженные сорбционные свойства имеет глиняный кирпич. Максимальная весовая влажность его не превышает 0,6 %. В то же время трепельный кирпич может иметь максимальную весовую влажность 7,1 %. Видно также, что изотермы сорбции указанных кирпичей имеют разный характер.

В общем случае процесс сорбции водяного пара в материале имеет три стадии. При первой стадии на стенках пор и капилляров образуется мономолекулярный слой влаги. Как правило, на изотермах сорбции это соответствует первой выпуклой части кривой. На второй стадии сорбции на стенках образуется полимолекулярный слой влаги. Влага находится в связанном сжатом состоянии. При третьей стадии дополнительно происходит процесс капиллярной конденсации, способствующий максимальному заполнению пор материала сорбционной влагой. Наиболее заметно указанные стадии проявляются в материалах, обладающих повышенной сорбционной способностью, например, в древесине.

В нашем случае видно, что в кривых сорбции глиняного и силикатного кирпича нет четкого различия

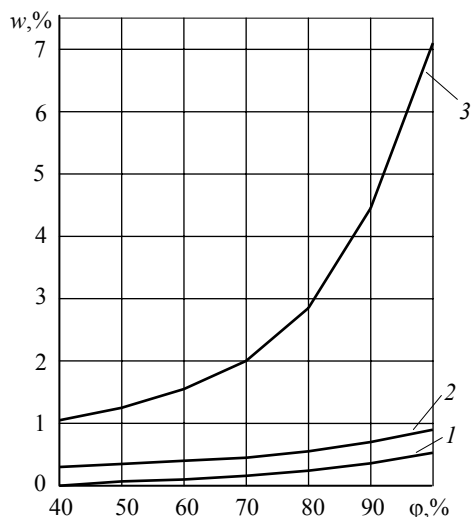


Рис. 4.2. Изотермы сорбции влаги глиняного (1), силикатного (2) и трепельного (3) кирпичей при температуре 20 °С

стадий накопления влаги. Для трепельного кирпича наличие стадий более заметно. Особенно ясно проявляется третья стадия, связанная с капиллярной конденсацией влаги в материале. Очевидно, что различия в кривых сорбции связаны с различием в структурах пор материалов. Более подробно с физическими процессами сорбции можно ознакомиться в [12, 24].

Изотермы сорбции показывают, что определенной влажности материала соответствует определенная относительная влажность воздуха в его порах. Следовательно, изменение относительной влажности воздуха в порах материала зависит от изменения его влагосодержания. Влагосодержание в этом смысле может характеризоваться *удельной пароемкостью материала*, т.е. количеством водяного пара, которое необходимо ввести в единицу массы материала для повышения упругости пара в его порах на единицу. Величина удельной пароемкости не постоянна, а зависит от температуры и относительной влажности воздуха в порах.

Следует отметить, что кирпичи кладки имеют разную сорбционную способность. Например, шлаковые и подобные им кирпичи относятся к активносорбирующим материалам, а красный и силикатный кирпичи относятся к инертносорбирующим. Кладки стен из инертносорбирующих кирпичей почти не изменяют влажностного режима помещений. Однако при длительном и избыточном выделении пара в поверхностном слое со стороны помещений может скопиться влага. Стены, имеющие повышенную начальную влажность, всасывают влагу интенсивнее, чем сухие. Достаточно большой скоростью всасывания обладает глиняный кирпич, вдвое меньшей – силикатный кирпич.

4.4 Конденсация и перемещения влаги внутри кирпичных стен

Увлажнение толщи кирпичных стен может происходить вследствие сорбции и конденсации водяных паров внутри ограждения. В большинстве случаев конденсация является основной причиной повышения влажности кирпичных стен.

В зимних условиях на разных поверхностях стены образуются разные величины парциальных давлений водяного пара. Разность величин парциальных давлений на поверхностях стены вызывает поток водяного пара через стену к наружной поверхности. Это явление носит название диффузии водяного пара через ограждение. В зимнее время пар диффундирует из помещения через ограждение наружу. В летнее время при более холодном воздухе помещения пар может уходить из стены в помещение.

Одновременно с диффузией водяного пара через ограждение в обратном направлении от наружной поверхности стены диффундирует воздух. Причина диффузии воздуха – разность парциальных давлений газов, составляющих воздушную атмосферу. Зимой эти парциальные давления являются более высокими с наружной стороны стены из-за меньшего парциального давления водяного пара наружного воздуха. В этом заключается различие между явлением диффузии воздуха и явлением воздухопроницаемости (см. главу 5). Диффузия воздуха есть чисто молекулярное явление взаимной замены молекул одного газа молекулами другого газа с другим парциальным давлением.

Количество проходящего через ограждение водяного пара может быть определено по формуле

$$W = (e_{int} - e_{ext}) Fz \frac{\mu}{\delta}, \quad (4.2)$$

где W – количество диффундирующего пара, мг; e_{int} , e_{ext} – упругости (парциальные давления) водяного пара с внутренней и наружной сторон ограждения, Па; μ – коэффициент паропроницаемости материала стены, мг/(м² · ч · Па); F – площадь стены, м²; z – время, ч; δ – толщина стены, м.

Формула (4.2) справедлива при отсутствии процесса конденсации водяного пара в стене.

Важное значение для диффузии водяного пара имеет коэффициент паропроницаемости материала μ . **Коэффициент паропроницаемости μ** зависит от свойств материала и отражает его способности проводить диффундирующий водяной пар. Коэффициент μ определяет количество водяного пара, которое

будет диффундировать в течение 1 ч через 1 м² стены толщиной 1 м при разности упругостей водяного пара на поверхностях стены, равной 1 Па.

Расчетные значения коэффициентов паропроницаемости материалов приведены в СП 23-101–2004 [22]. Значения коэффициентов μ для материалов кирпичных стен приведены также в табл. П2.

Коэффициент паропроницаемости материалов зависит от их температуры и влажности. С понижением температуры величина μ уменьшается. С повышением влажности материала коэффициент μ возрастает.

Значения коэффициента μ даны в табл. П2 для сорбционной влажности материала равной 80 %. Коэффициент паропроницаемости μ_x при меньшей влажности w_x может быть найден по формуле В.М. Ильинского [12]:

$$\mu_x = \mu_{80} \frac{w_x}{w_{80}}, \quad (4.3)$$

где μ_{80} – коэффициент паропроницаемости, соответствующий по изотерме сорбции относительной влажности 80 %; w_{80} – весовая влажность материала, соответствующая по изотерме сорбции относительной влажности 80 %.

Обычно в расчетах используются значения μ , полученные при w_{80} и приведенные в справочной литературе (см. табл. П2).

При диффузии водяного пара через слой материала возникает сопротивление потоку пара. Сопротивление называется *сопротивлением паропроницанию слоя* R_{vp} , м² · ч · Па/мг, и определяется по формуле

$$R_{vp_i} = \frac{\delta_i}{\mu_i}, \quad (4.4)$$

где δ_i , μ_i – толщина и коэффициент паропроницаемости i -го слоя стены.

Сопротивление паропроницанию многослойной конструкции определяется как сумма сопротивлений отдельных слоев

$$R_{vp} = \sum_{i=1}^n R_{vp_i} + R_{v_{int}} + R_{v_{ext}}, \quad (4.5)$$

где $R_{v_{int}}$, $R_{v_{ext}}$ – сопротивления влагообмену на внутренней и наружной поверхности стены.

Значения $R_{v_{int}}$ и $R_{v_{ext}}$ имеют небольшие значения и ими обычно при практических расчетах пренебрегают.

Упругость водяного пара, диффундирующего через стену понижается по толщине стены от e_{int} на внутренней поверхности до e_{ext} на наружной поверхности. Для построения линии падения упругости водяного пара можно использовать формулу

$$e_n = e_{int} - \frac{e_{int} - e_{ext}}{R_{vp}} \sum_{n-1} R_{vp_{n-1}}, \quad (4.6)$$

где e_n – упругость водяного пара на внутренней поверхности любого n -го слоя стены; $\sum_{n-1} R_{vp_{(n-1)}}$ – сумма сопротивлений паропроницанию $n - 1$ первых слоев стены, считая от его внутренней поверхности, включая и сопротивление влагообмену на внутренней поверхности $R_{v_{int}}$.

Процесс диффузии влаги через ограждения, как правило, является нестационарным. Расчеты при нестационарных условиях диффузии весьма сложны и поэтому в практике оценки влажностного режима достаточно часто используют стационарные условия диффузии, считая, что упругости водяных паров в воздухе и ограждении остаются постоянными во времени. При этом температура в ограждении также остается постоянной.

Расчет влажностного режима стен при стационарных условиях выполняется для расчетных температур внутреннего воздуха равных t_{int} согласно нормам проектирования. В качестве наружной температуры принимается температура наиболее холодного месяца. Наружная влажность принимается также для наиболее холодного месяца.

Проходящий через стену водяной пар понижает свою упругость и температуру. В случае, когда упругость водяного пара понижается менее значительно, чем температура, может наступить условие для полного насыщения воздуха паром и произойти конденсация влаги из воздуха.

Оценка возможной конденсации пара может производиться графическим способом. При таком способе вначале строится график распределения температуры в стене τ . Затем по нему строится график максимальной упругости водяного пара E и наносится линия распределения действительной упругости водяного пара e . Если линии графиков E и e не пересекаются, конденсации влаги не происходит. При пересечении линий E и e конденсация водяного пара в ограждении возможна. Зону конденсации в этом случае можно определить, проводя касательные к линии максимальной упругости водяного пара из точек, определяющих на ограждениях величины e_{int} и e_{ext} . Участок между касательными определяет положение зоны конденсации. Количество выпадающего конденсата может быть определено по разности количеств подходящего к зоне конденсации водяного пара и уходящего от нее наружу. Методика такого расчета приведена в [24].

Пример 4.4. Рассчитать влажностный режим кирпичной неоштукатуренной стены, сложенной из трехслойного кирпича на цементно-песчаном растворе. Толщина стены – 0,64 м. Температура внутреннего воздуха $t_{int} = 20$ °С, относительная влажность воздуха $\phi_{int} = 60$ %. Температура наружного воздуха самого холодного месяца $t_{ext} = -15$ °С. Относительная влажность наружного воздуха $\phi_{ext} = 90$ %. Условия эксплуатации Б. Коэффициент теплопроводности кладки согласно [22] – $\lambda_{кл} = 0,52$ Вт/(м · °С), коэффициент паропроницаемости – $\mu_{кл} = 0,19$ мг/(м · ч · Па).

Решение. Сопротивление теплопередаче стены

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_{кл}}{\lambda_{кл}} + \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,64}{0,52} + \frac{1}{23} = 1,39 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт.}$$

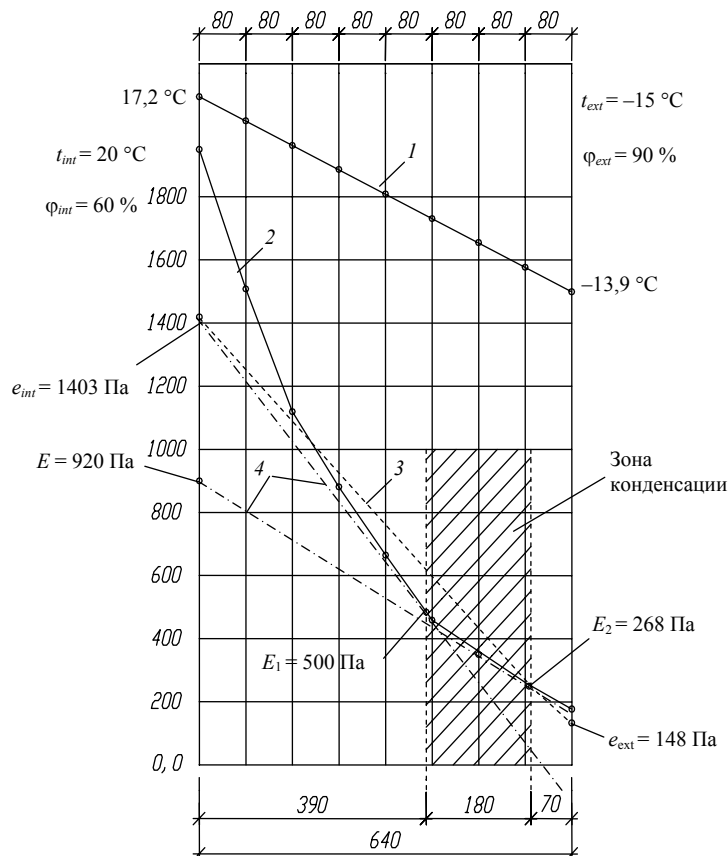
Сопротивление паропроницаемости стены по формуле (4.4) составляет

$$R_{vp} = \frac{0,64}{0,19} = 3,37 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг.}$$

При расчете R_{vp} сопротивлением влагообращения $R_{vp_{int}}$ и $R_{vp_{ext}}$ пренебрегаем ввиду их малости по сравнению с сопротивлением стены.

На основании имеющихся данных строим графики распределения в стене температур и упругостей водяного пара E и e (см. рис. 4.3).

Величины e_{int} и e_{ext} определены с использованием формулы (4.1) по методике, использованной в примерах 4.1 – 4.3.



Величина $e_{int} = 60 \cdot 2338 / 100 = 1403$ Па. Здесь $E_{int} = 2338$ Па – максимальная упругость водяного пара при $t_{int} = 20$ °С, определяемая по табл. П4.

Величина $e_{ext} = 90 \cdot 165 / 100 = 148$ Па. Здесь $E_{ext} = 165$ Па – максимальная упругость водяного пара при $t_{ext} = -15$ °С, определяемая по табл. П3.

Как видно из построенных графиков E и e , они пересекаются. Конденсат будет выпадать в толще кладки. Зона конденсации начинается на расстоянии 0,39 м от внутренней поверхности и заканчивается на расстоянии 0,07 м от наружной поверхности.

Используя формулу (4.2), приближенно можно определить количество влаги, конденсирующейся в стене.

Для 1 м² стены и коэффициента паропроницаемости $\mu = 0,19$ мг/(м · ч · Па) находим количество влаги, поступающей в зону конденсации через плоскость с величиной $E_1 = 500$ Па,

$$W_1 = \frac{(1409 - 500)}{0,39} 0,19 = 443 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) = 0,044 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) .$$

Определяем количество влаги, уходящей от зоны конденсации через плоскость с величиной $E_2 = 268$ Па,

$$W_2 = \frac{(268 - 148)}{0,07} 0,19 = 326 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) = 0,033 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) .$$

Количество влаги, конденсирующейся в стене,

$$\Delta W_{\text{кон}} = W_1 - W_2 = 0,044 - 0,033 = 0,011 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) .$$

В течение суток в 1 м² стены будет накапливаться 0,26 г воды, что составляет очень незначительную величину.

Для полного исключения возможности выпадения конденсата необходимо на стену нанести пароизоляционный слой, обеспечивающий с внутренней стороны понижение упругости водяного пара на поверхности кладки ниже $e = 920$ Па, или уменьшить влажность помещения до величины $\varphi = 920 \cdot 100 / 1949 = 47$ %.

Стена в примере рассматривалась не оштукатуренной. В действительных условиях эксплуатации стена с внутренней стороны штукатурится, например, цементно-известковым раствором толщиной 0,025 м.

Определим величину упругости водяного пара на внутренней поверхности кладки под штукатуркой при относительной влажности воздуха 47 %. Для расчета используем формулу (4.6). Тогда

$$e_{\text{кл.шт}} = 920 - \frac{920 - 148}{\left(\frac{0,025}{0,098} + \frac{0,640}{0,190} \right)} \frac{0,025}{0,098} = 865,7 \text{ Па} .$$

При такой величине $e_{\text{кл.ш}}$ конденсат не будет выпадать внутри стены. Как видно из примера, конденсация начинается в стене в пределах 2/3 ее толщины от внутренней поверхности. Это согласуется с данными экспериментальных исследований, выполненных для различных конструкций кирпичных стен.

Рассмотренный метод расчета влажностного режима при стационарных условиях является приближенным, однако он с достаточной точностью и надежностью позволяет:

- устанавливать условия выпадения или невыпадения конденсата в ограждении; при этом последнее условие, определенное расчетом, всегда выполняется гарантированно;
- определять годовой баланс влаги в ограждении, т.е. устанавливать условия накопления и удаления влаги в различные периоды года (осень, зима, весна, лето).

На основе такого подхода производятся расчеты сопротивления паропрооницанию конструкций и в том числе кирпичных стен.

Согласно СНиП 23-02–2003 [19] сопротивление паропрооницанию R_{vp} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) должно быть не менее наибольшего из следующих нормируемых сопротивлений паропрооницанию:

а) нормируемого сопротивления паропрооницанию $R_{\text{vp1}}^{\text{req}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации), определяемого по формуле

$$e_{\text{int}} \quad R_{\text{vp1}}^{\text{req}} = (e_{\text{int}} - E) R_{\text{vp}}^e / (E - e_{\text{ext}}); \quad (4.7)$$

б) нормируемого сопротивления паропрооницанию $R_{\text{vp2}}^{\text{req}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха), определяемого по формуле

$$e_{\text{int}} \quad R_{\text{vp2}}^{\text{req}} = \frac{0,0024 z_0 (e_{\text{int}} - E_0)}{\rho_w \delta_w \Delta w_{\text{av}} + \eta}, \quad (4.8)$$

где e_{int} – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле

$$e_{\text{int}} \quad \varphi_{\text{int}} \quad E_{\text{int}} \quad e_{\text{int}} = (\varphi_{\text{int}} / 100) E_{\text{int}}, \quad (4.9)$$

где E_{int} – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре t_{int} , принимаемое по СП 23-101-2004 [22]; φ_{int} – относительная влажность воздуха, %; R_{vp}^e – сопротивление паропрооницанию, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью возможной конденсации, определяемое по СП 23-101–2000 [21]; e_{ext} – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, за годовой период, определяемое по табл. 5а* СНиП 23-01–99* [12]; z_0 – продолжительность, сут., периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха по СНиП 23-01–99* [12]; E_0 – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами. Плоскость возможной конденсации в однородной (однослойной) ограждающей конструкции располагается на расстоянии, равном 2/3 толщины конструкции от ее внутренней поверхности, а в многослойной конструкции совпадает с наружной поверхностью утеплителя; ρ_w – плотность материала увлажняемого слоя, $\text{кг} / \text{м}^3$, принимаемая равной ρ_0 по СП 23-101–2004 [22]; δ_w – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м, принимаемая равной 2/3 толщины однородной (однослойной) стены или толщине теплоизоляционного слоя (утеплителя) многослойной ограждающей конструкции; Δw_{av} – предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, %, за период влагонакопления z_0 , принимаемое для кладки из глиня-

ного кирпича и керамических блоков – 1,5 %; кладка из силикатного кирпича – 2,0 %; E – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемое по формуле

$$E = (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3) / 12, \quad (4.10)$$

E_1, E_2, E_3 – парциальное давление водяного пара, Па, принимаемое по температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов. При определении парциального давления E_3 для летнего периода температуру в плоскости возможной конденсации во всех случаях следует принимать не ниже средней температуры наружного воздуха летнего периода, парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха e_{int} – не ниже среднего парциального давления водяного пара наружного воздуха за этот период; z_1, z_2, z_3 – продолжительность, мес., зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, определяемая по табл. 3* СНиП 23-01-99* [12] с учетом следующих условий: а) к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус 5 °С; б) к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус 5 до плюс 5 °С; в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами воздуха выше плюс 5 °С; η – коэффициент, определяемый по формуле

$$\eta = 0,0024(E_0 - e_0^{ext})z_0 / R_{vp}^e; \quad (4.11)$$

e_0^{ext} – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, определяемыми согласно СП 23-101-2004 [22].

Расчет влажностного режима при нестационарных условиях диффузии водяного пара производится, когда необходимо установить точное значение влаги в конструкции. Это значение почти всегда меньше, чем значения, рассчитанное при стационарных условиях. Расчеты при нестационарных условиях следует выполнять по методу К.Ф. Фокина [24].

4.5 Процессы разрушения кирпичных стен, связанные с увлажнением

Влага оказывает большое влияние на физический износ кирпичных стен. Стены сложены из материалов с пористо-капиллярной структурой. Поэтому при контакте с водой они интенсивно увлажняются.

В зависимости от связи воды с материалом различают химически связанную, абсорбционно-связанную, капиллярную и свободную влагу. Свободная влага заполняет крупные пустоты и поры материала и удерживается в них гидростатическими силами. Такая влага легко удаляется из кладки стены при высушивании.

В крупных порах и пустотах влага содержит, как правило, растворенные соли и поэтому она замерзает при температурах более низких, чем 0 °С. Влага, находящаяся в капиллярах, может замерзать при очень низких температурах. Это зависит от диаметра капилляров, например, при диаметре 10^{-5} см и менее вода замерзает при температуре ниже –25 °С.

Влага по-разному влияет на процессы износа. В одних случаях она действует в качестве химически активной агрессивной среды, растворяя материал конструкций. Влага может действовать так же, как поверхностно-активное вещество, способствующее процессу разрушения.

Наличие в материалах кладки и на поверхности конструкций пор, пустот, капилляров, микротрещин способствует увеличению их удельной поверхности. Это повышает уровень контакта кладки со всеми видами влаги. При смачивании материала кладки происходят физические процессы, приводящие к появлению напряжений. Попадая в имеющиеся в кирпичах микротрещины, молекулы воды, обладая дипольными моментами, определенным образом ориентируются. В результате этого адсорбированная влага получает повышенную плотность и вязкость. Ее упругость становится равной упругости материала кирпичей. Упругость влаги повышается к вершине микротрещины и в результате увеличивается расклинивающее действие влаги. Схема расклинивающего действия адсорбированной влаги приведена на рис. 2.1 в главе 2. Рост внутренних напряжений из-за расклинивания микротрещин влагой приводит к значительному снижению прочности поверхностей слоев материалов, смоченных водой. Такие явления

происходит при воздействии адсорбционно-связанной влаги. Расклинивающее действие этой влаги возникает при толщине полимолекулярной пленки влаги около $3 \cdot 10^{-5}$ см.

Капиллярная влага за счет сил капиллярного давления воды может вызывать сложные напряжения в материале кладки. При этом в капиллярах образуются растягивающие напряжения, связанные с поверхностным натяжением (см. рис. 4.4),

$$P_{\alpha} = (2\alpha / r) \cos \theta, \quad (4.12)$$

где α – поверхностное натяжение воды, Па; r – радиус капилляра, м; θ – угол смачивания, град.

Видно, что такие напряжения способствуют снижению давления жидкости в капиллярах и появлению напряжений сжатия и изгиба в материале вокруг капилляров. При полном смачивании материалов капиллярное давление может достигать величины $5,0 \cdot 10^6$ Па.

Разрушению материалов кладки способствует одновременное воздействие с влагой отрицательных температур. Замерзающая в капиллярах и порах влага увеличивается в объеме, вызывая значительные напряжения в материале конструкции.

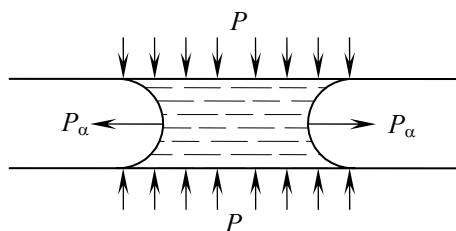


Рис. 4.4 Схема образования капиллярного давления в материале

Процесс заполнения капилляров влагой при естественном увлажнении кладки различен для крупных и мелких капилляров. В мелких капиллярах влага поднимается на большую высоту, чем в крупных. Вода из крупных пор за счет разности давления капиллярного отсоса отсасывается в смежные мелкие поры и капилляры. При замерзании воды свободные крупные поры служат дополнительным объемом, обеспечивающим компенсацию расширения влаги в мелких порах и капиллярах. В этой связи крупнопористые кирпичи более морозостойки.

При низких температурах материалов кладки и замерзании воды в порах и капиллярах могут возникать большие напряжения, во много раз превосходящие прочность материала кирпичей. В наибольшей мере это проявляется в том случае, если поры полностью заполнены водой.

Давление в порах при замерзании в них воды может быть вычислено по формуле

$$(QdT) / T = V_{\text{в}} dp_{\text{в}} - V_{\text{л}} dp_{\text{л}}, \quad (4.13)$$

где $Q = 3,35 \cdot 10^5$ Дж/кг – скрытая теплота плавления льда; $T = 273$ К – абсолютная температура плавления льда; $V_{\text{в}} = 1 \cdot 10^{-3}$ м³/кг, $V_{\text{л}} = 1,091 \cdot 10^{-3}$ м³/кг – удельные объемы воды и льда; $dp_{\text{в}}$, $dp_{\text{л}}$ – давления в порах воды и льда, Па; dT – разность температур, °С.

При одинаковых давлениях воды и льда $dp = dp_{\text{в}} = dp_{\text{л}}$ формула (4.13) имеет вид

$$(QdT) / T = (V_{\text{в}} - V_{\text{л}}) dp. \quad (4.14)$$

Зная численные значения величин, входящих в формулу (4.14), можно получить формулу для определения dp в виде

$$dp = -1,348 \cdot 10^7 \cdot dT. \quad (4.15)$$

Из формулы (4.15) видно, что понижение температуры на 1 °С приводит к росту давления в порах кладки на 13,48 МПа. При понижении температуры на 20 °С давление составит соответственно 269 МПа.

В случае, если вода при замерзании льда и увеличении его объема свободно вытекает из пор, давление льда после замерзания и при дальнейшем понижении температуры может определяться как

$$dp = -1,13 \cdot 10^6 \cdot dT, \quad (4.16)$$

т.е. давление льда будет повышаться на 1,13 МПа при понижении его температуры на 1 °С. При понижении температуры льда на 20 °С давление в порах может достигнуть 22,6 МПа.

Таким образом, напряжения, возникающие в материале кладки при температурах ниже 0 °С, могут разрушать стенки пор. Процессы разрушения значительно ускоряются при переменном оттаивании и замораживании кладки. Оттаивание и замерзание кладки чаще всего происходит под воздействием солнечной радиации в весенний период года (см. пример главы 2).

На физический износ кирпичной кладки определенное влияние оказывают процессы попеременного увлажнения и высыхания материала. Такие процессы происходят как при положительных, так и отрицательных температурах среды. При достаточно сухом воздухе из материала кладки происходит последовательно испарение свободной, капиллярной и затем адсорбированно-связанной воды. Вода сначала испаряется из крупных пор, а затем из более мелких. После испарения воды из капилляров и микротрещин на материал кладки перестают действовать рассмотренные выше расклинивающие и сжимающие силы. В нем начинают происходить явления усадки, приводящие к появлению напряжений противоположного знака. В случае повышения влажности воздуха материал снова увлажняется, и трещины соответственно раскрываются. Скорость разрушения материала кладки при таких знакопеременных напряжениях зависит от скорости и степени увлажнения и сушки материалов.

Причиной разрушений материалов кладки иногда служит появления осмотического давления в порах, вызываемого разностью концентраций растворов солей в воде разных пор и капилляров. Как правило, стенки пор и капилляров проницаемы для воды и не проницаемы для растворенного в воде вещества. Вода, стремясь выровнять концентрацию растворов в соседних порах, проходит из пор с меньшей концентрацией в поры с большей концентрацией и начинает создавать в них осмотическое давление. Величина осмотического давления может достигать величины 15 МПа и более [15].

Скорость и характер разрушения материалов кладки во многом зависят от структуры пор материала. В частности, в кирпичах структура пор во многом определяется технологией их изготовления. Например, кирпичи сухого прессования имеют сеть капилляров и пор, сообщающихся между собой и открытых на поверхности. Материал таких кирпичей быстро насыщается влагой, приводящей к ускорению процессов физической коррозии. Наоборот, кирпичи пластического формования имеют закрытые поры и вследствие этого медленнее насыщаются влагой.

Как правило, процессы насыщения и удаления влаги материалами кладки происходят с разной скоростью. Насыщение кладки влагой в условиях естественной среды идет значительно быстрее, чем ее сушка. Поэтому при эксплуатации кирпичных стен следует стремиться ограничивать период влагонакопления и наоборот увеличивать период сушки стен. Поверхности наружных кирпичных стен должны быть достаточно открытыми для контакта с внешней окружающей средой с целью обеспечения хорошей естественной вентиляции их в период летней сушки.

Кладка кирпичных стен состоит из материалов, имеющих разную пористость. Цементно-песчаный раствор кладки имеет большую плотность, чем кирпичи и, следовательно, пористость кирпичей значительно больше пористости цементно-песчаного раствора. При эксплуатации во влажных кирпичных стенах, сложенных на плотных растворах, идет быстрое разрушение растворных швов и повреждение тела кирпичей в местах примыкания к этим швам. Связано это с тем, что кирпич как материал с более крупными порами быстрее впитывает и отдает влагу плотному раствору, имеющему мелкие поры. Как правило, количество влаги на границе контакта кирпичей и раствора оказывается достаточным для того, чтобы заполнить все поры раствора водой. Зимой эта вода и избыточная вода, накапливающаяся в порах кирпичей на границе контакта кирпичей и растворных швов, замерзает, вызывая большие напряжения в мелкопористом материале раствора. Раствор в результате этого быстро разрушается и выветривается. Кирпичи кладки у наружной поверхности при замерзании воды, находящейся в растворных швах и капиллярах кирпичей вблизи швов, оказываются сдавленными «обоймой». Под этим давлением от поверхностей кирпичей начинают откалываться лещадки. Такие разрушения наиболее заметны на тычковых рядах кирпичей. Как показано ранее в главе 1, явление разрушения кирпичей «обоймой» ярко проявляется в кладке стен, сложенных в начале XX в. из слабых кирпичей «алого» сорта на цементно-песчаном растворе. С этих позиций большей долговечностью обладают кладки, сложенные на растворах, близких по плотности кирпичам, например, кладки на известковых и известково-цементных растворах.

Значительному увлажнению кирпичных стен и последующему их разрушению способствует устройство на фасадах наружных стен плотных слоев из штукатурок или облицовок. В период влагонакопления влага переносится от внутренней поверхности к наружным слоям и летом в период сушки она уходит из стен наружу. Наличие плотной штукатурки, например, из цементно-песчаного раствора, не

дает во время сушки возможности полностью уходить из ограждения влаги, накопленной в нем зимой. Это приводит к скоплению влаги между штукатурным слоем и наружной гранью кирпичной кладки. Зимой при отрицательных температурах, когда влага замерзает, создаются большие напряжения, разрушающие штукатурку и поверхностный слой кладки.

Аналогичные процессы разрушения проявляются и при облицовках цокольных участков стен старых кирпичных зданий плотными каменными, керамическими и другими плитами, закрепляемыми на стене на цементно-песчаном растворах.

Как сказано ранее, в стенах старых зданий отсутствует горизонтальная гидроизоляция и в результате этого нижняя часть стен активно увлажняется капиллярной влагой. Удаление капиллярной влаги из стен происходит в летний период во время естественной сушки стен. Большинство влаги в этом случае уходит из стен через наружную поверхность. При устройстве плотной облицовки часть влаги начинает уходить через внутреннюю поверхность стены, приводя к повышению влажности этой поверхности и к увеличению влажности внутреннего воздуха. На поверхностях стен образуются грибки и плесень, ухудшается санитарное состояние помещений. Другая часть влаги накапливается у поверхности облицовки и, замерзая при низких температурах, разрушает кладку и раствор крепления плит. Устройство таких облицовок приводит к быстрому разрушению нижней части кирпичных стен старой постройки, не имеющих горизонтальной гидроизоляции. Обследование стен исторических зданий г. Тамбова показало, что в цокольных частях стен, облицованных плотными плитами пять и более лет назад, кладка сильно увлажнена, прочность ее снижена, повсеместно имеются повреждения тела кладки. Дальнейшая эксплуатация кладки при таких условиях приведет к полному разрушению нижней части стен.

Плотные цементно-песчаные штукатурки и облицовки имеют большие линейные температурные расширения, чем кладка, например, для цементной штукатурки эти расширения в два раза больше по сравнению с кладкой из глиняного кирпича. Такая разность линейных деформаций создает дополнительные напряжения на границе кладки и раствора и приводит к появлению трещин между штукатуркой и кладкой. Трещины появляются также и в штукатурке. Наличие трещин способствует дополнительному увлажнению поверхностных слоев кладки стен. Поэтому для наружной штукатурки стен следует подбирать штукатурные растворы с коэффициентами линейного расширения, близкими к этим коэффициентам для кладки. Например, штукатурка из известкового раствора достаточно устойчива при знакопеременных температурах, так как коэффициент ее линейного температурного расширения совпадает с таким коэффициентом для кладки из глиняного кирпича, сложенной на известковом растворе. Следует отметить, что известковый раствор и кладка из красного кирпича также имеют почти равные коэффициенты паропроницаемости: $\mu = 14 \dots 16 \text{ г}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ для кладки и $\mu = 16 \dots 18 \text{ г}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ для известкового раствора. Такое соответствие создает благоприятные условия для миграции влаги из кладки стен наружу.

Выше рассмотрены в основном физические процессы разрушения кладки, связанные с ее увлажнением. Кроме этого материалы кладки могут подвергаться химической коррозии.

Скорость химической коррозии материалов кладки зависит от целого ряда факторов. К основным из них относятся химический и минералогический составы материалов, характер их пористости (откры-

тые или закрытые поры), тип структуры материалов (аморфная или кристаллическая), характер агрессивной среды, ее концентрация и др.

Влияние пористости на скорость химической коррозии материалов кладки определяется скоростью подвода агрессивной среды к месту ее контакта с материалом. Разрушение пористых материалов при открытых сообщающихся порах происходит не только на поверхности, но и внутри материала. В замкнутых, не сообщающихся друг с другом порах (например, в глиняном кирпиче пластического прессования) влияние агрессивных сред проявляется менее активно, чем при наличии открытых пор.

На интенсивность разрушений кирпичной кладки оказывает влияние химический состав воды и способы ее попадания на конструкции стен. Например, чистая дождевая вода при интенсивном дожде смывает со стен адсорбированные частицы и осевшие на поверхности кладки агрессивные вещества. В то же время влага, выпадающая на наружных стенах в виде конденсата, вступает с агрессивными веществами во взаимодействие и образует растворы кислот и щелочей, активно способствующие разрушению материалов кирпичной кладки. Чаще всего конденсат на наружных поверхностях образуется при резких изменениях температур воздуха от низких значений до более высоких. При понижении температур воздуха наружные поверхности стен из-за большой тепловой инерции кладки оказываются в определенный промежуток времени более холодными по сравнению с окружающим воздухом. При соприкосновении с холодными стенами теплый воздух начинает отдавать поверхности стен влагу, которая оседает на них в виде конденсата. Это явление наиболее часто происходит в осенне-весенние периоды года.

Для исключения разрушения стен растворами солей и кислот рекомендуется наружные неоштукатуренные поверхности стен зданий – памятников периодически очищают от агрессивных веществ, оседающих на них в виде пыли, копоти и др. Удаление веществ с поверхности следует производить путем их смывания водой без добавки в нее каких-либо моющих средств. При очистке неоштукатуренных стен нельзя применять жесткие щетки и пескоструйные аппараты. При механической очистке происходит разрушение поверхностного слоя кирпичей. В кирпичях старой кладки поверхностный слой является защитной коркой, предохраняющей кладку от интенсивного разрушения. После удаления корки рассмотренные выше процессы разрушения материалов кладки под воздействием влаги значительно ускоряются.

Достаточно часто атмосферная влага городов и промышленных зон содержит растворенные агрессивные вещества, например, диоксид серы. Этот газ под воздействием кислорода окисляется в триоксид серы и образует с водой серную кислоту, активно разрушающую силикатные кирпичи. Агрессивность атмосферных осадков повышает также ряд и других, растворимых в воде газов, например, сероводород, диоксид углерода, аммиак и др. Например, вода с диоксидом углерода в 30 раз больше растворяют карбонат кальция, чем чистая вода. При эксплуатации кирпичных зданий в городах и промышленных зонах с большим выбросом вредных веществ в атмосферу необходимо предусматривать надежные меры защиты от атмосферного увлажнения и подбирать соответствующие материалы для кладки наружных стен.

Коррозионная стойкость силикатных кирпичей определяется в основном свойством входящей в состав их материала извести, обладающей невысокой стойкостью к кислым агрессивным средам. В солевых растворах силикатный кирпич главным образом разрушается за счет образования в порах материала кристаллов, которые, разрастаясь, создают давления, достаточные для разрушения силикатного материала.

Глиняные кирпичи могут разрушаться под воздействием растворов органических и минеральных кислот, а также многих солей. Стены из глиняного кирпича устойчивы при слабых воздействиях кислот и кислых газов. Из всех сортов глиняного кирпича к агрессивным средам наиболее устойчивы пережженные кирпичи – в старых зданиях это кирпичи «железняки», в современных конструкциях плотные клинкерные кирпичи.

Конструкции из шлаковых кирпичей неустойчивы к действию агрессивных сред и малоустойчивы к действию влажной среды и растворов щелочей. Слабоустойчивы эти кирпичи и к процессам переменного увлажнения и замораживания.

4.6 Меры по защите кирпичных стен от влаги

При защите стен от увлажнения применяют в основном две группы способов. К первой относятся конструктивные способы, включающие правильный выбор материалов кладки для разных участков стен, правильное устройство различных выступов, козырьков, карнизов, водоотвода с крыши и др. Ко второй относятся способы, связанные с устройством гидро-, паро- и теплоизоляционных защитных покрытий и преград.

Обе группы способов могут быть применены как на стадии проектирования зданий, так и во время их эксплуатации.

На стадии проектирования кирпичных зданий в зависимости от температурно-влажностного режима помещений и параметров климата местности, а также степени агрессивности среды, должен быть произведен соответствующий выбор вида кирпичей и раствора для кладки. Например, при воздействии влаги с невысокой концентрацией кислот более предпочтительным является применение глиняных кирпичей, чем силикатных. Шлаковые кирпичи следует применять для эксплуатации только в сухих средах.

На стадии проектирования для стен, эксплуатируемых во влажных условиях, необходимо также подбирать кирпичи и растворы исходя из их соответствия между собой по пористости. Для кладки из пористых кирпичей необходимо применять менее плотные кладочные растворы. Как показано ранее, это позволит уменьшить скорость разрушения растворных швов и наружных поверхностей кирпичей.

Цокольные и карнизные участки стен, выступающие за плоскость элементы, а также другие участки стен, подвергающиеся повышенному воздействию атмосферной влаги, должны быть выполнены из кирпичей повышенной морозостойкости. Поверхность выступающих элементов защищают от влаги путем устройства защитных покрытий и сливов из оцинкованной стали или гранитных плиток. От воздействия влаги, стекающей с крыши при таянии снега и дождевой влаги, должны надежно предохранять карнизы крыш. Некоторые конструктивные решения по защите стен от увлажнения приведены на рис. 4.5.

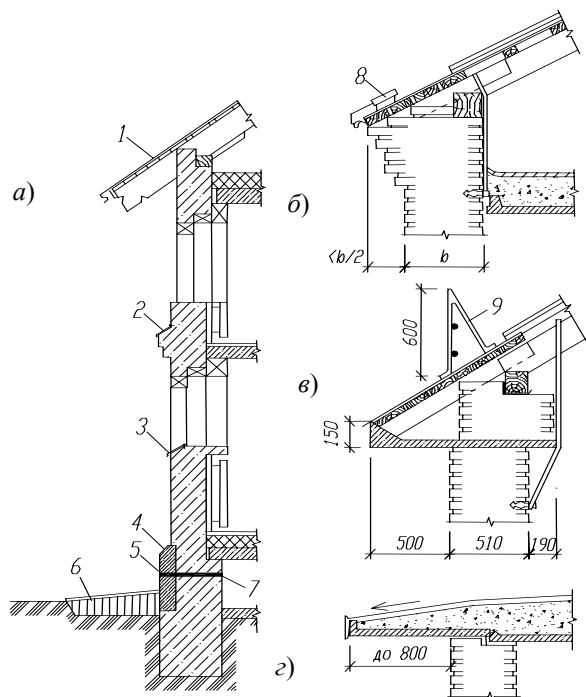


Рис. 4.5 Конструктивные элементы защиты стен от увлажнения:

a – разрез по стене; *б* – *г* – конструктивные решения карнизов; 1 – свес кровли; 2 – гидроизоляция пояса; 3 – подоконный слив; 4 – гидроизоляция выступающего цоколя; 5 – цоколь; 6 – отмостка; 7 – горизонтальная гидроизоляция; 8 – слив и желоб; 9 – ограждение кровли

Для помещений с влажным и мокрым режимами эксплуатации не рекомендуется применять конструкции кирпичных стен с пустотами, засыпками, внутренними неветилируемыми воздушными прослойками. В пустотах, прослойках и засыпках может накапливаться большое количество конденсационной влаги, которая трудно удаляется из такой конструкции при сушке стен. Для таких помещений наиболее пригодны сплошные стены из плотного глиняного кирпича, покрытые изнутри паронепроницае-

мым слоем, например, за железненной цементной штукатуркой, покрашенной масляной краской по сплошной шпаклевке.

При выборе конструктивного решения стены необходимо исходить всегда из принципа размещения со стороны помещения слоев из более плотных материалов, а с наружной стороны слоев с большей паропроницаемостью. Таким образом, кирпичные стены с внутренней стороны следует штукатурить цементно-песчаными растворами с небольшим добавлением извести для придания раствору пластичности, а с наружной стороны известковыми растворами с добавлением небольшого количества цемента для повышения прочности штукатурки. В качестве наружных штукатурок в настоящее время используются специальные прочные фасадные штукатурки, имеющие достаточное количество микропор для удаления влаги из ограждения. Паропроницаемость наружных слоев стен всегда должна быть выше паропроницаемости внутренних слоев, соприкасающихся с воздухом помещения. В соответствии с указанным выше принципом рекомендуется дополнительные теплоизоляционные слои, состоящие из пористых материалов, размещать с наружной стороны стен. В случае необходимости их размещения с внутренней стороны они должны быть надежно изолированы от диффундирующей из помещения влаги пароизоляционными слоями. Более подробно принципы дополнительного утепления стен с учетом требований по ограничению накопления влаги в ограждении рассмотрены в главе 6.

При выборе штукатурки для наружных поверхностей стен необходимо подбирать ее состав таким образом, чтобы линейные температурные расширения штукатурки и кладки были примерно одинаковыми. При таких условиях не будет происходить образование трещин в штукатурке зимой и ее отрыв от кладки при летних температурах и, следовательно, будет ограничено попадание атмосферной влаги в конструкцию стен.

Для защиты от проникновения в стены капиллярной влаги, поступающей при отсутствии гидроизоляции из тела фундаментов, необходимо устраивать во время эксплуатации надежные горизонтальные гидроизоляционные слои.

Для этой цели можно выполнять рулонную гидроизоляцию путем последовательной пробивки в стенах горизонтальных штраб и укладки в них рулонных гидроизоляционных материалов на битумной мастике. Оставшееся пространство штраб должно заполняться раствором на расширяющемся цементе.

Достаточно эффективным, но менее трудоемким способом является устройство горизонтальных гидроизоляционных слоев путем прорезания фрезой в кладке щели, выдувания из нее разрушенного материала и последующего заполнения щели цементным водонепроницаемым раствором на расширяющемся цементе с использованием добавок, улучшающих гидроизоляционные свойства раствора.

В последнее время для устройства горизонтальной гидроизоляции в старых кирпичных зданиях широко начинают применяться методы инъектирования в кладку стен различных растворов, создающих водонепроницаемые слои. Количество и места размещения скважин зависит от толщины стены, материалов кладки и вида инъектируемого в нее раствора.

Для защиты неоштукатуренных наружных поверхностей стен от действия атмосферной влаги на стены наносят тонкие водоотталкивающие покрытия, т.е. производят гидрофобизацию поверхностей. При устройстве таких покрытий не происходит смачивания поверхностей атмосферной влагой и исключается ее проникновение вглубь конструкции даже при наличии ветрового давления на стену.

Важной задачей при восстановлении нормального влажностного режима ограждений является сушка кладки стен. Для этой цели используются способы удаления влаги из толщи кладки испарением, разложением воды, адсорбцией, электроосмосом и др. В любом случае процесс удаления влаги достаточно трудоемок и продолжителен во времени.

При удалении влаги испарением применяют конвективную, контактную и радиационную сушки.

При конвективной сушке происходит теплообмен между поверхностью стены и воздухом в результате непосредственного соприкосновения воздуха с материалом стены, а также за счет конвекции. Конвективная сушка может быть естественной, происходящей при естественном гравитационном движении воздуха, и вынужденной – при механическом перемешивании воздуха. Интенсивность конвективного теплообмена зависит от толщины ламинарного слоя воздуха у поверхности стены. Так как его толщина обратно пропорциональна скорости движения воздуха, для увеличения теплообмена при вынужденной сушке, поверхность обдувается дутьевыми вентиляционными установками.

Радиационная сушка происходит при облучении поверхностей инфракрасными обогревателями. Излучаемая обогревателем тепловая энергия, распространяясь в пространстве в виде электромагнитных волн, падает на стены. Инфракрасные лучи поглощаются материалом кладки, и их энергия из электромагнитной снова переходит в тепловую. Количество получаемого стеной тепла зависит от температуры нагревателя и материала стены, а также степени черноты нагреваемой конструкции (см. главу 3).

При контактной сушке теплообмен происходит при непосредственном контакте нагретого и холодного осушаемого тела. Количество переходящего тепла зависит от разности температур нагревателя и стены.

Как видно, процессы сушки различаются способами подвода тепла. Однако независимо от способа при нагревании стены парциальное давление паров влаги, содержащейся в конструкции, возрастает и, когда оно превысит парциальное давление в воздухе $e_m > e_v$, начнется процесс сушки. Сушка продолжается до тех пор пока давление паров влаги в конструкции не сравняется с давлением паров влаги в воздухе. Такое условие соответствует состоянию равновесной влажности материала стены.

Равновесная влажность определяется характером связи влаги с материалом. Согласно теории П.А. Ребиндера вода с материалом может иметь любую из трех форм связи: химическую, физико-химическую и физико-механическую.

Химическая связь влаги с материалом обуславливается строго определенным молекулярным соотношением, и такая влага в процессе сушки испарением не может быть удалена. Однако, ее количество в кладке очень незначительно и она не влияет в целом на влажностный режим ограждения. Адсорбционная влага имеет менее прочную физико-химическую связь с материалом и при сушке испарением может быть частично удалена. Капиллярная вода и вода от смачивания имеют с материалом физико-химическую связь и довольно легко удаляются из конструкции. Наиболее свободно удаляется из конструкции структурно-свободная вода, попадающая в кладку при строительстве. Поэтому сушка испарением наиболее эффективна в начале эксплуатации стен.

Равновесная влажность материала во многом определяется влажностью окружающего воздуха и для каждого материала она имеет свою зависимость (см. рис. 4.6). По кривой равновесной влажности можно определять конечную влажность высушиваемого материала при конкретной относительной влажности воздушной среды.

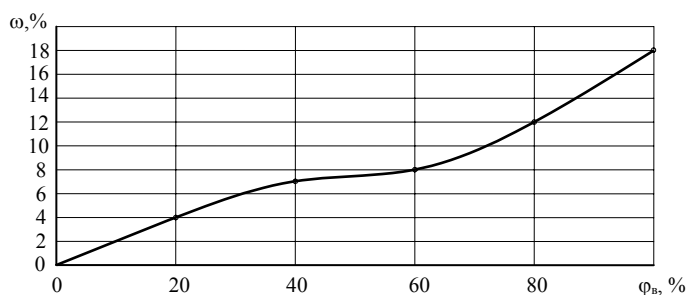


Рис. 4.6 Зависимость равновесного влагосодержания материала от относительной влажности воздуха помещения

Как видно из рис. 4.6, для удаления влаги из материала кладки осушением следует понижать относительную влажность воздуха помещения. Для этой цели может быть использован метод сорбции, заключающийся в снижении влажности воздуха помещения твердыми или жидкими сорбентами. При использовании сорбентов в осушенном воздухе понижается давление водяных паров и в результате этого происходит сушка стен. В качестве сорбентов могут быть использованы твердые вещества (силикагель, алюмогель, активные бокситы и др.) и жидкости (хлорид кальция, хлорид лития и др.). В качестве сорбентов применяются также волокнистые материалы, пропитанные гигроскопическими солями. Для сорбционного осушения используются специальные установки, размещаемые в помещениях с осушаемыми стенами. Наибольший эффект достигается при комплексном использовании методов испарения и сорбции при активном обдувании осушаемых поверхностей.

Для нижней части стен, где идет большой подсос капиллярной влаги при осушении конструкций можно использовать метод электроосмоса. Суть метода заключается в создании электрического поля в нижней части стен, способствующего при разности потенциалов в разных точках стен перемещению влаги по порам кладки от положительного потенциала (в стене) к отрицательному (в грунте). В практике имеется много схем размещения электродов и создания разности потенциалов [26]. Метод электроосмоса может эффективно применяться в качестве профилактической меры по защите от капиллярной влаги в стенах с ненадежной горизонтальной гидроизоляцией.

5 ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМ КИРПИЧНЫХ СТЕН ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

В процессе эксплуатации зданий на внутренней и наружной поверхностях стен всегда создается разность давлений. В результате через стены идет поток воздуха в направлении от большего давления к меньшему, то есть происходит фильтрация воздуха. Фильтрация воздуха в наружных стенах приво-

дит к изменению их теплозащитных и влажностных характеристик. Следовательно, при эксплуатации наружных стен необходимо учитывать явления фильтрации и обеспечивать меры от чрезмерного прохождения воздуха через конструкции.

5.1 Воздухопроницаемость кирпичных стен

Воздух в стенах может проходить с наружной стороны ограждения или, наоборот, со стороны помещения. Если фильтрация воздуха происходит в сторону помещения, то она называется *инфильтрацией*. При обратном направлении воздуха явление фильтрации называется *эксфильтрацией*. Свойство ограждения или его материала пропускать через себя воздух называется *воздухопроницаемостью*.

С гигиенической точки зрения воздухопроницаемость является положительным качеством, так как способствует естественной вентиляции помещения.

С теплотехнической стороны это явление вредно, так как при инфильтрации в помещение попадает холодный воздух и понижается температура внутренней поверхности ограждения. При эксфильтрации ухудшается влажностный режим конструкции в силу того, что повышается вероятность конденсации внутри нее влаги.

Причиной воздухопроницаемости материалов является наличие в них сообщающихся пор. Воздухопроницаемость зависит от структуры материала и его влажности. Влажные материалы содержат в порах капиллярную влагу и поэтому имеют меньшую воздухопроницаемость.

Воздухопроницаемость ограждения обуславливается воздухопроницаемостью материалов и проникновением воздуха через швы конструкции, трещины, щели и т.д. Воздухопроницаемость ограждения почти всегда выше воздухопроницаемости материалов, из которых оно выполнено.

Процесс воздухопроницания в стенах возникает при появлении разности давлений воздуха на внутренней и наружной поверхностях стены за счет теплового и ветрового напоров (см. рис. 5.1).

Тепловой напор обусловлен разностью удельных весов теплого воздуха помещения и холодного воздуха с наружи здания.

Величина максимального теплового напора в зимнее время

$$\Delta P_t = 0,55H(\gamma_{ext} - \gamma_{int}), \text{ Па}, \quad (5.1)$$

где H – высота здания, м; $\gamma_{ext}, \gamma_{int}$ – удельные веса наружного и внутреннего воздуха, Н/м^3 .

а) $t_{в} > t_{н}, V_{н} = 0$ б) $t_{в} = t_{н}, V_{н} > 0$ в) $t_{в} > t_{н}, V_{н} > 0$

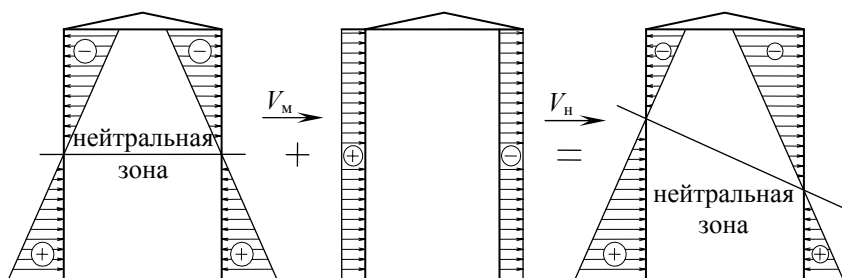


Рис. 5.1 Эпюры давлений воздуха на ограждение при тепловом (а) и ветровом (б) напорах и их суммарном воздействии (в)

Величины γ_{ext} и γ_{int} определяются по формуле

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}. \quad (5.2)$$

Здесь t – температура воздуха. Для внутреннего воздуха величина $t = t_{int}$ (для определения γ_{int}) принимается по оптимальным параметрам по ГОСТ 12.1.005, ГОСТ 30494 и СанПиН 2.1.2.1002. Для наружного воздуха величина $t = t_{ext}$ (для определения γ_{ext}) принимается равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СНиП 23-01-99* [21].

Ветровой напор создается за счет действия на стены ветра.

Величина ветрового напора

$$\Delta P_v = 0,03\gamma_{ext}v^2, \text{ Па}, \quad (5.3)$$

где v – максимальная из скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более, принимается по СНиП 23-01–99 [21]. Для зданий высотой более 60 м скорость ветра принимается с учетом коэффициента изменения скорости ветра по высоте здания (см. СП 23-101–2004 [22]).

По принципу протекания и воздействия на теплотехнические качества стен различаются несколько видов фильтрации воздуха, например, сквозная и внутренняя фильтрации. Наиболее распространена сквозная или поперечная фильтрация (инфильтрация и эксфильтрация), когда воздух проходит через всю конструкцию. При внутренней фильтрации движение воздуха происходит, как правило, внутри конструкции.

Следствием сквозной фильтрации является изменение распределения температур в толще стены и на ее поверхностях. На рис. 5.2 приведена схема распределения температур в стене при инфильтрации, эксфильтрации и отсутствии фильтрации воздуха через стену. Видно, что инфильтрация понижает температуры внутри стены и на ее поверхностях, а эксфильтрация, наоборот, повышает.

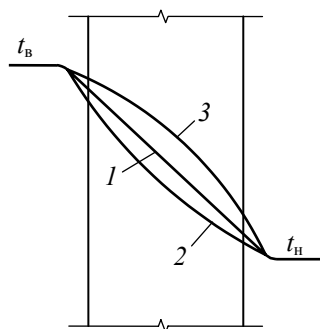


РИС. 5.2 СХЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В ОГРАЖДЕНИИ

Температура в любом сечении стены при наличии инфильтрации воздуха согласно [23] может быть найдена по формуле

$$t_{int} \quad \tau_x = t_{ext} + (t_{int} - t_{ext}) \frac{e^{c_0 GR_x} - 1}{e^{c_0 GR_0} - 1}, \quad (5.4)$$

где t_{int} , t_{ext} – температуры внутреннего и наружного воздуха, °С; $c_0 = 1$ кДж/(кг · °С) – удельная теплоемкость воздуха; R_x – термическое сопротивление стены на участке от наружной поверхности до рассматриваемого сечения, $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$; R_0 – сопротивление теплопередаче стены при отсутствии в ней фильтрации воздуха, $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$; G – воздухопроницаемость конструкции, равная количеству воздуха, проходящего через 1 м^2 стены за 1 час, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Сопротивление теплопередаче стены при наличии инфильтрации уменьшается и может быть определено по формуле

$$R_{0 \text{ inf}} \quad R_{0 \text{ inf}} = \frac{e^{c_0 GR_0} - 1}{c_0 G e^{c_0 GR_0}}. \quad (5.5)$$

При эксфильтрации воздуха через стену температура в любом сечении стены определяется по формуле

$$t_{int} \quad \tau_x = t_{ext} + (t_{int} - t_{ext}) \frac{e^{-c_0 GR_x} - 1}{e^{-c_0 GR_0} - 1}. \quad (5.6)$$

Сопротивление теплопередаче стены при наличии эксфильтрации может быть найдено как

$$R_{0 \text{ eks}} = \frac{e^{-c_0 GR_0} - 1}{c_0 G}. \quad (5.7)$$

5.2 Нормирование и расчет сопротивления воздухопроницанию кирпичных стен

Воздухопроницаемость ограждений оценивается сопротивлением воздухопроницанию R_{inf} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$, при разности давлений $\Delta P = 10 \text{ Па}$.

Для однослойной конструкции или одного слоя многослойной конструкции величина R_{inf} определяется как

$$R_{inf} = \frac{\delta}{i_M}, \quad (5.8)$$

где δ – толщина конструкции или ее слоя, м; i_M – коэффициент воздухопроницаемости материала ограждающей конструкции или ее слоя, $\text{кг} / (\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$.

Формула (5.8) справедлива для конструкций из однородных материалов. Для конструкций, состоящих из разнородных материалов, к которым относятся и кирпичные стены с кладкой из кирпичей и раствора, имеющей внутри горизонтальные и вертикальные полосы, каверны, трещины и т.д., величина сопротивления воздухопроницанию определяется как

$$R_{inf} = \frac{1}{i_k}, \quad (5.9)$$

где i_k – коэффициент воздухопроницаемости однослойного ограждения или его отдельного слоя, $\text{кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$.

Сопротивление воздухопроницанию многослойных стен

$$R_{inf} = \sum_{j=1}^n R_{infj}, \quad (5.10)$$

где R_{infj} – сопротивление воздухопроницанию j -го слоя конструкции.

Сопротивление воздухопроницанию материалов и конструкций кирпичных стен по данным [20] приведено в приложении в табл. Пб.

Сопротивление воздухопроницанию стен R_{inf}^{des} согласно СНиП 23-02–2003 [19] должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию R_{inf}^{red} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$, т.е.

$$R_{inf}^{des} \geq R_{inf}^{red}. \quad (5.11)$$

Величина R_{inf}^{des} может быть найдена по формулам (5.9) и (5.10) или принята по табл. Пб. Для эксплуатируемых стен величина R_{inf}^{red} может быть определена экспериментально.

Величина нормируемого сопротивления R_{inf}^{red} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$, определяется согласно СНиП 23-02–2003 [19] по формуле

$$R_{int}^{red} = \frac{\Delta P}{G_n}, \quad (5.12)$$

где ΔP – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях стены, определяемая с учетом теплового и ветрового напора [см. формулы (5.1) – (5.3)] по формуле

$$\Delta P = 0,55H(\gamma_{ext} - \gamma_{int}) + 0,03\gamma_{ext}v^2; \quad (5.13)$$

G_n – нормируемая воздухопроницаемость ограждения, принимаемая согласно СНиП 23-02–2003 [19] для наружной стены гражданских зданий равной $0,5 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Пример 5.1. Проверить воздухопроницаемость кирпичной стены дома, эксплуатируемого в условиях г. Тамбова. При обследовании установлено, что дом имеет 16 этажей. Высота этажа 3,3 м. Стена сложена из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе с $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$. Толщина стены 0,64 м (2,5 кирпича). Стена оштукатурена с внутренней стороны известково-песчаным раствором толщиной 0,02 м с $\rho_0 = 1600 \text{ кг/м}^3$. С наружной стороны стена выполнена неоштукатуренной с расшивкой швов. Температура внутреннего воздуха в зимний период $t_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Относительная влажность внутреннего воздуха $\varphi_{int} = 55 \%$. Определить снижение сопротивления теплопередаче стены и температуру внутренней поверхности стены при наличии в ней инфильтрации воздуха.

Решение. Устанавливаем данные, необходимые для расчета. Так как $t_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi_{int} = 55 \%$, по табл. 2.2 имеем, что влажностный режим помещений нормальный. По прил. в СНиП 23-02-2003 [19] район строительства здания относится к сухой зоне. Следовательно, условия эксплуатации стены А (см. табл. 2.3). Тогда по табл. П2 принимаем для материалов стены коэффициенты теплопроводности равными: для кладки из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе с $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3 - \lambda_{кл} = 0,70 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$; для известково-песчаной штукатурки с $\rho_0 = 1600 \text{ кг/м}^3 - \lambda_{шт} = 0,70 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$. Температура наружного воздуха за наиболее холодную пятидневку согласно СНиП 23-01-99* [21] составляет $t_{ext} = -28 \text{ }^\circ\text{C}$, а расчетная скорость ветра в январе равна $v = 5 \text{ м/с}$.

Определяем требуемое сопротивление воздухопроницанию стены. Для этого вначале по формуле (5.2) вычисляем значения γ_{int} и γ_{ext} :

$$\begin{aligned} \gamma_{int} &= 3463/(273 + 20) = 11,82 \text{ Н/м}^3; \\ \gamma_{ext} &= 3463/(273 + (-28)) = 14,13 \text{ Н/м}^3. \end{aligned}$$

Высота здания составляет $H = 3,3 \cdot 16 = 52,8 \text{ м}$. Тогда по формуле (5.13) имеем

$$\Delta P = 0,55 \cdot 52,8(14,13 - 11,82) + 0,03 \cdot 14,13 \cdot 5^2 = 67,10 + 10,60 = 76,70 \text{ Па}.$$

Требуемое сопротивление по формуле (5.12) с учетом того, что для наружных стен нормативная воздухопроницаемость равна $G_n = 0,5 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{ч)}$, составляет

$$R_{inf}^{red} = 76,70/0,50 = 153,71 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}.$$

По формуле (5.10) на основании данных табл. П6 находим фактическое сопротивление воздухопроницанию стены

$$R_{inf}^{des} = R_{inf_{кл}} + R_{inf_{шт}} = 18 + 142 = 160 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}.$$

Так как $R_{inf}^{des} = 160,0 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг} > R_{inf}^{red} = 153,4 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$, эксплуатируемая кирпичная стена отвечает требованиям по защите от воздухопроницания.

Определяем снижение сопротивления теплопередаче стены при инфильтрации через нее воздуха.

Для этого по формуле (3.20) производим расчет сопротивления теплопередаче стены при отсутствии фильтрации

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} + \frac{\delta_{кл}}{\lambda_{кл}} + \frac{1}{\alpha_e} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,64}{0,7} + \frac{1}{23} = 1,10 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/Вт}$$

и определяем количество воздуха, проходящего через конструкцию?

$$G = \Delta P / R_{inf}^{des} = 67,10/160 = 0,42 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{ч)}.$$

Подставляя полученные значения R_0 и G в формулу (5.5), находим сопротивление теплопередаче стены при наличии инфильтрации воздуха через нее

$$R_{0inf} = \frac{2,718^{1-0,42+1,10} - 1}{1 \cdot 0,42 \cdot 2,718^{1-0,42+1,10}} = \frac{1,59 - 1}{0,67} = 0,88 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Таким образом, сопротивление теплопередаче снизилось при инфильтрации на $(1,10 - 0,88) \cdot 100 / 1,10 = 20,0 \%$.

Определяем по формуле (5.4) температуру внутренней поверхности стены при инфильтрации воздуха.

Вначале вычислим

$$R_x = R_0 - \frac{1}{\alpha_i} = 1,10 - \frac{1}{8,7} = 0,98 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Тогда

$$\tau_{intinf} = -28 + (20 - (-28)) \frac{2,718^{1-0,42+0,98} - 1}{2,718^{1-0,42+1,10} - 1} = 14,20 \text{ °C.}$$

Температура на внутренней поверхности стены без фильтрации воздуха по формуле (3.36) составляет

$$\tau_{int} = 20 - \frac{1(20 - (-28))}{1,10 \cdot 8,7} = 14,98 \text{ °C.}$$

В соответствии с нормативными требованиями температура на внутренней поверхности наружной стены τ_{int} должна быть не ниже $\tau_{int} = t_{int} - \Delta t_n = 20 - 4 = 16 \text{ °C}$. Здесь $\Delta t_n = 4 \text{ °C}$ принято по табл. 5 СНиПа 23-02-2003 [19].

Видно, что стена не обеспечивает санитарно-гигиенических требований по теплозащите. $\tau_{int}^{des} = 14,98 \text{ °C} < \tau_{int}^{red} = 16 \text{ °C}$. Условия еще больше ухудшаются за счет инфильтрации воздуха через стену

$$\tau_{intinf} = 14,20 \text{ °C} < \tau_{int} = 14,98 \text{ °C.}$$

Для уменьшения вредного влияния инфильтрации воздуха необходимо повысить сопротивление воздухопроницанию стены за счет устройства более плотной штукатурки, например, цементно-песчаной. Возможно также на нижних этажах оштукатурить наружную поверхность стен.

Следует отметить, что для обеспечения требований норм необходимо не только повысить сопротивление воздухопроницанию, но и обеспечить требуемое сопротивление теплопередаче. Выбор конструктивного решения требуемой теплозащиты должен учитывать необходимость повышения уровня воздухопроницаемости стен.

5.3 Мероприятия по ограничению фильтрации воздуха в кирпичных стенах

Как видно из предыдущего примера, инфильтрация воздуха понижает температуру внутренней поверхности стены и, следовательно, ухудшает санитарно-гигиенический режим ограждения. В случае эксфильтрации, как указывалось выше, в стенах, за счет большего прохождения теплого воздуха с повышенным содержанием влаги, будет накапливаться большее количество влаги, чем при отсутствии фильтрации.

Для уменьшения инфильтрации и эксфильтрации необходимо повышать сопротивление воздухопроницанию стены за счет устройства на внутренних и наружных поверхностях более плотных штукатурок. Штукатурка должна быть воздухопроницаемой, но в то же время быть с наружной стороны стены и микропористой, обеспечивая удаление водяного пара из конструкции при сушке стены в летних условиях (см. главу 4).

Кроме поперечной (сквозной) фильтрации в кирпичных стенах при недостаточной воздухозащите

может происходить также «продольная» фильтрация.

Явление продольной фильтрации состоит в том, что при воздействии ветра холодный наружный воздух может проникать через поверхность ограждения в его толщу и этим вызвать дополнительные потери тепла стеной и охлаждение помещений.

При исследовании кирпичных стен в г. Тамбове было установлено, что явление «продольной» фильтрации часто проявляется в зданиях с неоштукатуренными с наружной стороны стенами. В процессе эксплуатации в таких стенах со временем происходит разрушение расшивки швов. В результате этого холодный воздух беспрепятственно попадает внутрь стены. Кирпичные стены, как правило, сложены «впустошовку» и имеют внутри вертикальные полости, соединенные через определенное расстояние горизонтальными полостями. При проникновении в глубь конструкции под давлением ветра и теплового напора холодный воздух нагревается и, поднимаясь вверх, уходит из конструкции наружу. В местах, где проходит холодный воздух, на внутренних поверхностях стен резко понижается температура и может выпадать конденсат. Такое явление «продольной» фильтрации может возникать и сразу же после строительства. Как правило, это связано с плохо выполненной расшивкой наружных швов, и, как показывают обследования, особенно, вертикальных.

При эксплуатации для исключения явления продольной фильтрации необходимо восстанавливать расшивку швов путем их затирки или полного оштукатуривания поверхности стены.

Продольная фильтрация возникает также и в оштукатуренных стенах при разрушении штукатурки с наружной стороны стены (см. рис. 5.3). При отслоении штукатурки швы оголяются и воздух легко проникает внутрь стены, понижая температуру внутренней поверхности. Конструкции стен с повышенной фильтрацией имеют, как правило, повышенную влажность, что резко снижает их теплозащитные качества и долговечность.

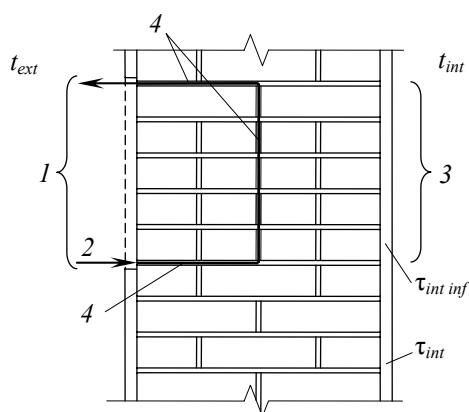


Рис. 5.3 Схема «продольной» фильтрации в стенах с кладкой «впустошовку»:

1 – разрушенный участок наружной штукатурки; 2 – холодный воздух, проникающий в стену; 3 – зона понижения температуры на внутренней поверхности $\tau_{int inf} < \tau_{int}$; 4 – незаполненные вертикальные и

В процессе эксплуатации необходимо своевременно восстанавливать поврежденные слои штукатурки.

У наружных стен, состоящих из воздухопроницаемых крупнопористых или пустотелых кирпичей, «продольная» фильтрация может возникать даже при отсутствии ветра только под влиянием теплового напора. При этом через наружную поверхность в нижней части стены холодный наружный воздух будет проникать в стену, а в верхней части нагретый воздух будет уходить из нее. Для исключения этого процесса наружные крупнопористые материалы должны быть оштукатурены.

В настоящее время нет надежной методики расчета влияния «продольной» фильтрацией на тепло-технический режим ограждений. Однако это явление необходимо учитывать при проектировании конструкций стен и соблюдать правила эксплуатации стен с возможной «продольной» фильтрацией воздуха.

Повышенную воздухопроницаемость имеют кирпичные стены, выполненные с внутренними воздушными прослойками. Для уменьшения воздухопроницаемости в таких стенах необходимо устраивать плотные штукатурные слои с внутренней и наружной стороны стен.

Повышенной воздухопроницаемостью обладают облегченные кирпичные стены, выполненные с засыпным утеплителем (см., например, рис. 1.5). В процессе эксплуатации при проникновении воздуха внутрь засыпки в ней возникают внутренние токи воздуха, резко снижающие теплозащитные качества насыпного утеплителя (см. рис. 5.4).

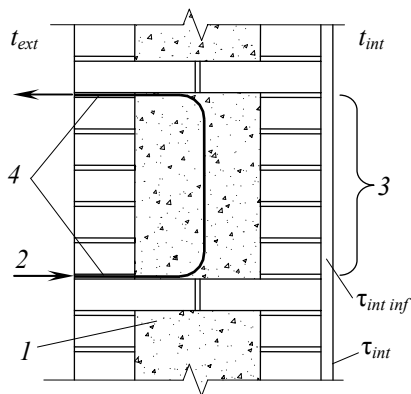


Рис. 5.4 Схема «продольной» фильтрации в стенах с теплоизоляционными засыпками:

1 – теплоизоляционная засыпка; 2 – холодный воздух;
3 – зона пониженной температуры на внутренней поверхности стены;
4 – сквозные швы в швах кладки

Влияние такой фильтрации проявляется в еще большей мере при осадке утеплителя в процессе эксплуатации стен. Осадка утеплителя увеличивается при динамических воздействиях на стены (вибрации, ударов и т.д.). Для уменьшения влияния воздухопроницаемости на теплозащиту стен с утеплителем из засыпных материалов необходимо ограничивать свободную высоту засыпок устройством поперечных диафрагм через 0,5 м и менее, а также оштукатуривать стены плотными штукатурками.

При большой воздухопроницаемости внутренних швов кирпичной кладки, сложенной «впустошовку», даже при наличии плотных слоев штукатурки с внутренней и наружной поверхностями стен, внутри кладки стены под влиянием разности температур могут возникнуть конвекционные токи воздуха, аналогичные токам воздуха в воздушных прослойках. Это явление носит название «внутренней» фильтрации. Схема «внутренней» фильтрации в кирпичных стенах приведена на рис. 5.5. «Внутренняя» фильтрация существенно снижает теплозащитные качества стен и понижает температуру на внутренней поверхности стен. В этих местах на стене при эксплуатации может выпадать конденсат. Для исключения процесса «внутренней» фильтрации необходимо качественно заполнять раствором горизонтальные и вертикальные швы кладки.

Таким образом, повышенная воздухопроницаемость кирпичных стен существенно ухудшает их эксплуатационные качества. Особенно это заметно в стенах, имеющих воздухопроницаемые прослойки или воздушные полости. Поэтому при эксплуатации стен необходимо обеспечивать условия, исключающие повышенную воздухопроницаемость.

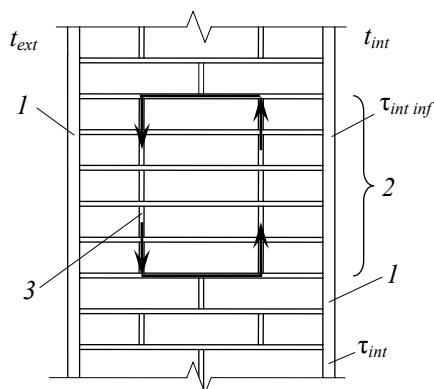


РИС. 5.5 СХЕМА «ВНУТРЕННЕЙ» ФИЛЬТРАЦИИ В КИРПИЧНЫХ СТЕНАХ, СЛОЖЕННЫХ «ВПУСТОШОВКУ»:

6 ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ КАЧЕСТВ СТЕН ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ КИРПИЧНЫХ ЗДАНИЙ

Как показано ранее в главе 3, новые требования по теплозащите зданий приводят к необходимости утепления наружных стен, в том числе и кирпичных. Практически все стены эксплуатируемых кирпичных зданий подлежат дополнительному утеплению, которое должно выполняться, как правило, на стадиях капитального ремонта или реконструкции здания. На неутепленных эксплуатируемых стенах имеются зоны с пониженными температурами внутренних поверхностей. На некоторых из них в процессе эксплуатации может выпасть конденсат. Такие участки стен подлежат немедленно к утеплению.

6.1 Повышение теплозащитных качеств отдельных участков наружных кирпичных стен

В наружных кирпичных стенах, запроектированных по нормам теплозащиты, действующим до 1995 г., всегда имеются участки, на которых нарушены условия для формирования одномерных температурных полей. На этих участках образуются двухмерные или трехмерные поля. Подобными особенностями обладают, в частности, наружные углы, карнизы, места пересечения стен, оконные проемы, коколы, места опирания плит и балок на стены и др.

Так как температура на поверхностях этих мест ниже, чем температура на остальной глади стены, достаточно часто в стенах возникают ситуации, когда температура опускается ниже температуры точки росы и выпадает конденсат. Для исключения этого при эксплуатации необходимо производить теплотехнические расчеты таких участков стен и на их основе разрабатывать меры по дополнительному повышению теплозащиты. Теплотехнический расчет заключается в построении температурного поля и сравнении полученных температур с величинами, допустимыми по условиям невыпадения конденсата.

Ниже рассматриваются некоторые меры, которыми можно обеспечить повышение теплозащитных качеств отдельных участков стен.

Наружные углы стен. На рис. 6.1 в качестве примера дан характер распределения температур в толще кирпичной стены вблизи наружного угла. Видно, что по мере приближения к углу изотермы изгибаются и смещаются к внутренней поверхности. Температура на внутренней поверхности наружного угла значительно ниже температуры на глади стены. Расположение изотерм в толще стены вблизи угла показывает, что через наружный угол происходит более интенсивный отток тепла. Однако более опасными с позиции эксплуатации в этом случае являются не дополнительные потери тепла, а понижение температур ниже точки росы. Температура точки росы, например, при $t_{int} = 18\text{ °C}$ и относительной влажности воздуха $\phi_{int} = 55\%$ равняется $t_d = 8,8\text{ °C}$, а температура угла в данном случае составляет $\tau_{sigr} = 6,2\text{ °C}$. Следовательно, в углу будет происходить выпадение конденсата.

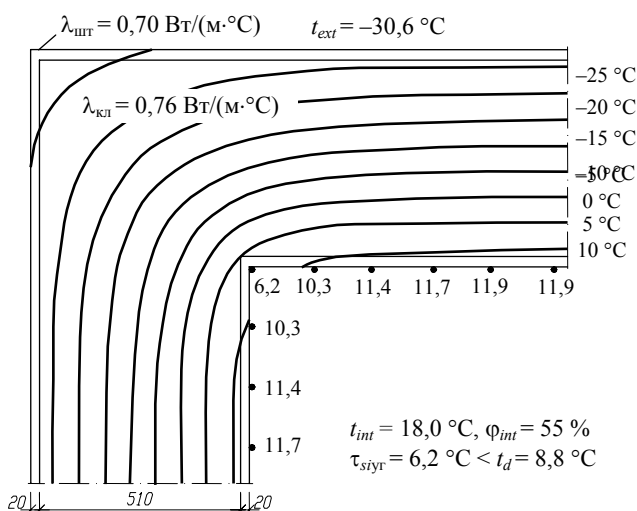


Рис. 6.1 Распределение температур в угловой части стены, выполненной из силикатного кирпича и оштукатуренной известково-цементным раствором с двух сторон. Расчет поля выполнен по программе TEPLO.BAS

Понижение температуры в углу обуславливается двумя причинами:

– неравенством площадей тепловосприятия и теплоотдачи в наружном углу: площадь теплоотдачи значительно больше площади тепловосприятия, и, следовательно, наружный угол испытывает большее, чем гладь стены, охлаждение;

– уменьшением величины коэффициента теплоотдачи внутренней поверхности α_i вследствие уменьшения передачи тепла излучением и более низкой интенсивности конвекционных потоков воздуха в углу.

Величина понижения температуры углу зависит:

– от формы угла: при тупом угле понижение температуры будет меньше;

– от конструкции угла и порядка расположения теплоизоляционных материалов в нем: при расположении плотных теплопроводных материалов с внутренней стороны из-за увеличения интенсивности подвода тепла температура угла повышается и, наоборот, при расположении плотных слоев с наружной стороны из-за увеличения отдачи тепла наружной поверхностью температура понижается;

– от величины термического сопротивления стены: с повышением сопротивления разность $\tau_{si} - \tau_{sigr}$ уменьшается и, наоборот, с понижением сопротивления – растет;

– от разности температур внутреннего и наружного воздуха: величина $\tau_{si} - \tau_{sigr}$ прямо пропорциональна разности температур $t_{int} - t_{ext}$;

– от величины α_i : с понижением величины α_i в углу увеличивается сопротивление тепловосприятию $R_b = 1/\alpha_i$ и вследствие этого понижается его температура.

Исходя из вышеизложенного, температуру внутренних поверхностей наружных углов стен можно повышать, используя следующие способы (рис. 6.2):

1 Скашивание внутренних поверхностей наружного угла вертикальной плоскостью (рис. 6.2, а). Скашивание можно выполнять из того же материала, что и стена, или же применять более плотные материалы. В последнем случае температура угла будет выше. Ширина скашивающей плоскости должна определяться из расчета температурного поля и быть не менее 25 см.

2 Скругление внутренней поверхности наружного угла (рис. 6.2, б). Радиус скругления должен определяться из расчета температурного поля и должен быть не менее 30 см.

3 Установка в наружных углах стояков отопления (рис. 6.2, в). При расчетных зимних условиях стояк повышает температуру угла примерно на 6 °С.

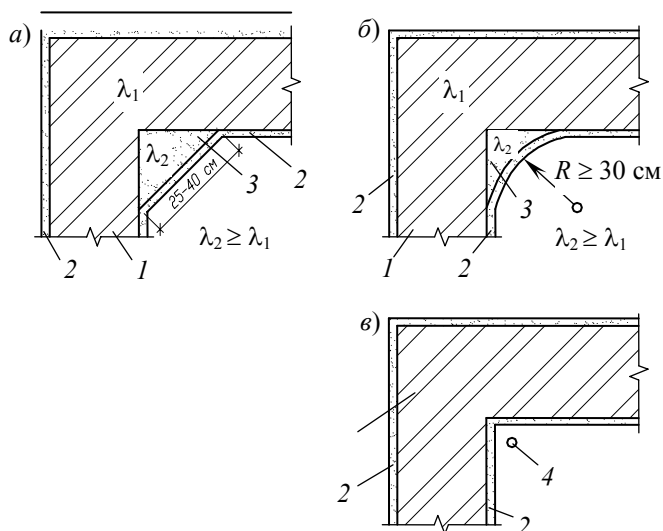


Рис. 6.2 Способы повышения температуры внутренней поверхности наружных углов:

а – скашиванием внутренней поверхности; б – скруглением внутренней поверхности; в – установкой стояка отопления; 1 – стена; 2 – отделочный слой; 3 – утепляющий бетон или раствор; 4 – стояк отопления.

Карнизные узлы. Карнизным узлом называется место примыкания чердачного перекрытия или совмещенного покрытия к наружной стене. Теплотехнический режим карнизного узла схож с режимом наружных углов. Как показывает практика, в ряде случаев в кирпичных зданиях, и особенно, с совмещенными неветилируемыми покрытиями из-за неудовлетворительного конструктивного решения тем-

пература карнизных узлов понижается весьма значительно. Поэтому при эксплуатации приходится производить утепление карнизной части стен и перекрытий. Ширина и толщина утеплителя определяется расчетом температурного поля карнизного узла. Конструктивно утепление может быть выполнено отдельными сборными элементами из легких бетонов, пенополистиролов, или «теплыми» штукатурными растворами по сетке. В качестве примера на рис. 6.3 приведены возможные варианты утепления карнизного узла при совмещенном неветилируемом покрытии жилого дома.

Опираие плит перекрытий на стены. Понижение температур наблюдается также на участках опирания плит перекрытий на стены. Оно тем более заметно, чем тоньше стены и чем больше глубина заделки в них плит. Определение температур в местах опирания плит перекрытия на стены может быть выполнено построением температурного поля на ЭВМ или расчетом по методике как для теплопроводного включения (см. параграф 3.5). Характер распределения температур на таких участках стен приведен на рис. 3.11.

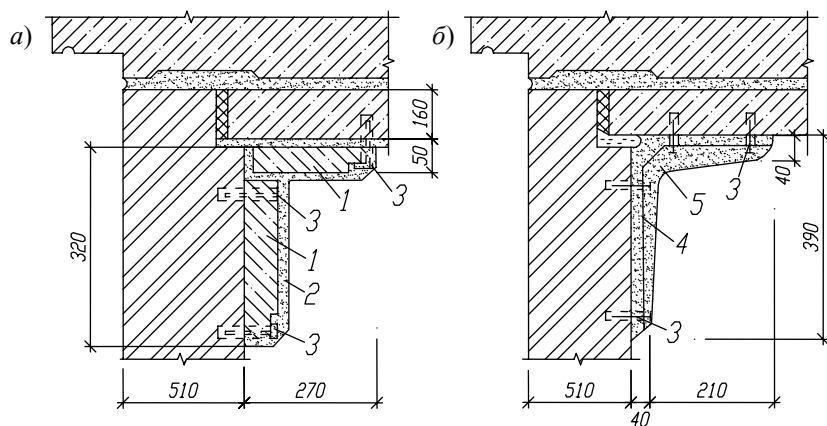


Рис. 6.3 Схемы утеплений карнизных участков кирпичных стен в жилом доме:

а – утепление легкобетонными плитами; *б* – утепление «теплым» штукатурным раствором: 1 – легкобетонные плиты утепления; 2 – затирка из цементно-песчаного раствора; 3 – дюбели; 4 – металлическая сетка с ячейкой 10 × 10 мм; 5 – «теплый» раствор

Повышение температур в этом случае может быть достигнуто устройством дополнительного утепления вухом аналогично утеплению карнизного узла с нижней стороны и приклейкой утеплителя с верхней стороны плиты.

Пример 6.1. Выполнить расчет и проектирование дополнительной теплозащиты в месте опирания плиты перекрытия на наружную стену. На стене и плитах в месте опирания плит на стены зимой при повышении влажности воздуха до 60 % и более происходит выпадение конденсата. Стена выполнена из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе с $\lambda_{\text{кл}} = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ и оштукатурена с внутренней стороны цементно-песчаным раствором толщиной 2 см с $\lambda_{\text{шт}} = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Толщина кладки стены 51 см. Перекрытие выполнено из железобетонных плит сплошного сечения толщиной 16 см с $\lambda_{\text{жб}} = 1,92 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Глубина опирания плит на стену 20 см. Здание построено в г. Ярцево Иркутской области. Расчетная температура наиболее холодной пятидневки $-47 \text{ }^\circ\text{C}$, температура внутреннего воздуха помещения $20 \text{ }^\circ\text{C}$. При относительной влажности 60 % температура точки росы равна $t_d = 12,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Решение. Так как в месте опирания плиты на стену температурное поле двухмерное, расчет распределения температур на поверхностях ограждений и в их толще выполнен на ПЭВМ по программе TEPLO.BAS.

Результаты расчетов показывают (рис. 6.4, *а*), что в месте опирания плиты на стену температура составляет $\tau_{\text{пл}} = 10,9 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура в месте опирания плиты на стену ниже температуры точки росы $t_{\text{пл}} = 10,9 \text{ }^\circ\text{C}$

$< t_d = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ и, следовательно, на поверхностях плит и стены может образовываться конденсат. Для исключения конденсата необходимо произвести утепление участка стены и мест опирания плит. Для утепления принимаются пенополистерольные плиты $\gamma_0 = 40 \text{ кг}/\text{м}^3$ с $\lambda_{\text{ут}} = 0,041 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

На основании расчетов температурных полей получено конструктивное решение, обеспечивающее невыпадение конденсата на стене и плитах. В этом случае для повышения температуры в месте опирания плит предлагается устройство вухов шириной 100 мм с нижней и верхней сторон плиты. Толщина

утеплителя принимается равной 40 мм. Устройство вутов производится в виде плинтусов и карнизов большого сечения. Следует отметить, что устройство вутов позволит исключить только выпадение конденсата. В то же время температура стены значительно ниже величины, при которой должно обеспечиваться условие $\tau_{int} - \tau_{si} = \Delta t_0 \leq \Delta t_n$ (см. параграф 3.6). В данном случае $\Delta t_0 = 20 - 12,2 = 7,8 \text{ }^\circ\text{C} > \Delta t_n = 4,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Для выполнения этого условия необходимо производить утепление всей поверхности стены. Полное утепление стен рассмотрено в параграфе 6.2.

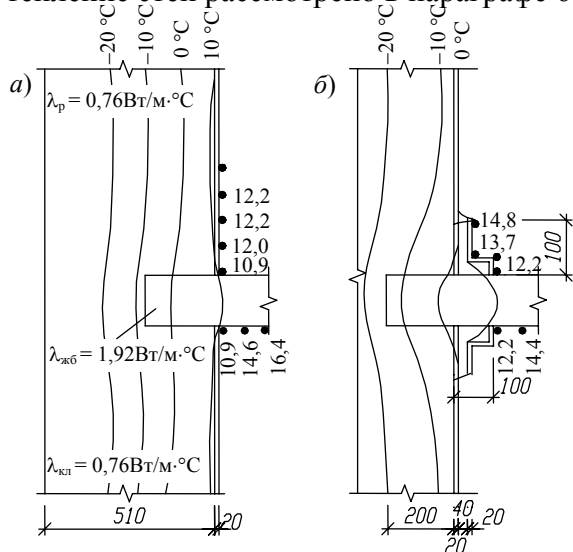


Рис. 6.4 Температурные поля в месте опирания железобетонных плит на кирпичную стену:

Повышение температур поверхностей в зоне опирания на стены многпустотных плит перекрытий в ряде случаев достигается закачкой в пустоты плит вблизи мест опирания вспенивающегося утеплителя (рис. 6.5).

Цокольная часть стен. В нижней части стен понижение температур наблюдается в местах примыкания пола первого этажа к поверхности наружной стены. Для повышения температуры в этих случаях необходимо устраивать по периметру наружных стен пол с повышенными теплозащитными качествами. Кроме этого необходимо увеличивать теплозащитные качества цокольной части стены устройством дополнительного утепления. Выполнение теплозащиты цокольных участков производится, как правило, совместно с общим утеплением стен (см. параграф 6.2). Чаще всего необходимость утепления возникает при полах, устраиваемых непосредственно на грунте или бетонной подготовке. В таких случаях рекомендуется устраивать за цоколем стены по всему периметру здания теплую засыпку, например, шлаком или керамзитом. Повышение температуры пола может достигаться также устройством плинтусов большого размера с установкой их на слое легкого утеплителя.

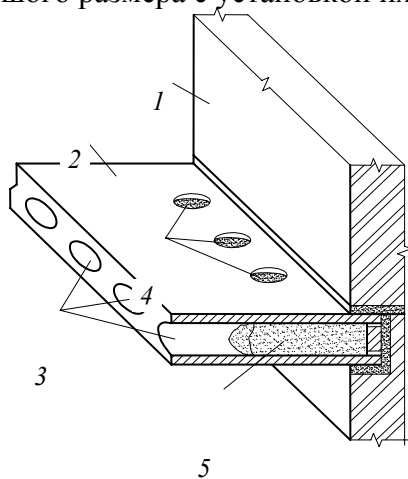


Рис. 6.5 Повышение температуры поверхности плит в зоне опирания их на стены инъектированием в пустоты вспенивающегося утеплителя:

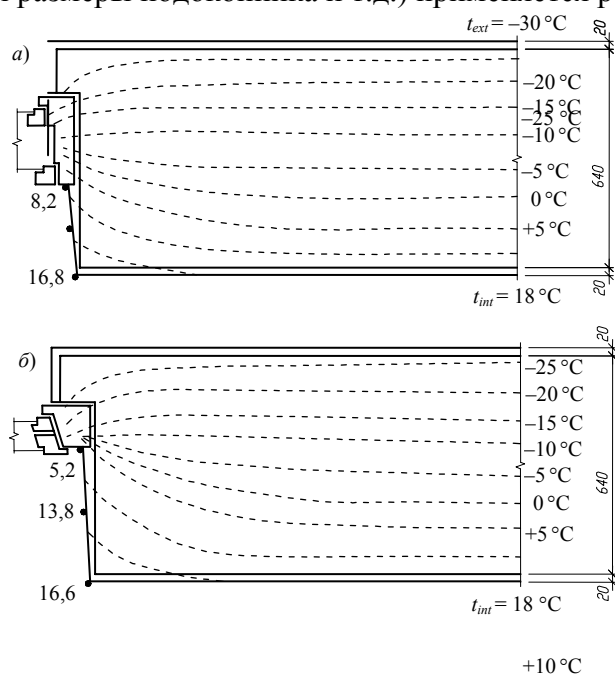
- 1 – наружная стена; 2 – плита перекрытия; 3 – пустоты плиты;
- 4 – отверстия для инъектирования;
- 5 – вспененный утеплитель

Оконные проемы. Участки стен у оконных проемов в значительной мере влияют на тепловой комфорт помещения вблизи окна. Температурные поля в стене у окна двумерные (середина высоты окна) или трехмерные (угловые участки у перемычек и подоконника). Распределение температур в стене для первого случая приведено на рис. 6.6. Видно, что температурное поле стены изменяется по направлению к окну. Эти изменения тем значительней, чем толще стена и чем меньше ширина оконной коробки. Температура внутренней поверхности стены несколько повышается по направлению к откосу, а на откосе резко падает.

Низкие температуры на откосах проемов могут приводить к выпадению конденсата, а также вызывают дополнительные потери тепла, возрастающие относительно общих теплопотерь с увеличением толщины стены. Дополнительные потери тепла через откосы могут учитываться вместе с потерями тепла через оконные заполнения. В общих теплопотерях этого участка ограждения они тем больше, чем больше периметр окна по отношению к его площади и чем меньше расстояние между окнами.

Увеличение температур на откосах достигается увеличением расстояния между переплетами и увеличением размеров коробок.

При установке в кирпичных стенах современных окон из пластиковых материалов из-за малой ширины коробок на откосах может выпадать конденсат. С целью исключения конденсата в последнее время в пластиковых окнах начинают использовать уширенные коробки, а также производят смещение коробок к внутренней поверхности стены. Последний способ из-за эксплуатационных неудобств (уменьшаются размеры подоконника и т.д.) применяется реже.



$t_{ext} = -30^\circ\text{C}$

+10 °C

Рис. 6.6 Распределение температур в стене вблизи оконного проема для стены из силикатного кирпича, оштукатуренной цементно-песчаным раствором:

a – для оконного блока с двумя отдельными переплетами;
б – то же, со спаренными переплетами. Расчет выполнен на ПЭВМ по программе TEPLOBAS

При ремонтах в случае утепления стен с внутренней стороны необходимо также утеплять и откосы, используя для этого эффективные теплоизоляционные материалы. Выбор утеплителя и установление необходимой толщины теплоизоляции должен производиться на основе расчетов температурных полей на откосах и в простенках.

Теплопроводные включения. Как отмечено ранее, в стенах кирпичных зданий имеется большое количество теплопроводных включений. К ним, в частности, относятся места опирания плит перекрытия и другие протяженные элементы, утепление которых рассмотрено выше. Кроме них имеются также отдельные теплопроводные включения ограниченных размеров, например, железобетонные и стальные балки, заделанные в стены, перемычки, консоли и т.п. Так как эти элементы имеют коэффициенты теплопроводности материала большие, чем коэффициенты теплопроводности материала стены, температура в зимних условиях на включениях и вблизи их оказывается ниже температуры остальной глади стены. При определенных условиях здесь может выпасть конденсат.

Для повышения температуры на включениях необходимо утеплять эти участки стен, располагая за включениями в теле конструкции или с наружной стороны ее теплоизоляцию. Например, в кирпичных стенах дополнительную теплоизоляцию при реконструкции или капитальном ремонте можно устанавливать, разобрав часть кладки и заменив ее теплоизоляцией. В случае заделанных в стену колонн утепление их ведут устройством с наружной стороны утепляющих пилластр. Размеры пилластр определяются из расчета температурного поля стены на этом участке. Аналогично решаются и другие подобные задачи.

Пример 6.2. Выполнить расчет и проектирование дополнительной теплозащиты в месте опирания плиты перекрытия на обвязочную балку в наружной стене. Стена выполнена из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе с $\lambda_{\text{кл}} = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ и оштукатурена с внутренней стороны цементно-песчаным раствором толщиной 2 см с $\lambda_{\text{шт}} = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Толщина кладки стены 51 см. Перекрытие выполнено из железобетонных плит сплошного сечения толщиной 16 см с $\lambda_{\text{жб}} = 1,92 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Глубина

опирания плит на стену 20 см. Расчетная температура наиболее холодной пятидневки $t_{ext} = -30,5 \text{ }^\circ\text{C}$, температура внутреннего воздуха помещения $t_{int} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха $\phi_{int} = 60 \%$. Температура точки росы $t_d = 10,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Решение. Так как в месте опирания плиты на стену температурное поле двумерное, расчет распределения температур на поверхностях ограждений и в их толще выполнен на ПЭВМ по программе ТЕ-PL0.BAS (рис. 6.7).

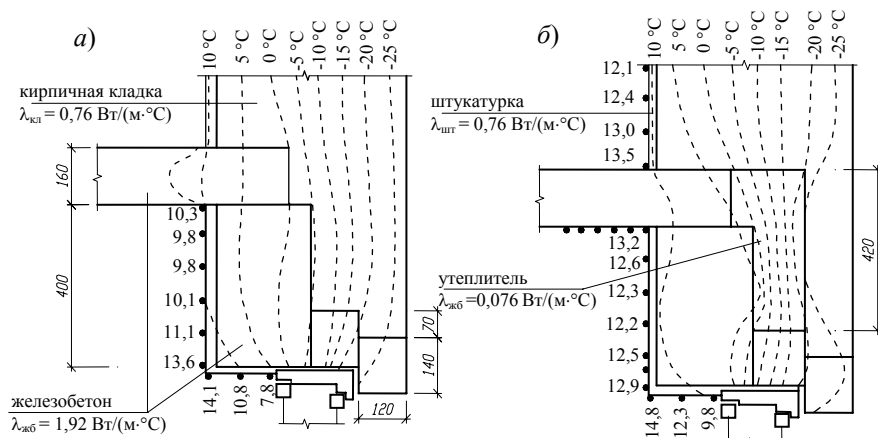


РИС. 6.7 ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ В МЕСТЕ ОПИРАНИЯ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ НА ОБВЯЗОЧНУЮ БАЛКУ: А – БЕЗ УСТРОЙСТВА УТЕПЛЕНИЯ; Б – ПРИ УТЕПЛЕНИИ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТОЙ

Результаты расчетов показывают (рис. 6.7, а), что на внутренней поверхности стены в месте расположения обвязочной балки будет выпадать конденсат: температура поверхности составляет $\tau_{si} = 9,8 \text{ }^\circ\text{C}$, что ниже температуры точки росы $t_d = 10,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Еще более низкая температура наблюдается на откосе стены вблизи коробки. Для утепления этого участка ограждения предлагается разобрать часть кладки и в промежутке между балкой и наружным слоем кладки выполнить утепление из минеральной ваты с $\lambda_{ут} = 0,076 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$. Утепление позволит повысить температуру на внутренней поверхности стены в месте расположения обвязочной балки до $\tau_{в} = 12,2 \text{ }^\circ\text{C}$. На $2 \text{ }^\circ\text{C}$ повысится также температура на откосе оконного проема (рис. 6.7, б).

Замкнутые воздушные прослойки внутри стен. В пределах кирпичных стен воздушные прослойки могут быть образованы как при строительстве, так при реконструкции и капитальном ремонте стен, например, при установке дополнительного утепления.

Замкнутые герметичные прослойки, как показано в главе 3, имеют невысокие термические сопротивления. Повышение их термического сопротивления можно достичь путем облицовки одной из поверхностей воздушной прослойки алюминиевой фольгой с малым коэффициентом излучения. Облицовку для избежания конденсации влаги следует располагать на теплой стороне прослойки. Лучистый тепловой поток за счет облицовки уменьшается примерно в 10 раз. Облицовка фольгой второй поверхности практически не изменяет этот результат и поэтому не устраивается.

Эффективным методом увеличения термического сопротивления прослойки является ее экранирование – разделение тонкими перепонками-стенками на ряд узких слоев. Установка даже одного экрана из того же материала, что и стена, снижает лучистый поток в два раза, а установка экрана из алюминиевой фольги уменьшает поток в 20 раз. С увеличением числа экранов этот эффект возрастает. На этом принципе основана теплоизоляция «аль-фоль», выполненная в виде плоских листов фольги, которые располагают на расстоянии 10...15 мм друг от друга, или в виде мятых, гофрированных листов фольги. Условный коэффициент теплопроводности слоя такой изоляции при гладких листах равен $0,031 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$, при гофрированных – $0,028 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$.

Указанные средства повышения теплоизоляции прослоек используются в основном при строительстве и реже при реконструкции.

В процессе эксплуатации для повышения теплозащиты выгодно заполнять воздушные прослойки эф-

фективным теплоизоляционным материалом, например, закачивать в прослойки через пробитые в стенах отверстия вспенивающийся утеплитель с $\lambda \approx 0,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$.

6.2 Проектирование и устройство дополнительной теплоизоляции наружных стен при реконструкции и капитальном ремонте кирпичных зданий

Как показано ранее, причинами, требующими повышения теплоизоляции наружных кирпичных стен, являются несоответствие их теплозащитных качеств нормативным требованиям по санитарно-гигиеническим условиям, а также необходимость повышения теплозащиты зданий с целью уменьшения расхода тепловой энергии на их отопление.

Решение этой задачи должно производиться в определенной последовательности.

Вначале устанавливается место расположения теплозащитного материала по отношению к наружному воздуху. Затем выбирается материал дополнительной теплоизоляции, принимается принципиальное конструктивное решение утепления и выполняется теплотехнический расчет. После этого окончательно разрабатываются конструктивное решение теплозащиты и технология его устройства.

Выбор места расположения теплозащитного материала производится на основе анализа имеющихся достоинств и недостатков различных вариантов размещения теплоизоляции.

При ремонте и реконструкции могут быть использованы два варианта расположения дополнительной теплоизоляции: на внутренней или наружной поверхностях стен.

Вариант расположения материала на внутренней поверхности стены обладает следующими достоинствами:

- теплозащитный материал, как правило, не имеющий достаточной способности к сопротивлению воздействиями внешней среды, находится в благоприятных условиях и, следовательно, не требуется его дополнительная дорогостоящая защита от воздействий внешних по отношению к зданию факторов;

- производство работ по устройству теплозащиты может производиться в любое время года и при этом не требуется устройства дорогостоящих подмостей и лесов;

- сохранение архитектурно-художественных качеств фасадов здания.

К недостаткам расположения теплозащиты со стороны помещения относятся:

- уменьшение площади помещения за счет увеличения толщины стены;

- сложность устройства теплоизоляции в местах расположения приборов отопления, а также в пределах толщины пола (часто приходится вскрывать конструкцию пола);

- необходимость устройства с целью исключения выпадения конденсата дополнительной теплозащиты в местах опираний на стены плит перекрытия и в местах примыканий к наружным стенам внутренних стен и перегородок;

- необходимость защиты теплоизоляционного материала и кладки стены от увлажнения путем устройства со стороны помещения пароизоляционного слоя перед теплоизоляционным материалом;

- расположение после утепления хорошо аккумулирующего тепло существующего материала стены (например, кирпичной кладки) в зоне низких температур, что в значительной мере снижает тепловую инерцию ограждения.

Вариант расположения материала на наружной поверхности стены обладает существенными достоинствами. К ним, в частности, относятся:

- отсутствие «мостиков холода» после устройства теплоизоляции;

- исключение необходимости устройства пароизоляционного слоя;

- расположение хорошо аккумулирующего тепло материала (в данном случае кирпичной кладки) в зоне положительных температур, что повышает тепловую инерцию ограждения и способствует улучшению теплозащитных качеств при нестационарной теплопередаче.

Кроме того, при устройстве теплоизоляции с наружной стороны стены не уменьшаются площади помещений и отсутствует необходимость вскрытия полов.

Недостатками этого варианта являются необходимость устройства по теплоизоляции надежного защитного слоя, потребность при выполнении работ устройства подмостей и лесов, зависимость сроков выполнения работ от погодных условий, изменение архитектурно-художественных качеств фасада.

Выбор конкретного варианта производится с учетом изложенных факторов, а также исходя из объемов работ по теплозащите. В случае необходимости повышения теплозащиты стен только отдельных помещений теплоизоляция устраивается, как правило, с внутренней стороны.

Выбор материала для дополнительной теплозащиты производится из имеющегося набора строительных теплоизоляционных материалов.

Исходя из величины требуемого термического сопротивления дополнительной теплозащиты, которое превышает фактическое сопротивление теплопередаче кирпичных стен в два-три раза, в качестве дополнительной теплоизоляции эксплуатируемых кирпичных стен, как показывает имеющийся в настоящее время опыт, следует применять минераловатные и стекловолоконистые материалы (минераловатные маты, минераловатные плиты мягкие, полужесткие. Жесткие и повышенной жесткости на различных связующих, плиты из стекловолокна и др.), а также полимерные материалы (пенополистиролы, пенопласты, пенополиуретан, перлитопластбетоны и др.). Для дополнительной теплоизоляции могут применяться также плитные утеплители из пеностекла, газобетона и других подобных материалов, имеющих коэффициенты теплопроводности в пределах $0,04 \dots 0,07 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

Выбор конкретного материала зависит от целого ряда факторов. К основным из них относятся: место расположения теплоизоляционного материала (с внутренней или наружной стороны стены); требуемая по расчету толщина слоя теплоизоляции; возможности местной строительной индустрии; стоимость материала; трудоемкость устройства теплоизоляции; долговечность материала, противопожарные, экологические, гигиенические и другие требования, долговечность материала.

Конструктивное решение дополнительной теплозащиты зависит от:

- вида теплоизоляционного материала и его характеристик;
- характера поставки материала на стройплощадку;
- способа нанесения материала на стену;
- места расположения дополнительной теплоизоляции по отношению к наружному воздуху;
- толщины слоя дополнительной теплоизоляции;
- объема выполняемых работ и др.

Например, плитные утеплители из пеностекла, обладая небольшой величиной теплопроводности ($0,04 \dots 0,07 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$), в то же время имеют малые коэффициенты паропроницаемости ($\mu = 0,02 \dots 0,03 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$) по сравнению с другими эффективными утеплителями. Учитывая эти свойства пеностекла, а также его достаточно высокую прочность, целесообразно утеплитель из пеностекла применять при устройстве дополнительной теплоизоляции с внутренней стороны стены.

В отличие от пеностекла минераловатные плиты, имеющие повышенную паропроницаемость

($\mu = 0,3 \dots 0,6 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$) и относительно низкую прочность, более целесообразно размещать с наружной стороны стены.

Конструктивное решение дополнительной теплозащиты во многом определяется принятой конструкцией наружного защитного слоя теплоизоляции. В настоящее время в практике используются в основном два подхода. При первом подходе защитный слой устраивается непосредственно по теплоизоляционному материалу. При втором подходе защитный слой устраивается на отnose по отношению к теплоизоляции.

При первом подходе в качестве защитного слоя могут использоваться сухие отделочные материалы (например, гипсокартонные плиты), а также «мокрые» штукатурки.

Сухие отделочные материалы используются при размещении теплоизоляции с внутренней стороны помещения. При этом отделочные материалы могут приклеиваться к поверхности теплоизоляции или крепиться к направляющим механическими способами.

Примером таких конструкций служат комплексные плиты фирмы «Тиги Кнауф», состоящие из пенопластовых листов с приклеенными к ним гипсокартонными плитами. Гипсокартонные плиты имеют покрытие из материалов, обладающих пароизоляционными свойствами. Комплексные плиты теплоизоляции клеятся к стенам на специальных клеях.

Принципиальная схема устройства дополнительной теплоизоляции с комплексными плитами приведена на рис. 6.8.

Аналогичное решение может использоваться и при устройстве дополнительной теплоизоляции из пеностекла. Плиты из пеностекла крепятся на клею к стене и затем к ним приклеиваются отделочные материалы из гипсокартона. При этом, из-за того что пеностекло имеет малую паропроницаемость, могут быть использованы в отделке плиты без повышенных требований к пароизоляции.

При механическом креплении сухого отделочного слоя между отделочными листами и теплоизоляцией устраивается пароизоляционный слой, например, из полимерной пленки. Такое решение используется, как правило, при утеплении стен минераловатными плитами, размещаемыми между направляющими, закрепляемыми на стенах. Минераловатные плиты крепятся к стенам на клею или полимерными дюбелями. Листы облицовки с подложенной пароизоляцией крепятся к направляющим самонарезающими винтами и затем после обработки швов между плитами оклеиваются обоями.

«Мокрые» отделочные материалы применяются как при внутреннем, так и при наружном располо-

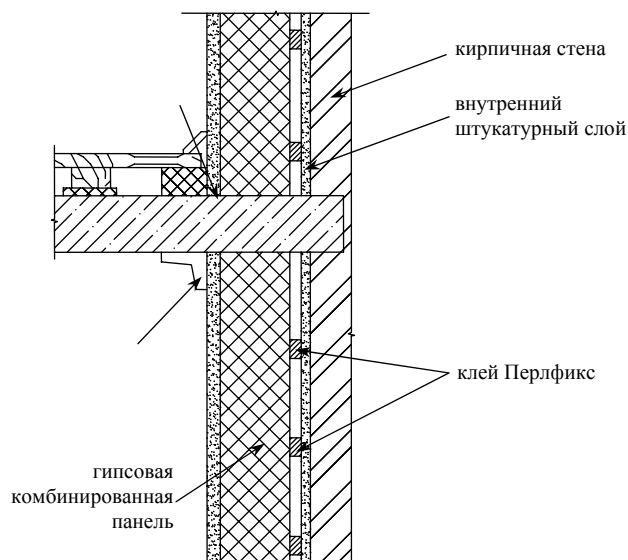


Рис. 6.8 Схема утепления кирпичной стены комплексными плитами «Тиги Кнауф»

жении теплоизоляции. В этих случаях на теплоизоляцию наносится штукатурный защитный слой. Штукатурка устраивается, как правило, по штукатурной сетке, закрепляемой на теплоизоляции путем механического крепления или приклеивания на специальных клеях.

При размещении теплоизоляции из минераловатных плит или подобных им материалов с внутренней стороны стены и мокрой штукатурке утеплитель располагается между направляющими и крепится к стене на клею или дюбелями. По направляющим натягивается полимерная пленка, затем закрепляется штукатурная сетка и наносится штукатурный защитный слой из цементно-песчаного или цементно-известкового раствора.

Как показывает практика, такое устройство теплоизоляции является достаточно сложным и ненадежным в эксплуатации. Более приемлемо устройство мокрой отделки по утеплителю из пеностекла, газосиликатобетона и других подобных материалов, обладающих низкой паропроницаемостью из-за закрытого строения пор. В этих случаях внутренний отделочный штукатурный слой может непосредственно наноситься на поверхность дополнительной теплоизоляции. При выборе отделочного слоя необходимо учитывать его адгезию по отношению к теплоизоляции, а также соотношение линейных коэффициентов расширения материалов отделки и теплоизоляции. При большой разнице коэффициентов в отделочном слое возможно возникновение трещин или его отслоение от теплоизоляции.

При размещении теплоизоляции с наружной стороны стены материал утеплителя закрепляется к стене пластмассовыми или металлическими дюбелями. На поверхность теплоизоляции по штукатурной сетке наносится штукатурка, состоящая, как правило, из нескольких слоев. Штукатурная сетка крепится к теплоизоляции механическим способом (металлические сетки) или втапливается в нижний слой штукатурки (стеклотканевые сетки).

Штукатурка, размещаемая на наружной поверхности, должна отвечать определенным требованиям. Она, в частности, должна иметь достаточное количество микропор, обеспечивающих удаление из материала утеплителя во время летней сушки накопившуюся за зимний период влагу. В то же время штукатурка должна быть прочной, обеспечивающей восприятие эксплуатационных механических воздействий.

В настоящее время в практике утепления используется несколько комплексных систем теплоизоляции с использованием для защитных слоев «мокрых» штукатурок. В частности, такой системой является система «Сэнарджи® – МвС». Принципиальная схема системы МвС приведена на рис. 6.9.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кирпичные гражданские здания в настоящее время являются наиболее массовыми зданиями современных провинциальных городов. Они имеют разные сроки службы. Разные конструктивные решения и разные условия эксплуатации. Эффективное обеспечение надежной работы стен таких зданий, как несущих и ограждающих конструкций, во многом зависит от четкого представления о степени влияния конструктивных решений, условий эксплуатации и других подобных факторов на процессы тепло-, влаго- и воздухопереноса в стенах. Знания процессов тепломассопереноса в стенах необходимы эксплуатационникам для своевременного принятия мероприятий, обеспечивающих снижение или полное исключение негативных последствий от происходящих на границах и внутри ограждений физических явлений.

Хорошо понимать суть физико-технических процессов, протекающих в ограждениях, и оценивать последствия принимаемых при ремонте и реконструкции решений должны также инженеры-строители, занимающиеся ремонтом и реконструкцией зданий. В этой связи, изложенные в пособии сведения о кирпичных стенах являются весьма полезным учебным материалом для подготовки инженеров-строителей в области эксплуатации, ремонта и реконструкции зданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бедов А.И., Щепетьева Т.А. Проектирование каменных и армокаменных конструкций: Учеб. пособие. М.: Изд-во АСВ, 2003.
- 2 Бурак Л.Я., Рабинович Г.М. Техническая экспертиза жилых домов старой постройки. Л.: Стройиздат, 1977.
- 3 ГОСТ 4.206–83. СПКП. Строительство. Материалы стеновые каменные. Номенклатура показателей.
- 4 ГОСТ 530–95. Кирпич и камни керамические. Технические условия.
- 5 ГОСТ 379–95. Кирпич и камни силикатные. Технические условия.
- 6 ГОСТ 8462–85. Материалы стеновые. Методы определения прочности при сжатии и изгибе.
- 7 ГОСТ 24332–88. Кирпич и камни силикатные. Ультразвуковой метод определения прочности при сжатии.
- 8 ГОСТ 7025–91. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости.

- 9 ГОСТ 28023–89. Растворы строительные. Общие технические требования.
 - 10 ГОСТ 5802–86. Растворы строительные. Методы испытаний.
 - 11 ГОСТ 30494–96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
 - 12 Ильинский В.М. Строительная теплофизика. М.: Высшая школа, 1974.
 - 13 Леденев В.И., Леденев В.В. Реконструкция и техническая эксплуатация зданий и сооружений. М.: МИХМ, 1987.
 - 14 Нечаев Н.В. Капитальный ремонт жилых зданий. М.: Стройиздат, 1990.
 - 15 Порывай Г.А. Организация, планирование и управление эксплуатацией зданий. М.: Стройиздат, 1983.
 - 16 Порывай Г.А. Предупреждение преждевременного износа зданий. М.: Стройиздат, 1979.
 - 17 СанПиН 2.1.2.1002–00. Санитарно-эпидемиологические требования в жилым зданиям и помещениям.
 - 18 СНиП 31-05–2003. Общественные здания административного назначения.
 - 19 СНиП 23-02–2003. Тепловая защита зданий. М.: ФГУП ЦПП, 2004.
 - 20 СНиП II-3–79**. Строительная теплотехника / Госстрой СССР. М.: ГП ЦПП Минстроя России, 1996.
 - 21 СНиП 23-01–99*. Строительная климатология. М.: ФГУП ЦПП, 2000.
 - 22 СП 23-101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий. М.: ФГУП ЦПП, 2004.
 - 23 Ушков Ф.В. Теплопередача ограждающих конструкций при фильтрации воздуха. М.: Стройиздат, 1969.
 - 24 Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Стройиздат, 1973.
 - 25 Франчук А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов. М.: НИИСФ Госстроя СССР, 1965.
 - 26 Фридман О.М. Электроосмотический метод ликвидации сырости стен зданий. Л.: Стройиздат, 1971.
- П1 Коэффициенты теплопроводности материалов кирпичной кладки и штукатурки стен по данным А.У. Франчука [25] при различной объемной влажности при положительных (числитель) и отрицательных (знаменатель) температурах материалов

Наименование материала	Объемная плотность ρ_0 , кг/м ³	Пористость P , %	Объемная влажность w_0 , %								
			0	2	5	10	15	20	25	30	
Кирпич красный	2100	20	0,830	0,961	1,000	1,064	–	–	–	–	
			0,930	1,000	1,093	1,244	–	–	–	–	
	2000	26	0,791	0,821	0,863	0,919	0,989	–	–	–	
			0,791	0,861	0,954	1,105	1,256	–	–	–	
	1900	30	0,675	0,705	0,744	0,809	0,872	0,935	–	–	
			0,675	0,793	0,826	0,977	1,128	1,279	–	–	
	1800	33	0,616	0,636	0,680	0,750	0,820	0,878	–	–	
			0,616	0,669	0,756	0,901	1,047	1,192	–	–	
	1700	37	0,552	0,587	0,628	0,709	0,779	0,849	–	–	
			0,552	0,612	0,698	0,843	0,989	1,134	–	–	
	Кирпич силикатный	2000	13	0,942	1,006	1,041	1,134	–	–	–	–
				0,977	1,023	1,093	1,209	–	–	–	–
1900		22	0,849	0,878	0,907	0,954	1,000	–	–	–	
			0,849	0,896	1,000	1,082	1,198	–	–	–	
1800		25	0,754	0,786	0,811	0,871	0,928	–	–	–	
			0,800	0,843	0,913	1,041	1,181	–	–	–	

Наименование материала	Объемная плотность ρ_0 , кг/м ³	Пористость P , %	Объемная влажность w_0 , %							
			0	2	5	10	15	20	25	30
Кирпич силикатный	1700	28	0,684	0,715	0,737	0,784	0,832	0,884	–	–
			0,684	0,762	0,808	0,948	1,076	1,308	–	–
Кирпич шлаково-силикатный	1700	31	0,645	0,669	0,700	0,754	0,805	0,855	–	–
			0,640	0,698	0,657	0,896	1,015	1,134	–	–
	1600	35	0,564	0,584	0,611	0,651	0,692	0,733	0,773	–
			0,564	0,622	0,704	0,837	0,969	1,105	1,233	–
	1500	39	0,494	0,514	0,541	0,582	0,622	0,663	0,704	–
			0,494	0,558	0,645	0,785	0,925	1,064	1,204	–
1400	44	0,435	0,470	0,498	0,541	0,582	0,622	0,663	0,704	
		0,436	0,498	0,587	0,733	0,878	0,965	1,163	–	
Кирпич шлаковый	1400	47	0,419	0,442	0,471	0,518	0,562	0,605	0,645	0,686
			0,430	0,477	0,569	0,698	0,826	0,954	1,082	–
	1300	49	0,391	0,413	0,454	0,488	0,518	0,547	0,576	0,605
			0,384	0,454	0,535	0,663	0,791	0,919	1,047	–
	1200	55	0,349	0,374	0,405	0,445	0,480	0,525	0,541	0,569
			0,361	0,419	0,500	0,628	0,756	0,884	1,012	–
1100	57	0,308	0,331	0,366 0	0,401	0,436	0,471	0,506	0,541	
		0,308	0,78	0,459	0,587	0,715	0,843	0,965	–	

Продолжение табл. III

Наименование материала	Объемная плотность ρ_0 , кг/м ³	Пористость P , %	Объемная влажность w_0 , %							
			0	2	5	10	15	20	25	30
Кирпич трепельный	1300	53	0,326	0,343	0,372	0,419	0,463	0,507	0,550	0,593
			0,314	0,363	0,428	0,535	0,640	0,744	0,849	0,954
	1100	62	0,256	0,285	0,314	0,361	0,401	0,442	0,483	0,605
			0,256	0,305	0,370	0,477	0,582	0,686	0,791	0,896
	900	69	0,198	0,227	0,258	0,306	0,349	0,390	0,430	0,570
			0,198	0,298	0,314	0,419	0,517	0,616	0,715	0,814
700	77	0,136	0,163	0,194	0,244 1	0,291	0,337	0,384	0,541	
		0,136	0,159	0,235	0,267	0,413	0,500	0,587	0,791	
Растворы холодные	1800	30	0,692	0,731	0,779	0,855	0,925	–	–	–
			0,690	0,748	0,826	0,948	1,064	–	–	–
	1700	35	0,599	0,636	0,680	0,750	0,820	0,890	–	–
			0,599	0,657	0,733	0,849	0,965	1,082	–	–
	1600	41	0,535	0,565	0,605	0,669	0,727	0,785	–	–
			0,535	0,599	0,686	0,812	0,939	1,065	1,192	1,320
1500	45	0,477	0,509	0,550	0,611	0,669	0,727	0,785	–	
		0,477	0,543	0,634	0,773	0,901	1,029	1,157	1,285	

1400	48	0,424	0,457	0,494	0,552	0,488	0,541	0,709	0,762
		0,366	0,494	0,582	0,720	0,855	0,989	1,122	1,262
1300	53	0,378	0,401	0,442	0,494	0,547	0,599	0,651	0,715
		0,378	0,440	0,512	0,626	0,739	0,849	0,959	1,070

Продолжение табл. III

Наименование материала	Объемная плотность ρ_0 , кг/м ³	Пористость P , %	Объемная влажность w_0 , %							
			0	2	5	10	15	20	25	30
Растворы теплые	1100	61	0,267	0,326	0,477	0,413	0,460	0,506	0,552	0,593
			0,267	0,328	0,405	0,516	0,628	0,739	0,849	0,960
	900	66	0,244	0,270	0,302	0,349	0,393	0,436	0,479	0,520
			0,244	0,297	0,372	0,483	0,593	0,704	0,814	0,925
	700	73	0,180	0,209	0,238	0,285	0,326	0,366	0,407	0,448
			0,180	0,238	0,307	0,419	0,529	0,637	0,744	0,849
Штукатурка холодная	1600	36	0,564	0,593	0,628	0,680	0,727	0,762	0,820	–
			0,564	0,622	0,692	0,797	0,901	1,006	1,053	1,099
	1500	38	0,477	0,508	0,541	0,593	0,640	0,686	0,733	0,780
			0,477	0,535	0,605	0,709	0,814	0,919	1,023	1,128
	1400	47	0,419	0,450	0,483	0,529	0,573	0,616	0,657	0,698
			0,419	0,471	0,537	0,640	0,742	0,844	0,947	1,049
Штукатурка теплая	1300	53	0,302	0,331	0,355	0,395	0,430	0,465	0,500	0,535
			–	–	–	–	–	–	–	–
	1100	60	0,256	0,285	0,308	0,349	0,389	0,430	0,471	0,512
			0,256	0,316	0,393	0,505	0,616	0,727	0,837	0,948
	900	68	0,209	0,238	0,378	0,302	0,337	0,372	0,407	0,442
			0,209	0,262	0,337	0,448	0,558	0,669	0,779	0,889
	700	74	0,163	0,192	0,215	0,250	0,285	0,326	0,366	0,401
			0,163	0,221	0,291	0,401	0,512	0,620	0,727	0,832

III Коэффициенты теплопроводности материалов кирпичной кладки и штукатурки стен по данным А.У. Франчука [25] при различной объемной влажности при положительных (числитель) и отрицательных (знаменатель) температурах материалов

Наименование материала	Объемная плотность ρ_0 , кг/м ³	Пористость P , %	Объемная влажность w_0 , %							
			0	2	5	10	15	20	25	30
Кирпич красный	2100	20	0,830	0,961	1,000	1,064	–	–	–	–
			0,930	1,000	1,093	1,244	–	–	–	–
	2000	26	0,791	0,821	0,863	0,919	0,989	–	–	–
			0,791	0,861	0,954	1,105	1,256	–	–	–
	1900	30	0,675	0,705	0,744	0,809	0,872	0,935	–	–
			0,675	0,793	0,826	0,977	1,128	1,279	–	–
	1800	33	0,616	0,636	0,680	0,750	0,820	0,878	–	–

Кирпич силикатный	1700	37	0,616	0,669	0,756	0,901	1,047	1,192	–	–
			0,552	0,587	0,628	0,709	0,779	0,849	–	–
			0,552	0,612	0,698	0,843	0,989	1,134	–	–
	2000	13	0,942	1,006	1,041	1,134	–	–	–	–
			0,977	1,023	1,093	1,209	–	–	–	–
	1900	22	0,849	0,878	0,907	0,954	1,000	–	–	–
0,849			0,896	1,000	1,082	1,198	–	–	–	
1800	25	0,754	0,786	0,811	0,871	0,928	–	–	–	
		0,800	0,843	0,913	1,041	1,181	–	–	–	

Продолжение табл. III

Наименование материала	Объемная плотность ρ_0 , кг/м ³	Пористость P , %	Объемная влажность w_0 , %							
			0	2	5	10	15	20	25	30
Кирпич силикатный	1700	28	0,684	0,715	0,737	0,784	0,832	0,884	–	–
			0,684	0,762	0,808	0,948	1,076	1,308	–	–
Кирпич шлаково- силикатный	1700	31	0,645	0,669	0,700	0,754	0,805	0,855	–	–
			0,640	0,698	0,657	0,896	1,015	1,134	–	–
	1600	35	0,564	0,584	0,611	0,651	0,692	0,733	0,773	–
			0,564	0,622	0,704	0,837	0,969	1,105	1,233	–
	1500	39	0,494	0,514	0,541	0,582	0,622	0,663	0,704	–
			0,494	0,558	0,645	0,785	0,925	1,064	1,204	–
	1400	44	0,435	0,470	0,498	0,541	0,582	0,622	0,663	0,704
			0,436	0,498	0,587	0,733	0,878	0,965	1,163	–
Кирпич шлаковый	1400	47	0,419	0,442	0,471	0,518	0,562	0,605	0,645	0,686
			0,430	0,477	0,569	0,698	0,826	0,954	1,082	–
	1300	49	0,391	0,413	0,454	0,488	0,518	0,547	0,576	0,605
			0,384	0,454	0,535	0,663	0,791	0,919	1,047	–
	1200	55	0,349	0,374	0,405	0,445	0,480	0,525	0,541	0,569
			0,361	0,419	0,500	0,628	0,756	0,884	1,012	–
	1100	57	0,308	0,331	0,366 0	0,401	0,436	0,471	0,506	0,541
			0,308	0,78	0,459	0,587	0,715	0,843	0,965	–

Продолжение табл. III

Наименование материала	Объемная плотность ρ_0 , кг/м ³	Пористость P , %	Объемная влажность w_0 , %							
			0	2	5	10	15	20	25	30
Кирпич трепельный	1300	53	0,326	0,343	0,372	0,419	0,463	0,507	0,550	0,593
			0,314	0,363	0,428	0,535	0,640	0,744	0,849	0,954
	1100	62	0,256	0,285	0,314	0,361	0,401	0,442	0,483	0,605
			0,256	0,305	0,370	0,477	0,582	0,686	0,791	0,896
	900	69	0,198	0,227	0,258	0,306	0,349	0,390	0,430	0,570
			0,198	0,298	0,314	0,419	0,517	0,616	0,715	0,814

	700	77	0,136	0,163	0,194	0,244 ₁	0,291	0,337	0,384	0,541
			0,136	0,159	0,235	0,267	0,413	0,500	0,587	0,791
Растворы холодные	1800	30	0,692	0,731	0,779	0,855	0,925	–	–	–
			0,690	0,748	0,826	0,948	1,064	–	–	–
	1700	35	0,599	0,636	0,680	0,750	0,820	0,890	–	–
			0,599	0,657	0,733	0,849	0,965	1,082	–	–
	1600	41	0,535	0,565	0,605	0,669	0,727	0,785	–	–
			0,535	0,599	0,686	0,812	0,939	1,065	1,192	1,320
	1500	45	0,477	0,509	0,550	0,611	0,669	0,727	0,785	–
			0,477	0,543	0,634	0,773	0,901	1,029	1,157	1,285
	1400	48	0,424	0,457	0,494	0,552	0,488	0,541	0,709	0,762
			0,366	0,494	0,582	0,720	0,855	0,989	1,122	1,262
	1300	53	0,378	0,401	0,442	0,494	0,547	0,599	0,651	0,715
			0,378	0,440	0,512	0,626	0,739	0,849	0,959	1,070

Продолжение табл. III

Наименование материала	Объемная плотность ρ_0 , кг/м ³	Пористость P , %	Объемная влажность w_0 , %							
			0	2	5	10	15	20	25	30
Растворы теплые	1100	61	0,267	0,326	0,477	0,413	0,460	0,506	0,552	0,593
			0,267	0,328	0,405	0,516	0,628	0,739	0,849	0,960
	900	66	0,244	0,270	0,302	0,349	0,393	0,436	0,479	0,520
			0,244	0,297	0,372	0,483	0,593	0,704	0,814	0,925
	700	73	0,180	0,209	0,238	0,285	0,326	0,366	0,407	0,448
			0,180	0,238	0,307	0,419	0,529	0,637	0,744	0,849
Штукатурка холодная	1600	36	0,564	0,593	0,628	0,680	0,727	0,762	0,820	–
			0,564	0,622	0,692	0,797	0,901	1,006	1,053	1,099
	1500	38	0,477	0,508	0,541	0,593	0,640	0,686	0,733	0,780
			0,477	0,535	0,605	0,709	0,814	0,919	1,023	1,128
	1400	47	0,419	0,450	0,483	0,529	0,573	0,616	0,657	0,698
			0,419	0,471	0,537	0,640	0,742	0,844	0,947	1,049
Штукатурка теплая	1300	53	0,302	0,331	0,355	0,395	0,430	0,465	0,500	0,535
			–	–	–	–	–	–	–	–
	1100	60	0,256	0,285	0,308	0,349	0,389	0,430	0,471	0,512
			0,256	0,316 ₀	0,393	0,505	0,616	0,727	0,837	0,948
	900	68	0,209	0,238	0,378	0,302	0,337	0,372	0,407	0,442
			0,209	0,262	0,337	0,448	0,558	0,669	0,779	0,889
700	74	0,163	0,192	0,215	0,250	0,285	0,326	0,366	0,401	
		0,163	0,221	0,291	0,401	0,512	0,620	0,727	0,832	

П5 Сорбционная влажность кирпича при различной температуре и различной относительной влажности воздуха

Объемный вес γ , кг/м ³	Относительная влажность воздуха ϕ , %	Объемная влажность, %, при температуре				
		+40 °С	+20 °С	0 °С	-20 °С	-40 °С
КИРПИЧ ЛЕГКИЙ ГЛИНЯНЫЙ						
1100	100	0,32	0,38	0,43	0,48	0,54
	90	0,17	0,21	0,25	0,30	0,35
	80	0,10	0,12	0,16	0,19	0,24
	70	0,05	0,08	0,10	0,13	0,17
	60	0,03	0,05	0,07	0,08	0,12
	50	0,02	0,03	0,01	0,06	0,08
	40	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06
	30	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04
1200	100	0,38	0,45	0,50	0,56	0,65
	90	0,20	0,24	0,30	0,35	0,42
	80	0,12	0,15	0,19	0,23	0,26
	70	0,07	0,09	0,12	0,15	0,20
	60	0,04	0,06	0,08	0,11	0,15
	50	0,02	0,04	0,06	0,08	0,11
	40	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08
	30	0,01	0,01	0,02	0,03	0,06
1300	100	0,43	0,50	0,56	0,64	0,72
	90	0,25	0,30	0,35	0,40	0,47
	80	0,14	0,18	0,22	0,27	0,32
	70	0,08	0,11	0,13	0,17	0,22
	60	0,05	0,07	0,10	0,13	0,17
	50	0,03	0,05	0,07	0,09	0,13
	40	0,02	0,03	0,04	0,06	0,09
	30	0,01	0,01	0,03	0,04	0,07
ПОРИСТЫЙ ГЛИНЯНЫЙ КИРПИЧ						
1400	100	0,50	0,57	0,65	0,73	0,82
	90	0,27	0,33	0,38	0,45	0,54
	80	0,17	0,21	0,25	0,31	0,38
	70	0,10	0,14	0,17	0,21	0,27
	60	0,06	0,09	0,12	0,15	0,20
	50	0,04	0,06	0,08	0,12	0,15
	40	0,02	0,04	0,05	0,08	0,11
	30	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08

Продолжение табл. П5

Объемный вес γ , кг/м ³	Относительная влажность воздуха ϕ , %	Объемная влажность, %, при температуре				
		+40 °С	+20 °С	0 °С	-20 °С	-40 °С
1500	100	0,59	0,68	0,75	0,85	0,95
	90	0,33	0,39	0,47	0,54	0,62
	80	0,20	0,25	0,31	0,37	0,45

	70	0,13	0,17	0,21	0,25	0,33
	60	0,08	0,12	0,15	0,18	0,25
	50	0,05	0,08	0,11	0,14	0,18
	40	0,03	0,05	0,07	0,10	0,14
	30	0,02	0,03	0,04	0,07	0,11
КРАСНЫЙ КИРПИЧ						
1600	100	0,70	0,80	0,90	1,00	1,14
	90	0,40	0,46	0,55	0,65	0,75
	80	0,25	0,31	0,37	0,45	0,53
	70	0,16	0,21	0,26	0,32	0,40
	60	0,11	0,14	0,18	0,23	0,30
	50	0,07	0,10	0,13	0,18	0,23
	40	0,04	0,06	0,09	0,13	0,18
	30	0,02	0,04	0,06	0,09	0,13
1700	100	0,80	0,90	1,03	1,15	1,30
	90	0,45	0,54	0,65	0,75	0,86
	80	0,30	0,36	0,44	0,52	0,62
	70	0,19	0,25	0,31	0,38	0,45
	60	0,14	0,17	0,22	0,27	0,35
	50	0,09	0,12	0,16	0,21	0,27
	40	0,05	0,08	0,11	0,15	0,21
	30	0,03	0,05	0,08	0,11	0,16
1800	100	0,95	1,09	1,20	1,30	1,48
	90	0,54	0,64	0,75	0,86	1,02
	80	0,36	0,44	0,51	0,60	0,72
	70	0,23	0,30	0,36	0,44	0,54
	60	0,15	0,21	0,27	0,34	0,42
	50	0,10	0,15	0,20	0,26	0,32
	40	0,07	0,10	0,14	0,18	0,26
	30	0,04	0,07	0,09	0,14	0,18

Продолжение табл. П5

Объем- ный вес γ , кг/м ³	Относи- тельная влажность воздуха ϕ , %	Объемная влажность, %, при тем- пературе				
		+40 °C	+20 °C	0 °C	-20 °C	-40 °C
1800	100	0,95	1,09	1,20	1,30	1,48
	90	0,54	0,64	0,75	0,86	1,02
	80	0,36	0,44	0,51	0,60	0,72
	70	0,23	0,30	0,36	0,44	0,54
	60	0,15	0,21	0,27	0,34	0,42
	50	0,10	0,15	0,20	0,26	0,32
	40	0,07	0,10	0,14	0,18	0,26
	30	0,04	0,07	0,09	0,14	0,18
1900	100	1,03	1,20	1,35	1,50	1,67
	90	0,62	0,74	0,85	1,00	1,14
	80	0,41	0,50	0,58	0,70	0,82
	70	0,27	0,35	0,42	0,50	0,62
	60	0,18	0,24	0,31	0,37	0,48
	50	0,13	0,17	0,23	0,30	0,37
	40	0,08	0,12	0,16	0,22	0,30
	30	0,05	0,08	0,11	0,16	0,23

СИЛИКАТНЫЙ КИРПИЧ						
1700	100	1,60	1,75	1,90	2,00	2,12
	90	1,12	1,27	1,40	1,55	1,70
	80	0,87	1,00	1,10	1,22	1,30
	70	0,70	0,80	0,90	1,00	1,13
	60	0,56	0,65	0,75	0,86	0,97
	50	0,43	0,53	0,62	0,72	0,83
	40	0,37	0,44	0,51	0,60	0,72
	30	0,29	0,35	0,42	0,51	0,62
1800	100	1,82	1,98	2,11	2,25	2,40
	90	1,30	1,46	1,56	1,73	1,91
	80	1,02	1,14	1,25	1,40	1,56
	70	0,80	0,91	1,02	1,15	1,30
	60	0,66	0,75	0,85	0,96	1,12
	50	0,53	0,62	0,72	0,83	0,95
	40	0,43	0,52	0,60	0,71	0,84
	30	0,34	0,41	0,50	0,61	0,75
1900	100	2,08	2,25	2,40	2,56	2,75
	90	1,50	1,66	1,88	2,00	2,18
	80	1,18	1,32	1,45	1,60	1,78
	70	0,94	1,06	1,18	1,34	1,50
	60	0,76	0,87	1,00	1,12	1,30
	50	0,63	0,72	0,84	0,97	1,12
	40	0,51	0,60	0,70	0,82	0,97
	30	0,40	0,48	0,59	0,72	0,84

Продолжение табл. П5

Объемный вес γ , кг/м ³	Относительная влажность воздуха ϕ , %	Объемная влажность, %, при температуре				
		+40 °C	+20 °C	0 °C	-20 °C	-40 °C

ТРЕПЕЛЬНЫЙ КИРПИЧ						
600	100	2,20	2,35	2,52	2,70	2,92
	90	1,60	1,76	1,94	2,10	2,30
	80	1,24	1,39	1,52	1,70	1,90
	70	1,00	1,12	1,26	1,42	1,60
	60	0,82	0,93	1,08	1,21	1,36
	50	0,66	0,77	0,90	1,03	1,15
	40	0,54	0,64	0,75	0,87	1,00
	30	0,43	0,52	0,62	0,75	0,89
700	100	2,92	3,20	3,40	3,60	3,90
	90	2,20	2,40	2,60	2,82	3,08
	80	1,58	1,73	1,92	2,13	2,43
	70	1,20	1,33	1,50	1,67	1,90
	60	0,98	1,12	1,27	1,45	1,62
	50	0,81	0,93	1,08	1,24	1,40
	40	0,65	0,79	0,90	1,06	1,24
	30	0,51	0,63	0,75	0,90	1,05
800	100	2,99	3,20	3,40	3,60	3,80
	90	2,20	2,38	2,60	2,80	3,05
	80	1,72	1,92	2,10	2,30	2,52
	70	1,39	1,57	1,75	1,95	2,16
	60	1,15	1,30	1,48	1,67	1,90
	50	0,95	1,10	1,25	1,43	1,64
	40	0,77	0,91	1,05	1,25	1,43
	30	0,62	0,75	0,88	1,06	1,26
900	100	3,33	3,58	3,80	4,00	4,32
	90	2,48	2,75	3,00	3,20	3,48
	80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,90

	70	1,63	1,83	2,04	2,23	2,48
	60	1,35	1,53	1,73	1,95	2,20
	50	1,12	1,30	1,48	1,70	1,94
	40	0,95	1,10	1,25	1,46	1,70
	30	0,75	0,90	1,05	1,23	1,44
1000	100	3,75	4,05	4,30	4,55	4,82
	90	2,86	3,10	3,35	3,60	3,90
	80	2,30	2,54	2,80	3,03	3,30
	70	1,90	2,10	2,32	2,55	2,83
	60	1,58	1,80	2,00	2,20	2,48
	50	1,30	1,50	1,73	1,95	2,20
	40	1,08	1,25	1,43	1,70	1,95
	30	0,87	1,03	1,24	1,43	1,70

**П6 СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЮ
МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ КИРПИЧНЫХ СТЕН**

Материалы и конструкции	Толщина слоя, мм	Сопротивление воздухопроницанию R_{inf} , м ² ·ч·Па/кг
1 Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной в 1 кирпич и более	250 и более	18
2 Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной в полкирпича	120	2
3 Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе толщиной в 1 кирпич и более	250 и более	9
4 Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе толщиной в полкирпича	120	1
5 Кладка из кирпича керамического пустотного на цементно-песчаном растворе толщиной в полкирпича	–	2
6 Кладка из легкогобетонных камней на цементно-песчаном растворе	400	13
7 Кладка из легкогобетонных камней на цементно-шлаковом растворе	400	1
8 Штукатурка цементно-песчаным раствором по каменной или кирпичной кладке	15	373
9 Штукатурка известковая по каменной или кирпичной кладке	15	142

Примечание. Для кладок из кирпича и камней с расшивкой швов на наружной поверхности сопротивление воздухопроницанию следует увеличивать на 20 м²·ч·Па/кг.

П2 НОРМИРУЕМЫЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МАТЕРИАЛОВ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетное массовое отношение влаги в материале (при условиях эксплуатации по прил. 2 СНиП II-3) w, %		Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по прил. 2 СНиП II-3)				
	Плотность ρ_0 , кг/м ³	Удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°C)	Коэффициент теплопроводности λ_0 , Вт/(м·°C)			теплопроводности λ , Вт/(м·°C)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°C)		паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
				А	Б	А	Б	А, Б		
КИРПИЧНАЯ КЛАДКА ИЗ СПЛОШНОГО КИРПИЧА										
1 Глиняного обыкновенного (ГОСТ 530) на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,56	1	2	0,7	0,81	9,2	10,12	0,11
2 Глиняного обыкновенного на цементно-шлаковом растворе	1700	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,76	8,64	9,7	0,12
3 Глиняного обыкновенного на цементно-перлитовом растворе	1600	0,88	0,47	2	4	0,58	0,7	8,08	9,23	0,15

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. П2

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетное массовое отношение влаги в материале (при условиях эксплуатации по прил. 2 СНиП II-3) w, %		Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по прил. 2 СНиП II-3)				
	Плотность ρ_0 , кг/м ³	Удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°C)	Коэффициент теплопроводности λ_0 , Вт/(м·°C)			теплопроводности λ , Вт/(м·°C)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°C)		паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
				А	Б	А	Б	А, Б		
4 Силикатного (ГОСТ 379) на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,7	2	4	0,76	0,87	9,77	10,9	0,11
5 Трепельного	120	0,88	0,35	2	4	0,47	0,52	6,26	6,49	0,19

	(ГОСТ 530) на цементно-песчаном растворе	0									
6	То же	100 0	0,88	0,29	2	4	0,41	0,47	5,35	5,96	0,23
7	Шлакового на цементно-песчаном растворе	150 0	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,7	8,12	8,76	0,11

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. П2

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетное массовое отношение влаги в материале (при условиях эксплуатации по прил. 2 СНиП II-3) w, %		Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по прил. 2 СНиП II-3)				
	Плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°C)	Коэффициент теплопроводности λ_0 , Вт/(м·°C)			теплопроводности λ , Вт/(м·°C)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°C)		паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
				А	Б	А	Б	А	Б	

КИРПИЧНАЯ КЛАДКА ИЗ ПУСТОТНОГО КИРПИЧА

8	Керамического пустотного плотностью 1400 кг/м ³ на цементно-песчаном растворе	160 0	0,88	0,47	1	2	0,58	0,64	7,91	8,48	0,14
9	Керамического пустотного плотностью 1300 кг/м ³ на цементно-песчаном растворе	140 0	0,88	0,41	1	2	0,52	0,58	7,01	7,56	0,16

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. П2

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетное массовое отношение влаги в материале (при условиях эксплуатации по прил. 2 СНиП II-3) w, %		Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по прил. 2 СНиП II-3)				
	Плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°C)	Коэффициент теплопроводности λ_0 , Вт/(м·°C)			теплопроводности λ , Вт/(м·°C)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°C)		паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)

				А	Б	А	Б	А	Б	А, Б	
10	Керамического пустотного плотностью 1000 кг/м ³ на цементно-песчаном растворе	1200	0,88	0,35	1	2	0,47	0,52	6,16	6,62	0,17
11	Силикатного одиннадцатипустотного (ГОСТ 379) на цементно-песчаном растворе	1500	0,88	0,64	2	4	0,7	0,81	8,59	9,63	0,13

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. П2

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетное массовое отношение влаги в материале (при условиях эксплуатации по прил. 2 СНиП II-3) w, %		Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по прил. 2 СНиП II-3)					
	Плотность ρ_0 , кг/м ³	Удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	Коэффициент теплопроводности λ_0 , Вт/(м·°С)			теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения (при периоде 24 ч) s , Вт/(м ² ·°С)		паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)	
				А	Б	А	Б	А	Б	А, Б	
12	Силикатного четырнадцатипустотного (ГОСТ 379) на цементно-песчаном растворе	1400	0,88	0,52	2	4	0,64	0,76	7,93	9,01	0,14

КЛАДОЧНЫЕ И ШТУКАТУРНЫЕ РАСТВОРЫ

13	Раствор цементно-песчаный	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,6	11,09	0,09
14	Раствор сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,7	0,87	8,95	10,42	0,098
15	Раствор известково-песчаный	1600	0,84	0,47	2	4	0,7	0,81	8,69	9,76	0,12

П3 Значения упругости насыщенного водяного пара E , Па, для температуры t при от 0 до -41 °С (над льдом)

t , °С	E	t , °С	E	t , °С	E	t , °С	E	t , °С	E
----------	-----	----------	-----	----------	-----	----------	-----	----------	-----

0	611	-5,4	388	-10,6	245	-16	151	-23	77
-0,2	601	-5,6	381	-10,8	241	-16,2	148	-23,5	73
-0,4	592	-5,8	375	-11	237	-16,4	145	-24	69
-0,6	581	-6	369	-11,2	233	-16,6	143	-24,5	65
-0,8	573	-6,2	363	-11,4	229	-16,8	140	-25	63
-1	563	-6,4	356	-11,6	225	-17	137	-25,5	60
-1,2	553	-6,6	351	-11,8	221	-17,2	135	-26	57
-1,4	544	-6,8	344	-12	217	-17,4	132	-26,5	53
-1,6	535	-7	338	-12,2	213	-17,6	129	-27	51
-1,8	527	-7,2	332	-12,4	209	-17,8	128	-27,5	48
-2	517	-7,4	327	-12,6	207	-18	125	-28	47
-2,2	509	-7,6	321	-12,8	203	-18,2	123	-28,5	44
-2,4	400	-7,8	315	-13	199	-18,4	120	-29	42

Продолжение табл. ПЗ

$t, ^\circ\text{C}$	E	$t, ^\circ\text{C}$	E	$t, ^\circ\text{C}$	E	$t, ^\circ\text{C}$	E	$t, ^\circ\text{C}$	E
-2,6	492	-8	310	-13,2	195	-18,6	117	-29,5	39
-2,8	484	-8,2	304	-13,4	191	-18,8	116	-	-
-3	476	-8,4	299	-13,6	188	-19	113	-30	38
-3,2	468	-8,6	293	-13,8	184	-19,2	111	-31	34
-3,4	460	-8,8	289	-14	181	-19,4	109	-32	34
-3,6	452	-9	284	-14,2	179	-19,6	107	-33	27
-3,8	445	-9,2	279	-14,4	175	-19,8	105	-34	25
-4	437	-9,4	273	-14,6	172	-	-	-35	22
-4,2	429	-9,6	268	-14,8	168	-20	103	-36	20
-4,4	423	-9,8	264	-15	165	-20,5	99	-37	18
-4,6	415	-	-	-15,2	163	-21	93	-38	16
-4,8	408	-10	260	-15,4	159	-21,5	89	-39	14
-5	402	-10,2	260	-15,6	159	-22	85	-40	12
-5,2	395	-10,4	251	-15,8	153	-22,5	81	-41	11

**П4 Значения упругости насыщенного водяного пара E , Па,
для температуры t от 0 до 30,9 °С (над водой)**

$t, ^\circ\text{C}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	611	615	620	624	629	633	639	643	648	652
1	657	661	667	671	676	681	687	691	696	701
2	705	711	716	721	727	732	737	743	748	753
3	759	764	769	775	780	785	791	796	803	808

4	813	819	825	831	836	843	848	855	860	867
5	872	879	885	891	897	904	909	916	923	929
6	935	941	948	956	961	968	975	981	988	995
7	1001	1009	1016	1023	1029	1037	1044	1051	1059	1065
8	1067	1080	1088	1095	1103	1189	1117	1125	1132	1140
9	1148	1156	1164	1172	1180	1188	1196	1204	1212	1220
10	1228	1236	1244	1253	1261	1269	1279	1287	1285	1304
11	1312	1321	1331	1339	1348	1355	1365	1375	1384	1323
12	1403	1412	1421	1431	1440	1449	1459	1468	1479	1488
13	1497	1508	1517	1527	1537	1547	1557	1568	1577	1588
14	1599	1609	1619	1629	1640	1651	1661	1672	1683	1695

Продолжение табл. П4

$t, ^\circ\text{C}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
15	1705	1716	1727	1739	1749	1761	1772	1784	1795	1807
16	1817	1829	1841	1853	1865	1877	1889	1901	1913	1925
17	1937	1949	1962	1974	1986	2000	2010	2025	2037	2050
18	2064	2077	2089	2101	2115	2129	2142	2156	2169	2182
19	2197	2210	2225	2238	2252	2266	2281	2294	2309	2324
20	2338	2352	2366	2381	2396	2412	2426	2441	2456	2471
21	2488	2502	2517	2538	2542	2564	2580	2596	2612	2628
22	2644	2660	2676	2691	2709	2725	2742	2758	2776	2792
23	2809	2826	2842	2860	2877	2894	2913	2930	2948	2965
24	2984	3001	3020	3038	3056	3074	3093	3112	3130	3149
25	3168	3186	3205	3224	3244	3262	3282	3301	3321	3341
26	3363	3381	3401	3421	3441	3461	3481	3502	3523	3544
27	3567	3586	3608	3628	3649	3672	3692	3714	3796	3758
28	3782	3801	3824	3846	3869	3890	3913	3937	3960	3982
29	4005	4029	4052	4076	4100	4122	4146	4170	4194	4218
30	4246	4268	4292	4317	4341	4366	4390	4416	4441	4466

П6 СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЮ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ КИРПИЧНЫХ СТЕН

Материалы и конструкции	Толщина слоя, мм	Сопротивление воздухопроницанию R_{inf} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$	Материалы и конструкции	Толщина слоя, мм	Сопротивление воздухопроницанию R_{inf} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$
1 Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной в 1 кирпич и более	250 и более	18	6 Кладка из легкого бетона на цементно-песчаном растворе	400	13
2 Кирпичная кладка из	120	2	7 Кладка из легкого бетона	400	1

сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной в полкирпича			ных камней на цементно-шлаковом растворе		
3 Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе толщиной в 1 кирпич и более	250 и более	9	8 Штукатурка цементно-песчаным раствором по каменной или кирпичной кладке	15	373
4 Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе толщиной в полкирпича	120	1	9 Штукатурка известковая по каменной или кирпичной кладке	15	142
5 Кладка из кирпича керамического пустотного на цементно-песчаном растворе толщиной в полкирпича	–	2	Примечание. Для кладок из кирпича и камней с расшивкой швов на наружной поверхности сопротивление воздухопроницанию следует увеличивать на 20 м ² ·ч·Па/кг		