

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионально образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»  
(ПГУАС)

**Т.И. Королёва, К.О. Чичиров**

## **СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА**

### **ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И РАСЧЕТ УДЕЛЬНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОТЫ НА ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЮ ЗДАНИЯ**

*Рекомендовано Федеральным государственным образовательным учреждением  
высшего профессионального образования «Московский государственный  
строительный университет» в качестве учебного пособия для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по программе бакалавриата  
по направлению 08.03.01 (270800) «Строительство»  
(профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»)*

Регистрационный № рецензии 2982 от 10.02.15 г.

Пенза 2015

УДК 697  
ББК 38.762. я73  
К68

Рецензенты: профессор кафедры Пензенского артиллерийского института (филиал) Федерального государственного казенного учреждения ВПО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации доктор технических наук, профессор С.Н. Курков;  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета В.Н. Азаров

**Королёва, Т.И.**

К68      Строительная теплофизика. Теплотехнические расчеты ограждающих конструкций и расчет удельного потребления теплоты на отопление и вентиляцию здания: учеб. пособие / Т.И. Королёва, К.О. Чичиров – Пенза: ПГУАС, 2015. – 88 с.  
**ISBN 978-5-9282-1284-1**

Рассмотрены теоретические основы расчета средств обеспечения теплового режима зданий, порядок теплотехнической оценки ограждающих конструкций и методика проектирования строительных ограждений из условий теплоустойчивости, теплоусвоения, паро- и воздухопроницаемости, расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания. Представлены примеры расчета. Пособие содержит материалы, предназначенные для фонда оценочных средств, а также для курсового проектирования и выполнения выпускной квалификационной работы бакалавров.

Подготовлено на кафедре «Теплогасоснабжение и вентиляция» и предназначено для использования студентами, обучающимися по направлению 08.03.01 (270800) «Строительство» (профиль «Теплогасоснабжение и вентиляция») при изучении дисциплины «Строительная теплофизика».

**ISBN 978-5-9282-1284-1**

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2015  
© Королева Т.И., Чичиров К.О., 2015

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Обеспечение комфортных тепловых условий в помещениях жилых зданий в холодное время года необходимо для укрепления здоровья и улучшения отдыха людей.

Важность теплотехнической подготовки обучающихся определяется тем, что системы обеспечения заданных климатических условий в помещениях являются основными технологическими элементами современных зданий.

В первой главе представлен план самостоятельной работы.

Во второй главе приведен теплотехнический расчет наружных ограждений.

В третьей главе дана методика расчета теплоустойчивости наружных ограждений в теплый период.

Четвертая глава посвящена расчету теплоусвоения поверхности полов.

В пятой главе приведена проверка внутренней поверхности ограждения (стены) на возможность конденсации влаги.

В шестой главе рассмотрена воздухопроницаемость ограждающих конструкций.

В седьмой главе показан расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.

В приложениях предоставлены исходные данные и весь необходимый справочный материал.

В результате изучения пособия студент должен овладеть следующими видами компетенций:

- способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);

- знанием нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест (ПК-1);

- владением методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированных проектирования (ПК-2);

- способностью проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы, контролировать соответствие разрабатываемых проектов и технической документации заданию, стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам (ПК-3).

Авторы выражают глубокую благодарность рецензентам пособия кандидату технических наук, профессору кафедры «Отопление и вентиляция» Московского государственного строительного университета Елене Георгиевне Малявиной, доктору технических наук, профессору кафедры Пензенского артиллерийского института (филиал) Федерального государственного казенного учреждения ВПО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации Сергею Николаевичу Куркову и доктору технических наук, профессору, заведующему кафедрой «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета Валерию Николаевичу Азарову за ценные замечания и пожелания, сделанные при подготовке к изданию учебного пособия.

## ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения нормального температурно-влажностного режима в помещениях различного назначения их внутренний объем отделяют от окружающей среды ограждающими строительными конструкциями – стенами и покрытиями, защищающими от атмосферных воздействий (низких температур, осадков, ветра, солнечной радиации, а также агрессивных сред). Требования к микроклимату помещений регламентируются положениями сводов правил (СП – актуализированных редакций строительных норм и правил (СНиП)), приведенных в библиографическом списке.

Наружные ограждающие конструкции оказывают сопротивление переходу тепловой энергии, водяных паров, воздуха из одной среды в другую, препятствуя выравниванию их параметров: температуры, влажности, давления.

Изучение процессов тепло-, влаго- и воздухопередачи через ограждающие конструкции и составляет цель курсовой работы.

Представленные в данной работе методики позволяют осуществить расчет сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (стен, чердачных покрытий и перекрытий, дверей, световых проемов) жилых и общественных зданий в соответствии с требованиями энергосбережения, а также провести проверочные расчеты влажностного, воздушного режимов и проверку на теплоустойчивость наружных ограждений зданий. Кроме того, оценить достигнутую в проекте здания или в эксплуатируемом здании его потребность в тепловой энергии на отопление и вентиляцию; определить класс энергосбережения здания.

# 1. РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Самостоятельная работа должна быть выполнена в соответствии с действующими положениями сводов правил (СП), ГОСТами и стандартами [5–9, 13, 14]. В процессе выполнения следует использовать справочную и учебную литературу, указанную в прилагаемом списке литературы.

## 1.1. Выбор варианта задания

По последней цифре шифра зачетной книжки студент должен определить район застройки и объект проектирования, используя прил. 1. Далее, в зависимости от объекта проектирования, определить варианты конструкции стены, покрытия и полов, используя прил. 2.

Для последних цифр шифра от 0 до 4 аналитическим методом необходимо определить изменение температур в толще стены, а для цифр от 5 до 9 – в толще перекрытия.

По последним цифрам шифра от 0 до 4 проверку на теплоустойчивость для летнего периода следует выполнять для стен, а по цифрам от 5 до 9 – для перекрытия.

Самостоятельная работа, выполненная студентом по номеру задания, не соответствующему номеру его зачетной книжки, возвращается без рассмотрения.

## 1.2. Объем и содержание задания

1. Выбрать климатические данные района строительства, характеристики теплового и влажностного режимов помещения и ограждающих конструкций, теплофизические характеристики материала конструкции ограждений.

2. Выполнить теплотехнический расчет наружных ограждений. Определить толщину теплоизоляционного слоя конструкции. Рассчитать фактические сопротивления теплопередаче наружной стены, покрытия, перекрытия, световых проемов, полов и наружных дверей.

3. Проверить теплоустойчивость ограждающих конструкций в теплый период.

4. Провести расчет теплоусвоения поверхности полов.

5. Проверить возможность конденсации водяных паров на внутренней поверхности ограждения.

6. Выполнить расчет сопротивления воздухопроницанию ограждающей конструкции стены, окон и балконных дверей. Определить количество

инфильтрующегося воздуха, температуру на внутренней поверхности и коэффициент теплопередачи с учетом инфильтрации наружного воздуха.

7. Выполнить раздел по УНИРС (выполняется студентами по специальному индивидуальному заданию руководителя работы).

### 1.3. Исходные данные для выполнения самостоятельной работы

В соответствии с нормативной литературой, ссылки на которые есть в табл. 1.1, выбрать исходные данные для проектирования: характеристики климатических особенностей местности, зону влажности, расчетные параметры наружного воздуха, теплоступления от солнечной радиации, теплотехнические характеристики материалов ограждений и др.

Т а б л и ц а 1 . 1

Климатические характеристики района строительства города Пензы

№ п/п	Наименование величины	Обозначение	Размерность	Значение	Нормативный источник
1	2	3	4	5	6
1	Расчетная географическая широта	-	с.ш.	52	[18, прил. 8]
2	Барометрическое давление	$P_{бар}$	ГПа	996	[6, табл.4.1]
3	Средняя температура наружного воздуха:				
	– наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0,92	$t_{хп}$	°С	-27	[6, табл. 3.1]
	– наиболее холодных суток, обеспеченностью 0,92	$t_{хс}$	°С	-31	[6, табл. 3.1]
	– за отопительный период	$t_{оп}$	°С	-4,1	[6, табл. 3.1]
4	Абсолютная минимальная температура наружного воздуха	$T_{нм}$	°С	-43	[6, табл.3.1]
5	Средняя максимальная температура наружного воздуха наиболее теплого месяца	$t_{нл}$	°С	26	[6, табл. 4.1]
6	Продолжительность отопительного периода со средней суточной температурой наружного воздуха $\leq 8$ °С	$Z_{оп}(n_{оп})$	сутки	200	[6, табл. 3.1]
7	Зона влажности наружного воздуха	$C, H, B$	-	сухая	[7, прил.В]
8	Условия эксплуатации	A, B	-	A	[7, табл.1,2]
9	Средняя месячная относительная влажность наружного воздуха:				
	– наиболее холодного месяца (январь)	$\varphi_x$	%	83	[6, табл. 3.1]
	– наиболее теплого месяца (июль)	$\varphi_l$	%	68	[6, табл. 4.1]

## Окончание табл. 1.1

1	2	3	4	5	6
10	Количество теплоты, поступающее от солнечной радиации на поверхность ограждений:				
	– максимальное значение суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной)	$Y_{\max}$	Вт/м <sup>2</sup>	547	[17, прил. 6]
	– среднее значение суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной)	$Y_{\text{ср}}$	Вт/м <sup>2</sup>	168	[17, прил. 6]
11	Максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле	$A_{t_n}$	°С	18,4	[17, прил. 2]
12	Скорость ветра:				
	– максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь	$v_{\text{хол}}$	м/с	4,4	[6, табл. 3.1]
	– минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль	$v_{\text{тепл}}$	м/с	3,8	[6, табл. 4.1]

## Контрольные вопросы

1. Какая нормативная документация используется при выполнении самостоятельной работы?
2. В какой последовательности выполняется самостоятельная работа?



## 2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

Для расчета теплотерь необходимо иметь данные о конструкциях ограждений и их теплотехнических и теплозащитных качествах.

Теплотехнические качества ограждений принято характеризовать величиной сопротивления теплопередаче  $R_0$ . Правильно выбранная конструкция ограждения и строго обоснованная величина его сопротивления теплопередаче обеспечивают требуемый микроклимат и экономичность конструкции здания.

Теплотехнический расчет проводится для всех наружных ограждений (стен, покрытий, полов, окон, дверей) для холодного периода года с учетом района строительства, условий эксплуатации, назначения здания и санитарно-гигиенических требований, предъявляемых к ограждающим конструкциям и помещению, согласно [7].

Теплофизические характеристики материалов при расчетах строительных ограждений (расчетные коэффициенты теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·°С), и теплоусвоения  $S$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С)) следует принимать с учетом зоны влажности и влажностного режима помещения. Зона влажности района застройки может быть сухой, нормальная и влажная и определяется по схематической карте территории РФ [7, прил. В], (прил.3). Влажностный режим помещения бывает сухой, нормальный, влажный и мокрый. Для холодного периода в жилых зданиях принимается режим нормальный, для других помещений он выбирается в зависимости от  $\phi_{в}$ , %, [7, табл.1, 2], (прил.4, табл.1, 2).

С учетом зоны влажности и влажностного режима помещения для ограждающих конструкций выбирают условия эксплуатации (А или Б).

Исходя из условий эксплуатации А и Б для материалов ограждающих конструкций значения коэффициентов теплопроводности и теплоусвоения  $\lambda$  и  $S$  выбираются по (прил. 5).

Согласно [7, п.5.1], теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не менее нормируемых значений (поэлементные требования);

б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);

в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Требования тепловой защиты здания будут выполнены при одновременном выполнении требований а), б), в).

## 2.1. Методика расчета толщины утепляющего слоя стены

При выполнении теплотехнического расчета для зимних условий прежде всего необходимо убедиться, что конструктивное решение проектируемого ограждения позволяет обеспечить необходимые санитарно-гигиенические и комфортные условия микроклимата.

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $R_o^{норм}$ , ( $м^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт, следует определять по формуле

$$R_o^{норм} = R_o^{тр} m_p, \quad (2.1)$$

где  $R_o^{тр}$  – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, ( $м^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт, следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода, (ГСОП), регион строительства и определять по табл. 2.2. [7];

$m_p$  – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. В расчете в формуле (1.1) принимается равным 1. Согласно [7] допускается снижение значения коэффициента  $m_p$  в случае, если при выполнении расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания по методике, приведенной в разд. 7 данного пособия, выполняются требования разд. 7.1 к данной удельной характеристике. Значения коэффициента  $m_p$  при этом должны быть не менее:  $m_p=0,63$  – для стен,  $m_p=0,95$  – для светопрозрачных конструкций,  $m_p=0,8$  – для остальных ограждающих конструкций.

Градусо-сутки,  $^\circ C \cdot сут$ , отопительного периода следует определять по формуле

$$ГСОП = (t_b - t_{от}) \cdot Z_{от}, \quad (2.2)$$

где  $t_b$  – расчетная температура внутреннего воздуха,  $^\circ C$ , принимаемая по нормам проектирования соответствующих зданий [15], (табл. 2.1);

$t_{от}$  – средняя температура отопительного периода,  $^\circ C$ , по [6, табл. 3.1], (см. прил. 6);

$Z_{от}$  – продолжительность отопительного периода, сут, по [6, табл. 3.1], (см. прил. 6);

Т а б л и ц а 2 . 1

Расчетные параметры внутреннего воздуха для жилого здания

Наименование помещения	Температура внутреннего воздуха, $t_{в}, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность внутреннего воздуха $\varphi_{в}, \%$
Жилая комната, квартира	20	50–55
Кухня квартиры	18	50–55
Лестничная клетка в жилом доме	16	50–55
Коридор в квартире	18	50–55
Жилая угловая комната	22	50–55

Примечание. В районах с температурой  $t_{хп} = -31 ^\circ\text{C}$  и ниже в жилых комнатах надо принимать  $t_{в}$  на  $2 ^\circ\text{C}$  выше нормативной.

Т а б л и ц а 2 . 2

Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Здания и помещения, коэффициенты $a$ и $b$	Градусо-сутки отопительного периода, $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$	Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче $R_o^{mp}, (\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$ , ограждающих конструкций				
		стен	покрытий и перекрытий над проездами	перекрытий чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами	окон и балконных дверей, витрин и витражей	фонарей с вертикальным остеклением
1	2	3	4	5	6	7
Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты, гостиницы и общежития	2000	2,1	3,2	2,8	0,3	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,6	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,7	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
$a$	-	0,00035	0,0005	0,00045	-	0,000025
$b$	-	1,4	2,2	1,9	-	0,25
Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, производственные и другие здания и помещения с влажным или мокрым режимом	2000	1,8	2,4	2,0	0,3	0,3
	4000	2,4	3,2	2,7	0,4	0,35
	6000	3,0	4,0	3,4	0,5	0,4
	8000	3,6	4,8	4,1	0,6	0,45
	10000	4,2	5,6	4,8	0,7	0,5
	12000	4,8	6,4	5,5	0,8	0,55
$a$	-	0,0003	0,0004	0,00035	0,00005	0,000025
$b$	-	1,2	1,6	1,3	0,2	0,25

Окончание табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7
Производственные с сухим и нормальным режимами	2000	1,4	2,0	1,4	0,25	0,2
	4000	1,8	2,5	1,8	0,3	0,25
	6000	2,2	3,0	2,2	0,35	0,3
	8000	2,6	3,5	2,6	0,4	0,35
	10000	3,0	4,0	3,0	0,45	0,4
	12000	3,4	4,5	3,4	0,5	0,45
<i>a</i>	-	0,0002	0,00025	0,0002	0,000025	0,000025
<i>b</i>	-	1,0	1,5	1,0	0,2	0,15

Примечания:

1. Значения  $R_o^{TP}$  для величин ГСОП, отличающихся от табличных, следует определять по формуле

$$R_o^{TP} = a \cdot \text{ГСОП} + b,$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут, для конкретного пункта;

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

2. Нормируемое приведенное сопротивление теплопередаче глухой части балконных дверей должно быть не менее чем в 1,5 раза выше нормируемого сопротивления теплопередаче светопрозрачной части этих конструкций.

В случаях, когда средняя наружная или внутренняя температура для отдельных помещений отличается от принятых в расчете ГСОП, базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций, определенные по табл. 2.2, умножаются на коэффициент  $n_t$ , который рассчитывается по формуле

$$n_t = \frac{t_{в}^* - t_{от}^*}{t_{в} - t_{от}}, \quad (2.3)$$

где  $t_{в}^*$ ,  $t_{от}^*$  – средняя температура внутреннего и наружного воздуха для данного помещения, °С;

$t_{в}$ ,  $t_{от}$  – то же, что в формуле (2.2).

В случаях реконструкции зданий, для которых по архитектурным или историческим причинам невозможно утепление стен снаружи, нормируемое значение сопротивления теплопередаче стен допускается определять по формуле

$$R_o^{норм} = \frac{(t_{в} - t_{н})}{\Delta t^H \alpha_{в}}, \quad (2.4)$$

где  $t_{в}$  – то же что и в уравнении (2.2);

- $t_n$  – расчетная зимняя температура, °С, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [6, табл. 3.1], (см. прил. 6);
- $\Delta t^H$  – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С, по [7, табл. 5], (табл. 2.3);
- $\alpha_v$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), по [7, табл. 4], (табл. 2.4).

В данном курсовом проектировании расчет базового значения требуемого сопротивления теплопередаче наружной ограждающей конструкции стены для реконструируемых зданий выполняется в учебных целях.

Т а б л и ц а 2 . 3

Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции  $\Delta t^H$ , °С

Здания и помещения	Нормируемый температурный перепад $\Delta t^H$ , °С, для		
	наружных стен	покрытий и чердачных перекрытий	перекрытий над подвалами и подпольями
Жилые здания	4	3	2

Т а б л и ц а 2 . 4

Значение коэффициента теплоотдачи у внутренней поверхности  $\alpha_v$

Внутренняя поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи $\alpha_v$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1. Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты $h$ ребер к расстоянию $a$ между гранями соседних ребер $h/a \leq 0,3$	8,7
2. Потолков с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6
3. Окон	8,0
4. Зенитных фонарей	9,9

Далее определяют предварительную толщину слоя утеплителя по формуле

$$\delta_{yt} = \left[ R_o^{\text{норм}} - \left( \frac{1}{\alpha_v} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n} \right) \right], \quad (2.5)$$

где  $\delta_i$  – толщина отдельных слоев ограждающей конструкции, м, по заданию;

$\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности отдельных слоев ограждающей конструкции в зависимости от условий эксплуатации ограждающей конструкции, Вт/(м·°С), по [7, прил. Г], (см. прил. 5);

- $\lambda_{\text{ут}}$  – коэффициент теплопроводности утепляющего слоя в зависимости от условий эксплуатации ограждающей конструкции, Вт/(м·°С), по [4, прил. 3], (см. прил.5);
- $\alpha_{\text{н}}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), принимаем по [4, табл. 8], (табл. 2.5).

Т а б л и ц а 2 . 5

Значения коэффициента теплоотдачи у наружной поверхности

Наружная поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи для зимних условий $\alpha_{\text{н}}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1. Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительно-климатической зоне.	23
2. Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительно-климатической зоне.	17
3. Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружных стен с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом.	12
4. Перекрытий над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6

Вычисленное значение  $\delta_{\text{ут}}$  должно быть скорректировано в соответствии с требованиями унификации конструкции ограждений. Для наружных стеновых панелей – 0,20; 0,25; 0,30; 0,40; 0,50 м, для кирпичной кладки – 0,38, 0,51, 0,64, 0,77.

После выбора толщины утеплителя  $\delta_{\text{ут}}$ , м, уточняют приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций,  $R_0^{\text{пр}}$ , (м<sup>2</sup>·°С)/Вт, для всех слоев ограждения по формуле

$$R_0^{\text{пр}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \quad (2.6)$$

и проверяют условие

$$R_0^{\text{пр}} \geq R_0^{\text{норм}}, \quad (2.7)$$

т.к. согласно [7, п.5.1]  $R_0^{\text{пр}}$  должно быть не менее нормируемых значений  $R_0^{\text{норм}}$ .

Если условие (2.7) не выполняется, то целесообразно выбрать строительный материал с меньшим коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{\text{ут}}$ , Вт/(м·°С), или можно увеличить толщину утеплителя.

Коэффициент теплопередачи принятого ограждения стены  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), определяют из уравнения

$$k = \frac{1}{R_0^{\text{пр}}}, \quad (2.8)$$

где  $R_0^{\text{пр}}$  – общее фактическое сопротивление теплопередаче, принимаемое по уравнению (2.6), (м<sup>2</sup>·°С)/Вт.

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек представлено в табл. 2.6.

Т а б л и ц а 2 . 6

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек  $R_{\text{вп}}$

Толщина воздушной прослойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки $R_{\text{вп}}$ , (м <sup>2</sup> ·°С)/Вт			
	горизонтальной при потоке теплоты снизу вверх и вертикальной		горизонтальной при потоке теплоты сверху вниз	
	при температуре воздуха в прослойке			
	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,10	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,20-0,30	0,15	0,19	0,19	0,24

**Примечание.** При оклейке одной или обеих поверхностей воздушной прослойки алюминиевой фольгой термическое сопротивление следует увеличивать в 2 раза.

### Пример 1

#### Теплотехнический расчет наружного ограждения (стены)

##### Исходные данные

1. Ограждающая конструкция стены вновь возводимого здания, состоящая из трёх слоёв (рис. 1): бетон на гравии или щебне из природного камня  $\gamma_1 = 2400 \text{ кг/м}^3$  толщиной  $\delta_1 = 0,16 \text{ м}$ , слоя утеплителя из жестких минераловатных плит  $\gamma_2 = 50 \text{ кг/м}^3$ ; железобетон  $\gamma_3 = 2500 \text{ кг/м}^3$  толщиной  $\delta_3 = 0,16 \text{ м}$ .

2. Район строительства – г. Пенза.

3. Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = 20 \text{ }^\circ\text{С}$ .

4. Рассчитываемая ограждающая конструкция будет эксплуатироваться в условиях А [4, прил. 2], (см. прил. 3, 4);

5. Значение теплотехнических характеристик и коэффициентов в формулах:  $t_{\text{хл}(0,92)} = -27 \text{ }^\circ\text{С}$  (см. прил. 6);  $t_{\text{от}} = -4,1 \text{ }^\circ\text{С}$  (см. прил. 6);  $Z_{\text{от}} = 200$  (см. прил. 6);  $\lambda_1 = 1,74 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$  [7, прил. Т], (см. прил. 5);  $\lambda_{\text{ут}} = 0,041 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$

[7, прил. Т], (см. прил. 5);  $\lambda_3 = 1,92 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$  [7, прил. Т], (см. прил. 5);  $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{С})$  (см. табл. 2.4);  $\Delta t^{\text{н}} = 4 \text{ }^\circ\text{С}$  (см. табл. 2.3);  $\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{С})$ , (см. табл. 2.5).

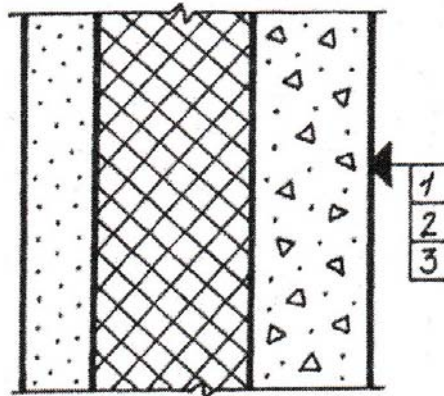


Рис. 1. Ограждающая конструкция стены

### Порядок расчета

1. По формуле (2.2) рассчитывают градусо-сутки отопительного периода

$$\text{ГСОП} = (20 + 4,1) \cdot 200 = 4820 \text{ }^\circ\text{С}\cdot\text{сут.}$$

2. Рассчитываем базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции стены по табл. 2.2

$$R_0^{\text{ТР}} = 0,00035 \cdot 4820 + 1,4 = 3,087 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{С)}/\text{Вт.}$$

3. Определяем коэффициент  $n_t$  по формуле (2.3)

$$n_t = \frac{20 - (-4,1)}{20 - (-4,1)} = 1.$$

4. Умножаем базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции стены, полученное по табл. 2.2, на коэффициент  $n_t$ , полученный по формуле (2.3)

$$R_0^{\text{ТР}} = 3,087 \cdot 1 = 3,087 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{С)}/\text{Вт.}$$

5. Рассчитываем нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции стены по формуле (2.1), при этом коэффициент  $m_p = 1$

$$R_0^{\text{НОРМ}} = 3,087 \cdot 1 = 3,087 \text{ (м}^2\cdot^\circ\text{С)}/\text{Вт.}$$

6. Определяют предварительную толщину утеплителя из жестких минераловатных плит  $\delta_{\text{ут}}$  по уравнению (2.5)

$$\delta_{\text{ут}} = \left[ 3,087 - \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,16}{1,74} + \frac{0,16}{1,92} + \frac{1}{23} \right) \right] \cdot 0,041 = 0,11 \text{ м.}$$



В соответствии с требованиями унификации принимают общую толщину слоя утеплителя  $\delta_{yt} = 0,15$  м.

7. Уточняем приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции стены для всех слоев ограждения по выражению (2.6)

$$R_0^{пр} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,16}{1,74} + \frac{0,15}{0,041} + \frac{0,16}{1,92} + \frac{1}{23} = 3,992 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

Таким образом, условие (2.7) теплотехнического расчета выполнено, так как  $R_0^{пр} \geq R_0^{\text{норм}}$  ( $3,992 > 3,087$ ).

8. Коэффициент теплопередачи для ограждающей конструкции стены определяют по уравнению (2.8)

$$k = \frac{1}{3,992} = 0,25 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}.$$

9. Проведем расчет нормируемого значения сопротивления теплопередаче стен в случае реконструкции здания, для которого по архитектурным или историческим причинам невозможно их утепление снаружи. Расчет проводится по формуле (2.4)

$$R_0^{\text{норм}} = \frac{(20 - (-27))}{4 \cdot 8,7} = 1,351 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

10. Коэффициент теплопередачи для ограждающей конструкции стены реконструируемого здания, для которого по архитектурным или историческим причинам невозможно их утепление снаружи, определяют по уравнению (2.8)

$$k = \frac{1}{1,351} = 0,74 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}.$$

## 2.2. Методика расчета толщины утепляющего слоя покрытия

В начале расчета задаются конструкцией покрытия.

По формуле (2.2) рассчитывают градусо-сутки отопительного периода,  $\text{°C} \cdot \text{сут}$ .

Находят базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции покрытия  $R_0^{\text{тп}}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , по табл. 2.2.

Определяют коэффициент  $n_t$  по формуле (2.3).

Умножают базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции покрытия, полученное по табл. 2.2, на коэффициент  $n_i$ , полученный по формуле (2.3).

Рассчитывают нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции покрытия  $R_0^{\text{норм}}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ , по формуле (2.1), при этом коэффициент  $m_p = 1$ .

Определяют предварительную толщину утеплителя  $\delta_{\text{ут}}$ , м, по уравнению (2.5).

Вычисленное значение  $\delta_{\text{ут}}$  должно быть скорректировано в соответствии с требованиями унификации конструкции ограждений.

Уточняют приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции покрытия  $R_0^{\text{пр}}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ , для всех слоев ограждения по выражению (2.6).

Проверяют условие (2.7). Если оно не выполняется, то целесообразно выбрать строительный материал с меньшим коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{\text{ут}}$ ,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ , или можно увеличить толщину утеплителя.

Вычисляют коэффициент теплопередачи для ограждающей конструкции покрытия  $k$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , по уравнению (2.8).

## Пример 2

### *Теплотехнический расчет наружного ограждения (покрытия)*

#### **Исходные данные**

1. Ограждающая конструкция, совмещенное многослойное покрытие (рис. 2): четыре слоя рубероида толщиной  $\delta_1 = 0,02$  м,  $\gamma_1 = 600$   $\text{кг}/\text{м}^3$ ; цементно-песчаная стяжка толщиной  $\delta_2 = 0,03$  м,  $\gamma_2 = 1800$   $\text{кг}/\text{м}^3$ ; утеплитель – маты минераловатные из каменного волокна с  $\gamma_{\text{ут}} = 125$   $\text{кг}/\text{м}^3$ ; пароизоляция (2 слоя толи) толщиной  $\delta_4 = 0,012$  м,  $\gamma_4 = 600$   $\text{кг}/\text{м}^3$ ; ж/б плита покрытия, ( $\sigma_1 = 160$  мм,  $\sigma_2 = 20$  мм),  $\delta_5 = 0,24$  м,  $\gamma_5 = 2500$   $\text{кг}/\text{м}^3$ .

2. Район строительства – г. Пенза.

3. Влажностный режим помещения – нормальный.

4. Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = 20$   $^\circ\text{C}$ .

5. Зона влажности района – сухая.

6. Условие эксплуатации – А [4, прил. 2], (см. прил. 3, 4)

7. Значение теплотехнических характеристик и коэффициентов в формулах:  $t_{\text{хл}(0,92)} = -27$   $^\circ\text{C}$  (см. прил. 6);  $t_{\text{от}} = -4,1$   $^\circ\text{C}$  (см. прил. 6);  $Z_{\text{от}} = 200$  (см. прил. 6);  $\lambda_1 = 0,17$   $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$  [7, прил. Т], (см. прил. 5);  $\lambda_2 = 0,76$   $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$  [7, прил. Т], (см. прил. 5);  $\lambda_{\text{ут}} = 0,042$   $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$  [7, прил. Т], (см. прил. 5);  $\lambda_4 = 0,17$   $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$  [7, прил. Т], (см. прил. 5);  $\lambda_5 = 1,92$   $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$  [7, прил. Т], (см. прил. 5);  $\alpha_{\text{в}} = 8,7$   $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  (см. табл. 2.4);  $\Delta t^{\text{н}} = 3$   $^\circ\text{C}$  (см. табл. 2.3);  $\alpha_{\text{н}} = 23$   $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  (см. табл. 2.5).

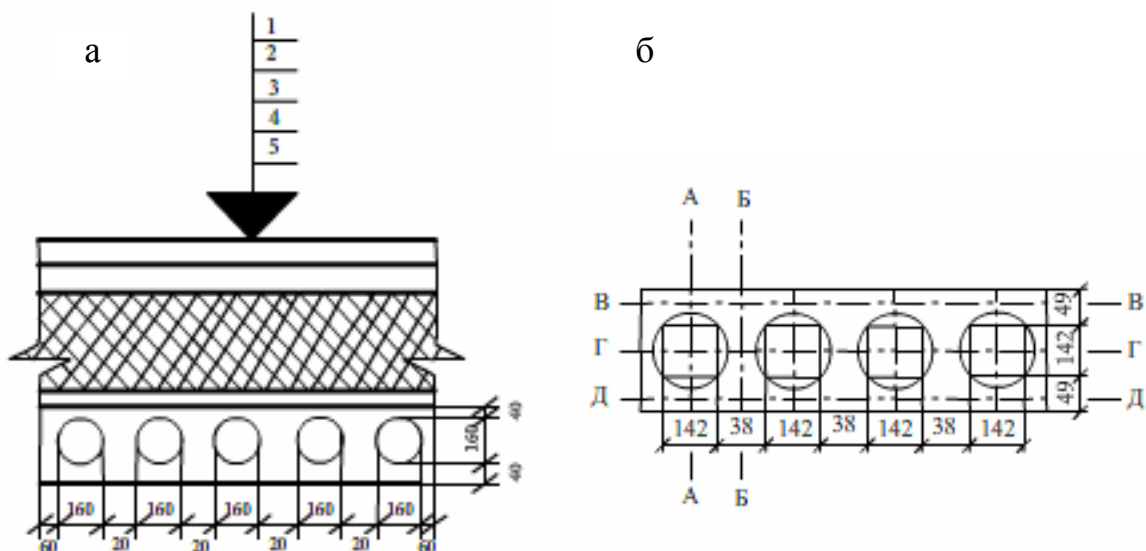


Рис. 2.0 Ограждающая конструкция:  
а – покрытие; б – элемент плиты покрытия

### Порядок расчета

1. По формуле (2.2) рассчитывают градусо-сутки отопительного периода

$$ГСОП = (20 + 4,1) \cdot 200 = 4820 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут.}$$

2. Рассчитываем базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции покрытия по табл. 2.2

$$R_0^{\text{тп}} = 0,0005 \cdot 4820 + 2,2 = 4,61 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт.}$$

Определяем коэффициент  $n_t$  по формуле (2.3)

$$n_t = \frac{20 - (-4,1)}{20 - (-4,1)} = 1.$$

3. Умножаем базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции покрытия, полученное по табл. 2.2, на коэффициент  $n_t$ , полученный по формуле (2.3)

$$R_0^{\text{тп}} = 4,61 \cdot 1 = 4,61 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт.}$$

5. Рассчитываем нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции стены по формуле (2.1), при этом коэффициент  $m_p = 1$

$$R_0^{\text{норм}} = 4,61 \cdot 1 = 4,61 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт.}$$

6. Находят сопротивление теплопередаче железобетонной конструкции многослойной плиты  $R_0^{\text{тп}}$ . Для упрощения круглые отверстия – пус-

тоты плиты диаметром 160 мм – заменяют равновеликими по площади квадратными со стороной

$$a = \sqrt{\frac{\pi d^2}{4}}, \quad (2.9)$$

$$a = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 160^2}{4}} = 142 \text{ мм.}$$

Термическое сопротивление теплопередаче железобетонной конструкции плиты  $R_{\text{плиты}}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , вычисляют отдельно для слоев, параллельных А-А и Б-Б и перпендикулярных В-В; Г-Г; Д-Д движению теплового потока.

А. Термическое сопротивление плиты  $R_A$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , в направлении, параллельном движению теплового потока, вычисляем для двух характерных сечений (А-А; Б-Б) (рис. 2).

В сечении А-А

$$\delta_{\text{жб}}^{A-A} = 0,049 + 0,049 = 0,098 \text{ м}$$

(два слоя железобетона толщиной с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{\text{жб}} = 1,92 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ , воздушной прослойкой толщиной  $\delta_{\text{вп}} = 0,142 \text{ м}$  и термическим сопротивлением  $R_{\text{вп}} = 0,1342 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$  (см. табл. 2.6)), термическое сопротивление составит

$$R_{A-A} = \frac{\delta_{\text{жб}}^{A-A}}{\lambda_{\text{жб}}} + R_{\text{вп}}, \quad (2.10)$$

$$R_{A-A} = \frac{0,166}{1,92} + 0,1342 = 0,1946 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

В сечении Б-Б (слой железобетона  $\delta_{\text{жб}}^{B-B} = 0,24 \text{ м}$  с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{\text{жб}} = 1,92 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ) термическое сопротивление составит

$$R_{B-B} = \frac{\delta_{\text{жб}}^{B-B}}{\lambda_{\text{жб}}}, \quad (2.11)$$

$$R_{B-B} = \frac{0,24}{1,92} = 0,125 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

Затем по уравнению (2.12) получим

$$R_A = \frac{A_{A-A} + A_{B-B}}{\frac{A_{A-A}}{R_{A-A}} + \frac{A_{B-B}}{R_{B-B}}}, \quad (2.12)$$

$$R_A = \frac{0,71 + 0,192}{\frac{0,71}{0,1946} + \frac{0,192}{0,125}} = 0,174 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}},$$

где  $A_{A-A}$  – площадь слоев в сечении А-А, равная

$$A_{A-A} = (0,142 \cdot 1) \cdot 5 = 0,71 \text{ м}^2, \quad (2.13)$$

$A_{B-B}$  – площадь слоев в сечении Б-Б, равная

$$A_{B-B} = (0,048 \cdot 1) \cdot 4 = 0,192 \text{ м}^2. \quad (2.14)$$

**Б.** Термическое сопротивление плиты  $R_B$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт, в направлении, перпендикулярном движению теплового потока, вычисляют для трех характерных сечений (В-В; Г-Г; Д-Д) (см. рис. 2).

Для сечения В-В и Д-Д (два слоя железобетона) по формуле (2.11)

$$\delta_{\text{жб}}^{\text{В-В}} = 0,049 + 0,049 = 0,098 \text{ м},$$

$$R_{\text{В-В, Д-Д}} = \frac{0,098}{1,92} = 0,051 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

Для сечения Г-Г термическое сопротивление по формуле (2.12) составит

$$R_{\Gamma-\Gamma} = \frac{A_{(\Gamma-\Gamma)\text{вп}} + A_{(\Gamma-\Gamma)\text{жб}}}{\frac{A_{(\Gamma-\Gamma)\text{вп}}}{R_{(\Gamma-\Gamma)\text{вп}}} + \frac{A_{(\Gamma-\Gamma)\text{жб}}}{R_{(\Gamma-\Gamma)\text{жб}}}},$$

$$R_{\Gamma-\Gamma} = \frac{0,71 + 0,192}{\frac{0,71}{0,1342} + \frac{0,192}{0,074}} = 0,114 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}},$$

где  $A_{(\Gamma-\Gamma)\text{вп}}$  – площадь воздушных прослоек в сечении Г-Г, равная

$$A_{(\Gamma-\Gamma)\text{вп}} = A_{A-A} = 0,71 \text{ м}^2;$$

$A_{(\Gamma-\Gamma)\text{жб}}$  – площадь слоев из железобетона в сечении Г-Г, равная

$$A_{(\Gamma-\Gamma)\text{жб}} = A_{B-B} = 0,192 \text{ м}^2;$$

$R_{(\Gamma-\Gamma)\text{вп}}$  – термическое сопротивление воздушной прослойки в сечении Г-Г с  $\delta_{\text{вп}} = 0,142 \text{ м}$  (см. табл. 2.7), равное

$$R_{(\Gamma-\Gamma)\text{вп}} = R_{\text{вп}} = 0,1342 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}};$$

$R_{(\Gamma-\Gamma)_{\text{жб}}}$  – термическое сопротивление слоя железобетона в сечении  $\Gamma-\Gamma$   $\delta_{\text{жб}}^{\Gamma-\Gamma} = 0,142 \text{ м}$  с  $\lambda_{\text{жб}} = 1,92 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$ , равное

$$R_{(\Gamma-\Gamma)_{\text{жб}}} = \frac{\delta_{\text{жб}}^{\Gamma-\Gamma}}{\lambda_{\text{жб}}}, \quad (2.15)$$

$$R_{(\Gamma-\Gamma)_{\text{жб}}} = \frac{0,142}{1,92} = 0,074 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Затем определяют

$$R_{\text{Б}} = R_{(\text{В-В}),(\text{Д-Д})} + R_{(\Gamma-\Gamma)}, \quad (2.16)$$

$$R_{\text{Б}} = 0,051 + 0,114 = 0,165 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Разница между величинами  $R_{\text{А}}$  и  $R_{\text{Б}}$  составляет

$$\frac{0,174 - 0,165}{0,174} \cdot 100\% = 5,2\% < 25\%. \quad (2.17)$$

Отсюда полное термическое сопротивление железобетонной конструкции плиты  $R_{\text{плиты}}$ , ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )/Вт, определится по формуле

$$R_{\text{плиты}} = \frac{R_{\text{А}} + 2R_{\text{Б}}}{3}, \quad (2.18)$$

$$R_{\text{плиты}} = \frac{0,174 + 2 \cdot 0,165}{3} = 0,168 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

7. Определяют предварительную толщину утеплителя (маты минераловатные из каменного волокна)  $\delta_{\text{ут}}$  по уравнению (2.5)

$$\delta_{\text{ут}} = \left[ 4,61 - \left( \frac{1}{8,7} + 0,168 + \frac{0,02}{0,17} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{0,012}{0,17} + \frac{1}{23} \right) \right] \cdot 0,042 = 0,17 \text{ м}.$$

В соответствии с требованиями унификации принимают общую толщину слоя утеплителя 0,2 м.

8. Уточняем приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции покрытия для всех слоев ограждения по выражению (2.6)

$$R_{\text{о}}^{\text{пр}} = \frac{1}{8,7} + 0,168 + \frac{0,02}{0,17} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{0,2}{0,042} + \frac{0,012}{0,17} + \frac{1}{23} = 5,316 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Таким образом, условие (2.7) теплотехнического расчета выполнено, так как  $R_{\text{о}}^{\text{пр}} \geq R_{\text{о}}^{\text{норм}}$  ( $5,316 > 4,610$ ).

9. Коэффициент теплопередачи для ограждающей конструкции стены определяют по уравнению (2.8)

$$k = \frac{1}{5,316} = 0,188 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}.$$

### 2.3. Методика расчета толщины утепляющего слоя конструкции полов над подвалом и подпольем

В начале расчета задаются конструкцией полов.

По формуле (2.2) рассчитывают градусо-сутки отопительного периода, °С·сут.

Находят базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции полов  $R_0^{\text{тп}}$ , (м<sup>2</sup>·°С)/Вт, по табл. 2.2.

Определяют коэффициент  $n_t$  по формуле (2.3).

Умножают базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции полов, полученное по табл. 2.2, на коэффициент  $n_t$ , полученный по формуле (2.3).

Рассчитывают нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции полов  $R_0^{\text{норм}}$ , (м<sup>2</sup>·°С)/Вт, по формуле (2.1), при этом коэффициент  $m_p = 1$ .

Определяют предварительную толщину утеплителя  $\delta_{\text{ут}}$ , м, по уравнению (2.5).

Вычисленное значение  $\delta_{\text{ут}}$  должно быть скорректировано в соответствии с требованиями унификации конструкции ограждений.

Уточняют приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции полов  $R_0^{\text{пп}}$ , (м<sup>2</sup>·°С)/Вт, для всех слоев ограждения по выражению (2.6).

Проверяют условие (2.7). Если оно не выполняется, то целесообразно выбрать строительный материал с меньшим коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{\text{ут}}$ , Вт/(м·°С), или можно увеличить толщину утеплителя.

Вычисляют коэффициент теплопередачи для ограждающей конструкции полов  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), по уравнению (2.8).

#### Пример 3

*Теплотехнический расчет конструкции полов, расположенных непосредственно на грунте*

#### Исходные данные

1. Многослойная конструкция полов состоит (рис. 3): слой керамзитобетона,  $\delta_1 = 0,22$  м,  $\gamma_1 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>; пароизоляция (рубероид)  $\delta_2 = 0,01$  м,  $\gamma_2 = 600$  кг/м<sup>3</sup>; утеплитель (вермикулит вспученный)  $\gamma_3 = 200$  кг/м<sup>3</sup>; це-

ментно-песчаная стяжка,  $\delta_4 = 0,02$  м,  $\gamma_4 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>; покрытие пола (линолеум)  $\delta_5 = 0,01$  м,  $\gamma_5 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>.

2. Район строительства – г. Пенза.

3. Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_b = 20$  °С (см. табл. 1.1).

4. Условие эксплуатации – А [4, прил. 2], (см. прил. 3, 4).

5. Значение теплотехнических характеристик и коэффициентов в формулах:  $t_{хп} = -27$  °С (см. прил. 6);  $t_{от} = -4,1$  °С (см. прил. 6);  $Z_{от} = 200$  (см. прил. 6);  $\lambda_1 = 0,8$  Вт/(м·°С) [7, прил. Г], (см. прил. 6),  $\lambda_2 = 0,17$  Вт/(м·°С) [7, прил. Г], (см. прил. 6);  $\lambda_{ут} = 0,08$  Вт/(м·°С) [7, прил. Г], (см. прил. 5);  $\lambda_4 = 0,76$  Вт/(м·°С) [7, прил. Г], (см. прил. 5);  $\lambda_5 = 0,38$  Вт/(м·°С) [7, прил. Г], (см. прил. 5);  $\alpha_b = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) (см. табл. 2.4);  $\alpha_n = 17$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) (см. табл. 2.5);  $\Delta t^H = 2$  °С (см. табл. 2.3).

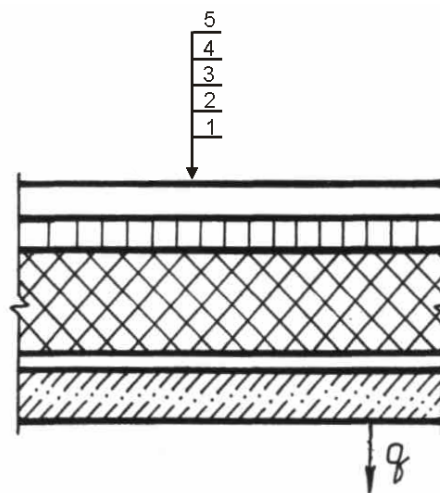


Рис. 3. Ограждающая конструкция пола

### Порядок расчета

1. По формуле (2.2) рассчитывают градусо-сутки отопительного периода

$$ГСОП = (20 + 4,1) \cdot 200 = 4820 \text{ °С} \cdot \text{сут.}$$

2. Рассчитываем базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции пола по табл. 2.2

$$R_0^{TP} = 0,00045 \cdot 4820 + 1,9 = 4,069 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С) / Вт.}$$

3. Определяем коэффициент  $n_t$  по формуле (2.3)

$$n_t = \frac{20 - (-4,1)}{20 - (-4,1)} = 1.$$

4. Умножаем базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции пола, полученное по табл. 2.2, на коэффициент  $n_t$ , полученный по формуле (2.3)

$$R_0^{TP} = 4,069 \cdot 1 = 4,069 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С) / Вт.}$$



5. Рассчитываем нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции пола по формуле (2.1), при этом коэффициент  $m_p = 1$

$$R_0^{\text{норм}} = 4,069 \cdot 1 = 4,069 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

6. Определяют предварительную толщину утеплителя из жестких минераловатных плит  $\delta_{\text{ут}}$  по уравнению (2.5)

$$\delta_{\text{ут}} = \left[ 4,69 - \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{0,8} + \frac{0,01}{0,17} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,01}{0,38} + \frac{1}{23} \right) \right] \cdot 0,08 = 0,332 \text{ м.}$$

В соответствии с требованиями унификации принимают общую толщину слоя утеплителя  $\delta_{\text{ут}} = 0,35 \text{ м.}$

7. Уточняем приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции стены для всех слоев ограждения по выражению (2.6)

$$R_0^{\text{пр}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{0,8} + \frac{0,01}{0,17} + \frac{0,35}{0,08} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,01}{0,38} + \frac{1}{23} = 4,92 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

Таким образом, условие (2.7) теплотехнического расчета выполнено, так как  $R_0^{\text{пр}} \geq R_0^{\text{норм}}$  ( $4,920 > 4,069$ ).

8. Коэффициент теплопередачи для ограждающей конструкции стены определяют по уравнению (2.8)

$$k = \frac{1}{4,92} = 0,203 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}.$$

## 2.4. Методика теплотехнического расчета световых проемов

В практике строительства жилых зданий применяется: одинарное, двойное и тройное остекление в деревянных, пластмассовых или металлических переплетах, спаренное или раздельное. Теплотехнический расчет световых проемов и выбор их конструкций осуществляется в зависимости от района строительства и назначения помещений.

По формуле (2.2) рассчитывают градусо-сутки отопительного периода, °C·сут.

Находят базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции световых проемов  $R_0^{\text{тп}}$ , (м<sup>2</sup>·°C)/Вт, по табл. 2.2.

Определяют коэффициент  $n_t$  по формуле (2.3).

Умножают базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции световых проемов, полученное по табл. 2.2, на коэффициент  $n_t$ , полученный по формуле (2.3).

Рассчитывают нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции световых проемов  $R_0^{\text{норм}}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , по формуле (2.1), при этом коэффициент  $m_p = 1$ .

Затем по [19, прил.Л], (табл. 2.7) в зависимости от значения  $R_0^{\text{норм}}$  выбирают ограждающую конструкцию светового проема с фактическим приведенным сопротивлением теплопередаче  $R_0^{\text{пр}}$  так, чтобы выполнялось условие (2.7), при этом уменьшение  $R_0^{\text{пр}}$  от  $R_0^{\text{норм}}$  на 5% допустимо.

Т а б л и ц а 2 . 7

Фактическое приведенное сопротивление теплопередаче  $R_0^{\text{пр}}$ , коэффициент относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений  $\tau_1$ , коэффициент, учитывающий затенение светового проема непрозрачными элементами заполнения  $\tau_2$  окон, балконных дверей и фонарей

№ п/п	Заполнение светового проема	Светопрозрачные конструкции					
		в деревянных или ПВХ переплетах			в алюминиевых переплетах		
		$R_0^{\text{пр}}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$	$\tau_2$	$\tau_1$	$R_0^{\text{пр}}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$	$\tau_2$	$\tau_1$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Двойное остекление из обычного стекла в спаренных переплетах	0,40	0,75	0,62	-	0,70	0,62
2	Двойное остекление с твердым селективным покрытием в спаренных переплетах	0,55	0,75	0,65	-	0,70	0,65
3	Двойное остекление из обычного стекла в отдельных переплетах	0,44	0,65	0,62	0,34	0,60	0,62
4	Двойное остекление с твердым селективным покрытием в отдельных переплетах	0,57	0,65	0,60	0,45	0,60	0,60
5	Блоки стеклянные пустотные (с шириной швов 6 мм) размером, мм: 194'194'98 2544'244'98	0,31	0,90	0,40 (без переплета)			
		0,33	0,90	0,45 (без переплета)			
6	Профильное стекло коробчатого сечения	0,31	0,90	0,50 (без переплета)			

Продолжение табл. 2.7

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Двойное из органического стекла для зенитных фонарей	0,36	0,90	0,9	-	0,90	0,90
8	Тройное из органического стекла для зенитных фонарей	0,52	0,90	0,83	-	0,90	0,83
9	Тройное остекление из обычного стекла в раздельно-спаренных переплетах	0,55	0,50	0,70	0,46	0,50	0,70
10	Тройное остекление с твердым селективным покрытием в раздельно-спаренных переплетах	0,60	0,50	0,67	0,50	0,50	0,67
11	Однокамерный стеклопакет в одинарном переплете из стекла:						
	обычного	0,35	0,80	0,76	0,34	0,80	0,76
	с твердым селективным покрытием	0,51	0,80	0,75	0,43	0,80	0,75
	с мягким селективным покрытием	0,56	0,80	0,54	0,47	0,80	0,54
12	Двухкамерный стеклопакет в одинарном переплете из стекла:						
	обычного (с межстекольным расстоянием 8 мм)	0,50	0,80	0,74	0,43	0,80	0,74
	обычного (с межстекольным расстоянием 12 мм)	0,54	0,80	0,74	0,45	0,80	0,74
	с твердым селективным покрытием	0,58	0,80	0,68	0,48	0,80	0,68
	с мягким селективным покрытием	0,68	0,80	0,48	0,52	0,80	0,48
	с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,65	0,80	0,68	0,53	0,80	0,68
13	Обычное стекло и однокамерный стеклопакет в раздельных переплетах из стекла:						
	обычного	0,56	0,60	0,63	0,50	0,60	0,63
	с твердым селективным покрытием	0,65	0,60	0,58	0,56	0,60	0,58
	с мягким селективным покрытием	0,72	0,60	0,51	0,60	0,60	0,58
	с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,69	0,60	0,58	0,60	0,60	0,58

Окончание табл. 2.7

1	2	3	4	5	6	7	8
14	Обычное стекло и двухкамерный стеклопакет в отдельных переплетах из стекла:						
	обычного	0,65	0,60	0,60	-	0,60	0,60
	с твердым селективным покрытием	0,72	0,60	0,56	-	0,58	0,56
	с мягким селективным покрытием	0,80	0,60	0,36	-	0,58	0,56
	с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,82	0,60	0,56	-	0,58	0,56
15	Два однокамерных стеклопакета в спаренных переплетах	0,70	0,70	0,59	-	0,70	0,59
16	Два однокамерных стеклопакета в отдельных переплетах	0,75	0,60	0,54	-	0,60	0,54
17	Четырехслойное остекление из обычного стекла в двух спаренных переплетах	0,80	0,50	0,59	-	0,50	0,59

Примечания:

1. Значения фактического приведенного сопротивления теплопередаче, указанные в таблице, допускается применять в качестве расчетных при отсутствии этих значений в стандартах или технических условиях на конструкции или не подтвержденных результатами испытаний.

2. К мягким селективным покрытиям стекла относят покрытия с тепловой эмиссией менее 0,15, к твердым (К-стекло) – 0,15 и более.

3. Значения фактического приведенного сопротивления теплопередаче заполнений световых проемов даны для случаев, когда отношение площади остекления к площади заполнения светового проема равно 0,75.

4. Значения для окон со стеклопакетами приведены:

– для деревянных окон при ширине переплета 78 мм;

– для конструкций окон в ПВХ переплетах шириной 60 мм с тремя воздушными камерами.

При применении ПВХ переплетов шириной 70 мм и с пятью воздушными камерами приведенное сопротивление теплопередаче увеличивается на  $0,03 \text{ м}^2 \times \text{°C/Вт}$ ;

– для алюминиевых окон значения приведены для переплетов с термическими вставками.

Пример 4

*Теплотехнический расчет оконных проемов*

**Исходные данные**

1. Район строительства – г. Пенза.

2. Расчетная температура внутреннего воздуха основных помещений здания  $t_{в} = 20 \text{ °C}$  (см. табл. 1.1).

3. Условие эксплуатации – А [4, прил. 2], (см. прил. 3, 4).

4. Значение теплотехнических характеристик и коэффициентов в формулах:  $t_{от} = -4,1$  °С (см. прил. 6);  $Z_{от} = 200$  (см. прил. 6);  $a = 0,00005$ ,  $b = 0,2$  (табл. 2.2).

### Порядок расчета

1. По формуле (2.2) рассчитывают градусо-сутки отопительного периода

$$\text{ГСОП} = (20 + 4,1) \cdot 200 = 4820 \text{ °С} \cdot \text{сут.}$$

2. Рассчитываем базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции светового проема по табл. 2.2

$$R_0^{\text{TP}} = 0,00005 \cdot 4820 + 0,2 = 0,441 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С) / Вт.}$$

3. Определяем коэффициент  $n_t$  по формуле (2.3)

$$n_t = \frac{20 - (-4,1)}{20 - (-4,1)} = 1.$$

4. Умножаем базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции светового проема, полученное по табл. 2.2, на коэффициент  $n_t$ , полученный по формуле (2.3)

$$R_0^{\text{TP}} = 0,441 \cdot 1 = 0,441 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С) / Вт.}$$

5. Рассчитываем нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции светового проема по формуле (2.1), при этом коэффициент  $m_p = 1$

$$R_0^{\text{норм}} = 0,441 \cdot 1 = 0,441 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С) / Вт.}$$

6. Таким образом, принимают конструкцию светового проема из деревянных или ПВХ переплетов с двойным остеклением из обычного стекла в раздельных переплетах с фактическим приведенным сопротивлением теплопередаче  $R_0^{\text{TP}} = 0,44 \text{ м}^2 \cdot \text{°С / Вт.}$

7. Коэффициент теплопередачи выбранной конструкции светового проема  $k_{ок}$  определяют по уравнению (2.8)

$$k = \frac{1}{0,44} = 0,273 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}.$$

## 2.5. Методика теплотехнического расчета входных дверей

Согласно [7] нормируемое значение сопротивления теплопередаче входных дверей и ворот  $R_0^{\text{норм}}$ , должно быть не менее  $0,6 R_0^{\text{норм}}$  стен зданий, определяемого по формуле (2.4).

В зависимости от значения  $R_0^{\text{норм}}$  выбирают ограждающую конструкцию входных дверей с фактическим приведенным сопротивлением теплопередаче  $R_0^{\text{пр}}$  так, чтобы выполнялось условие (2.7).

## Пример 5

### Теплотехнический расчет входных дверей

#### Исходные данные

1. Здание жилое.
2. Район строительства – г. Пенза.
3. Расчетная температура внутреннего воздуха основных помещений здания  $t_{\text{в}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  (см. табл. 1.1).
4. Значение теплотехнических характеристик и коэффициентов в формулах:  $t_{\text{хп}(0,92)} = -27 \text{ }^\circ\text{C}$  (см. прил. 6);  $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  (см. табл. 2.4);  $\Delta t^{\text{н}} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$  (см. табл. 2.3);  $\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , (см. табл. 2.5).

#### Порядок расчета

1. Определяют минимальное нормируемое значение сопротивления теплопередаче входных дверей по уравнению (2.4)

$$R_0^{\text{норм}} = 0,6 \cdot \frac{(20 - (-27))}{4 \cdot 8,7} = 0,811 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

2. Выбирают ограждающую конструкцию входных дверей с фактическим приведенным сопротивлением теплопередаче  $R_0^{\text{пр}}$  так, чтобы выполнялось условие (2.7).

3. Минимальное значение коэффициента теплопередачи наружной двери  $k_{\text{дв}}$  определяют по уравнению (2.8)

$$k = \frac{1}{0,811} = 1,233 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

#### Контрольные вопросы

1. Какова основная цель теплотехнического расчета?
2. Для каких наружных ограждений проводится теплотехнический расчет? Для какого периода года? С учетом каких условий?
3. Как определяется условие эксплуатации ограждающей конструкции?
4. Какие строительные материалы способны эффективнее сохранять тепловую энергию внутри здания в холодный период года?
5. Существует ли различие приведенных сопротивлений теплопередаче  $R_0$  у различных видов стекол, используемых при остеклении оконных проемов?

### 3. РАСЧЕТ ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД

#### 3.1. Методика расчета теплоустойчивости наружных ограждений (наружных стен и перекрытий/покрытий) в теплый период

Согласно [7] в районах со среднемесячной температурой июля  $21^{\circ}\text{C}$  и выше расчетная амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций (наружных стен и перекрытий/покрытий)  $A_t$ ,  $^{\circ}\text{C}$ , зданий жилых, больничных учреждений (больниц, клиник, стационаров и госпиталей), диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских садов, яслей, яслей-садов (комбинатов) и детских домов, а также производственных зданий, в которых необходимо соблюдать оптимальные параметры температуры и относительной влажности воздуха в рабочей зоне в теплый период года или по условиям технологии поддерживать постоянными температуру или температуру и относительную влажность воздуха, не должна быть более нормируемой амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции  $A_t^{\text{TP}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ , определяемой по формуле

$$A_t^{\text{TP}} = 2,5 - 0,1 \cdot (t_{\text{нл}} - 21), \quad (3.1)$$

где  $t_{\text{нл}}$  – среднемесячная температура наружного воздуха за июль,  $^{\circ}\text{C}$ , [6, табл.3.2].

Определяют расчетную амплитуду колебаний температуры наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$

$$A_{t_n}^{\text{рас}} = 0,5 \cdot A_{t_n} + \frac{\rho \cdot (I_{\text{max}} - I_{\text{cp}})}{\alpha_n}, \quad (3.2)$$

где  $A_{t_n}$  – максимальная амплитуда суточных колебаний наружного воздуха за июль,  $^{\circ}\text{C}$ , [17, прил. 2];

$\rho$  – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности, [7, прил. И];

$I_{\text{max}}, I_{\text{cp}}$  – соответственно максимальное и среднее значения суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), [17, прил. 6];

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждений при летних условиях,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$$\alpha_n = 1,16 \cdot (5 + 10\sqrt{V}). \quad (3.3)$$

Здесь  $V$  – минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которых составляет 16% и более, принимая согласно [6, табл. 4.1], но не менее 1 м/с.

Определяют сопротивление теплопередачи слоев по уравнению,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ :

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (3.4)$$

где  $\delta_i, \lambda_i$  – то же, что в формуле (2.5).

Определяют тепловую инерцию  $D$  ограждающей конструкции как сумму значений тепловой инерции  $D_i$  всех слоев многослойной конструкции

$$D = D_1 + D_2 + \dots + D_i + D_{i+1}, \quad (3.5)$$

$$D_i = R_i \cdot S_i, \quad (3.6)$$

где  $S$  – коэффициент теплоусвоения материала,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , [7, прил.Г], (см. прил.5).

При расчете величины тепловой инерции  $D$  ограждающей конструкции, согласно [7], следует учесть:

1. Расчетный коэффициент теплоусвоения воздушных прослоек принимается равной нулю.
2. Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции не учитываются.
3. При суммарной тепловой инерции ограждающей конструкции  $D > 4$  расчет на теплоустойчивость не требуется.

Определяют коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции  $Y_i$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , в зависимости от значения тепловой инерции  $D_i$  каждого слоя.

Коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя  $Y_i$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , с тепловой инерцией  $D_i \geq 1$  следует принимать равным расчетному коэффициенту теплоусвоения материала для этого слоя конструкции, то есть  $Y_i = S_i$ .

Коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя  $Y_i$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , с тепловой инерцией  $D_i < 1$  следует определять расчетом, начиная с первого слоя (считая от внутренней поверхности ограждающей конструкции) следующим образом:

- для первого слоя – по формуле

$$Y_1 = \frac{R_1 \cdot S_1^2 + \alpha_{\text{в}}}{1 + R_1 \cdot \alpha_{\text{в}}}, \quad (3.7)$$



- для  $i$ -го слоя – по формуле

$$Y_i = \frac{R_i \cdot S_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_i \cdot Y_{i-1}}, \quad (3.8)$$

где  $R_1, R_i$  – то же, что и в уравнении (3.4);

$S_1, S_i$  – то же, что и в уравнении (3.6);

$\alpha_b$  – то же, что и в уравнении (2.4);

$Y_1, Y_i, Y_{i-1}$  – коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности соответственно первого,  $i$ -го и  $(i-1)$ -го слоев ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

Определяют величину затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции, состоящей из однородных слоев, по формуле

$$v = 0,9 \cdot e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(S_1 + \alpha_b) \cdot (S_2 + Y_1) \cdot (S_i + Y_{i-1}) \cdot (\alpha_n + Y_i)}{(S_1 + Y_1) \cdot (S_2 + Y_2) \cdot (S_i + Y_i) \cdot \alpha_n}, \quad (3.9)$$

где  $e = 2,718$  – основание натуральных логарифмов;

$D$  – то же, что и в уравнении (3.5);

$S_1, S_i$  – то же, что и в уравнении (3.6);

$\alpha_b$  – то же, что и в уравнении (2.4);

$\alpha_n$  – то же, что и в уравнении (3.3);

$Y_1, Y_i, Y_{i-1}$  – то же, что и в уравнениях (3.7) и (3.8).

Вычисляют амплитуду колебаний температуры внутренней поверхности ограждения, °C

$$A_{\tau_b} = \frac{A_n^{\text{рас}}}{v}. \quad (3.10)$$

Таким образом, конструкция отвечает требованиям теплоустойчивости, так как выполняется условие  $A_{\tau_b} < A_{\tau}^{\text{ТР}}$ .

Согласно [7] в районах со среднемесячной температурой июля 21°C и выше для окон и фонарей зданий жилых, больничных учреждений (больниц, клиник, стационаров и госпиталей), диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских садов, яслей, яслей-садов (комбинатов) и детских домов, а также производственных зданий, в которых необходимо соблюдать оптимальные параметры температуры и относительной влажности воздуха в рабочей зоне или по условиям технологии должны поддерживаться постоянными температура или температура

и относительная влажность воздуха, следует предусматривать теплозащитные устройства.

Коэффициент теплопропускания солнцезащитного устройства должен быть не более нормируемой величины  $\beta_{сз}^H$ , установленной табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3 . 1

Нормируемые значения коэффициента теплопропускания солнцезащитного устройства

Здания	Коэффициент теплопропускания солнцезащитного устройства $\beta_{сз}^H$
1. Здания жилых, больничных учреждений (больниц, клиник, стационаров и госпиталей), диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских садов, яслей, яслей-садов (комбинатов) и детских домов	0,2
2. Производственные здания, в которых должны соблюдаться заданные параметры микроклимата в рабочей зоне или по условиям технологии должны поддерживаться постоянными температура или температура и относительная влажность воздуха в здании	0,4

Пример 6

Расчет теплоустойчивости наружного ограждения стены в теплый период

### Исходные данные

Ограждающая конструкция стены вновь возводимого здания, состоящая из трёх слоёв (рис. 1): бетон на гравии или щебне из природного камня  $\delta_1 = 0,16$  м,  $\lambda_1 = 1,74$  Вт/(м·°С),  $S_1 = 16,77$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С); слоя утеплителя из жестких минераловатных плит  $\delta_{ут} = 0,15$  м,  $\lambda_{ут} = 0,041$  Вт/(м·°С),  $S_{ут} = 0,37$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С); железобетона  $\delta_3 = 0,16$  м,  $\lambda_3 = 1,92$  Вт/(м·°С),  $S_3 = 17,98$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Значение климатических характеристик района застройки (см. табл. 1.1):  $v = 3,8$  м/с;  $A_{t_h} = 18,4$  °С;  $I_{max} = 547$  Вт/м<sup>2</sup>;  $I_{cp} = 168$  Вт/м<sup>2</sup>;  $\rho = 0,7$ ;  $\alpha_B = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $t_{нл} = 26$ °С.

### Порядок расчета

1. Определяют сопротивление теплопередаче слоев по уравнению (3.4), (м<sup>2</sup>·°С)/Вт

$$R_1 = \frac{0,16}{1,74} = 0,092 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}},$$

$$R_2 = \frac{0,15}{0,041} = 3,659 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}},$$

$$R_3 = \frac{0,16}{1,92} = 0,083 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

2. Определяют тепловую инерцию ограждающей конструкции по уравнениям (3.5) и (3.6)

$$D_1 = 0,092 \cdot 16,77 = 1,543,$$

$$D_2 = 3,659 \cdot 0,37 = 1,354,$$

$$D_3 = 0,083 \cdot 17,98 = 1,492,$$

$$D = 1,543 + 1,354 + 1,492 = 4,389.$$

3. Согласно [7] при суммарной тепловой инерции ограждающей конструкции  $D > 4$  расчет на теплоустойчивость не требуется.

Таким образом, конструкция отвечает требованиям теплоустойчивости.

## Пример 7

### *Расчет теплоустойчивости наружного ограждения покрытия в теплый период*

#### **Исходные данные**

Ограждающая конструкция покрытия вновь возводимого здания, совмещенное многослойное покрытие (рис. 2): четыре слоя рубероида толщиной  $\delta_1 = 0,02$  м,  $\lambda_1 = 0,17$  Вт/(м·°C),  $S_1 = 3,53$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); цементно-песчаная стяжка толщиной  $\delta_2 = 0,03$  м,  $\lambda_2 = 0,76$  Вт/(м·°C),  $S_2 = 9,6$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); утеплитель – маты минераловатные из каменного волокна с  $\delta_{\text{ут}} = 0,2$  м,  $\lambda_{\text{ут}} = 0,042$  Вт/(м·°C),  $S_{\text{ут}} = 0,53$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); пароизоляция (2 слоя толи) толщиной  $\delta_4 = 0,012$  м,  $\lambda_4 = 0,17$  Вт/(м·°C),  $S_4 = 3,53$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); ж/б плита покрытия  $\delta_5 = 0,24$  м,  $\lambda_5 = 1,92$  Вт/(м·°C),  $S_5 = 17,98$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

Значение климатических характеристик района застройки (см. табл. 1.1):  $\nu = 3,8$  м/с;  $A_{t_n} = 18,4$ °C;  $I_{\text{max}} = 547$  Вт/м<sup>2</sup>;  $I_{\text{cp}} = 168$  Вт/м<sup>2</sup>;  $\rho = 0,7$ ;  $\alpha_{\text{в}} = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $t_{\text{нл}} = 26$ °C.

#### **Порядок расчета**

1. Определяют сопротивление теплопередаче слоев по уравнению (3.4), (м<sup>2</sup>·°C)/Вт

$$R_1 = \frac{0,02}{0,17} = 0,118 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}},$$

$$R_2 = \frac{0,03}{0,76} = 0,039 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}},$$

$$R_3 = \frac{0,2}{0,042} = 4,761 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}},$$

$$R_4 = \frac{0,012}{0,17} = 0,071 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}},$$

$$R_5 = 0,168 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

2. Определяют тепловую инерцию ограждающей конструкции по уравнениям (3.5) и (3.6)

$$D_1 = 0,118 \cdot 3,53 = 1,417,$$

$$D_2 = 0,039 \cdot 9,6 = 0,374,$$

$$D_3 = 4,761 \cdot 0,53 = 2,523,$$

$$D_4 = 0,071 \cdot 3,53 = 0,251,$$

$$D_5 = 0,168 \cdot 17,98 = 3,021,$$

$$D = 1,417 + 0,374 + 2,523 + 0,251 + 3,021 = 7,586.$$

3. Согласно [7] при суммарной тепловой инерции ограждающей конструкции  $D > 4$  расчет на теплоустойчивость не требуется.

Таким образом, конструкция отвечает требованиям теплоустойчивости.

### Контрольные вопросы

1. Какова основная цель расчета теплоустойчивости наружного ограждения в теплый период?

## 4. РАСЧЕТ ТЕПЛОУСВОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛОВ

### 4.1. Методика расчета теплоусвоения поверхности полов

Согласно [7] поверхность пола жилых и общественных зданий, вспомогательных зданий и помещений промышленных предприятий и отапливаемых помещений производственных зданий (на участках с постоянными рабочими местами) должна иметь расчетный показатель теплоусвоения  $Y_{\text{пол}}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), не более нормируемой величины  $Y_{\text{пол}}^{\text{тр}}$ , установленной в табл. 4.1, т.е

$$Y_{\text{пол}} \leq Y_{\text{пол}}^{\text{тр}}. \quad (4.1)$$

Т а б л и ц а 4 . 1

Нормируемые значения показателя  $Y_{\text{пол}}^{\text{тр}}$

Здания, помещения и отдельные участки	Показатель теплоусвоения поверхности пола $Y_{\text{пол}}^{\text{тр}}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1. Здания жилые, больничных учреждений (больниц, клиник, стационаров и госпиталей), диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, общеобразовательных детских школ, детских садов, яслей, яслей-садов (комбинатов), детских домов и детских приемников-распределителей.	12
2. Общественные здания (кроме указанных в поз.1); вспомогательные здания и помещения промышленных предприятий; участки с постоянными рабочими местами в отапливаемых помещениях производственных зданий, где выполняются легкие физические работы (категория I).	14
3. Участки с постоянными рабочими местами в отапливаемых помещениях производственных зданий, где выполняются физические работы средней тяжести (категория II).	17

Не нормируется показатель теплоусвоения поверхности полов:

- а) имеющих температуру поверхности выше +23°С;
- б) в отапливаемых помещениях производственных зданий, где выполняются тяжелые физические работы (категория III);
- в) в производственных зданиях при условии укладки на участке постоянных рабочих мест деревянных щитов или теплоизолирующих ковриков;
- г) помещений общественных зданий, эксплуатация которых не связана с постоянным пребыванием в них людей (залы музеев и выставок, фойе театров, кинотеатров и т.п.).

Расчетная величина показателя теплоусвоения поверхности пола  $Y_{\text{пол}}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), определяются следующим образом:

а) если покрытие пола (первый слой поверхности конструкции пола) имеет тепловую инерцию, найденную по уравнению (3.6),  $D_1 \geq 0,5$ , то показатель теплоусвоения поверхности пола следует определять по формуле

$$Y_{\text{пол}} = 2S_1. \quad (4.2)$$

б) если первые  $n$  слоев конструкции пола ( $n \geq 1$ ) имеют суммарную тепловую инерцию  $D_1 + D_2 + \dots + D_n < 0,5$ , но тепловая инерция  $(n+1)$  слоев  $D_1 + D_2 + \dots + D_{n+1} \geq 0,5$ , то показатель теплоусвоения поверхности пола  $Y_{\text{пол}}$  следует определять последовательно расчетом показателей теплоусвоения поверхностей слоев конструкции, начиная с  $n$ -го до 1-го: для  $n$ -го слоя - по формуле

$$Y_n = \frac{2R_n S_n^2 + S_{n+1}}{0,5 + R_n S_{n+1}}, \quad (4.3)$$

для  $i$ -го слоя ( $i = n-1; n-2; \dots; 1$ ) – по формуле

$$Y_i = \frac{4R_i S_i^2 + Y_{i+1}}{1 + R_i Y_{i+1}}, \quad (4.4)$$

Показатель теплоусвоения поверхности пола  $Y_{\text{пол}}$  принимается равным показателю теплоусвоения поверхности первого слоя  $Y_1$ ,

где  $D_1, D_2, \dots, D_n, D_{n+1}$  – то же, что и в уравнении (3.6);

$R_1, R_2, \dots, R_n$  – то же, что и в уравнении (3.4);

$S_1, S_i, S_n, S_{n+1}$  – то же, что и в уравнении (3.6);

Если выполняется условие (4.1), то конструкция пола удовлетворяет требованиям в отношении теплоусвоения.

Если условие (4.1) не выполняется, т.е.  $Y_{\text{пол}} < Y_{\text{пол}}^{\text{тр}}$ , то следует разработать другую конструкцию пола или изменить толщины его отдельных слоев до удовлетворения условия (4.1).

## Пример 8

*Расчет теплоусвоения наружного ограждения (полов)  
в теплый период*

### Исходные данные

Многослойная конструкция полов вновь возводимого жилого здания состоит (рис. 3): слой керамзитобетона,  $\delta_1 = 0,22$  м,  $\lambda_1 = 0,8$  Вт/(м·°С),  $S_1 = 10,5$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С); пароизоляция (рубероид)  $\delta_2 = 0,01$  м,  $\lambda_2 = 0,17$  Вт/(м·°С),

$S_2 = 3,53 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ ; утеплитель (вермикулит вспученный)  $\delta_{\text{ут}} = 0,35 \text{ м}$ ,  $\lambda_{\text{ут}} = 0,08 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С})$ ,  $S_{\text{ут}} = 1,01 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ ; цементно-песчаная стяжка,  $\delta_4 = 0,02 \text{ м}$ ,  $\lambda_4 = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С})$ ,  $S_4 = 9,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ ; покрытие пола (линолеум)  $\delta_5 = 0,01 \text{ м}$ ,  $\lambda_5 = 0,38 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С})$ ,  $S_5 = 8,56 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ .

### Порядок расчета

1. Определяют сопротивление теплопередаче слоев по уравнению (3.4), начиная с поверхностного слоя, т.е. с покрытия пола (линолеума)

$$R_1 = \frac{0,01}{0,38} = 0,026 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}},$$

$$R_2 = \frac{0,02}{0,76} = 0,026 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}},$$

$$R_3 = \frac{0,35}{0,08} = 4,375 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}},$$

$$R_4 = \frac{0,01}{0,17} = 0,059 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}},$$

$$R_5 = \frac{0,22}{0,8} = 0,275 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}.$$

2. Определяют тепловую инерцию первого поверхностного слоя конструкции полов по уравнению (3.6)

$$D_1 = 0,026 \cdot 8,56 = 0,223,$$

$$\text{т.е. } D_1 = 0,223 < 0,5.$$

3. Определяют тепловую инерцию второго от поверхности слоя конструкции полов по уравнению (3.6)

$$D_2 = 0,026 \cdot 9,6 = 0,25,$$

$$D_1 + D_2 = 0,223 + 0,25 = 0,472,$$

$$\text{т.е. } D_1 + D_2 < 0,5.$$

4. Определяют тепловую инерцию третьего от поверхности слоя конструкции полов по уравнению (3.6)

$$D_3 = 4,375 \cdot 1,01 = 4,419,$$

$$D_1 + D_2 + D_3 = 0,223 + 0,25 + 4,419 = 4,892,$$

$$\text{т.е. } D_1 + D_2 + D_3 > 0,5.$$

5. Значит, показатель теплоусвоения поверхности пола  $Y_{\text{пол}}$  следует определять последовательно расчетом показателей теплоусвоения поверхностей слоев конструкции, начиная с  $n$ -го до 1-го, по уравнениям (4.3), (4.4), т.е. показатель теплоусвоения для третьего от поверхности слоя равен

$$Y_3 = \frac{2R_3S_3^2 + S_4}{0,5 + R_3S_4},$$

$$Y_3 = \frac{2 \cdot 4,375 \cdot 1,01^2 + 3,53}{0,5 + 4,375 \cdot 3,53} = 0,627 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}};$$

для второго от поверхности слоя равен

$$Y_2 = \frac{2R_2S_2^2 + Y_3}{1 + R_2Y_3},$$

$$Y_2 = \frac{4 \cdot 0,026 \cdot 9,6^2 + 0,627}{1 + 0,026 \cdot 0,627} = 10,048 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}};$$

для первого поверхностного слоя равен

$$Y_1 = \frac{2R_1S_1^2 + Y_2}{1 + R_1Y_2},$$

$$Y_1 = \frac{4 \cdot 0,026 \cdot 8,56^2 + 10,048}{1 + 0,026 \cdot 10,048} = 14,009 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}};$$

Показатель теплоусвоения поверхности пола  $Y_{\text{пол}}$  принимается равным показателю теплоусвоения поверхности первого слоя  $Y_1$ .

$$Y_{\text{пол}} = Y_1,$$

$$Y_{\text{пол}} = 14,009 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}.$$

Нормируемые значения показателя теплоусвоения поверхности пола будет иметь значение  $Y_{\text{пол}}^{\text{ТР}} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Таким образом, условие (4.1) не выполняется, т.е.  $Y_{\text{пол}} > Y_{\text{пол}}^{\text{ТР}}$ , тогда следует разработать другую конструкцию пола или изменить толщины его отдельных слоев до удовлетворения условия (4.1).

## Контрольный вопрос

1. Какова основная цель расчета теплоусвоения поверхности наружного ограждения в теплый период?



## 5. РАСЧЕТ ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

### 5.1. Методика проверки внутренней поверхности ограждения (стены) на возможность конденсации влаги

Определяют температуру внутренней поверхности для материала без теплопроводных включений, °С:

$$\tau_{\text{вп}} = t_{\text{в}} - (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n \cdot \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{о}}^{\text{пп}}}, \quad (5.1)$$

где  $R_{\text{в}}$  – сопротивление теплоотдаче у внутренней поверхности ограждения, (м<sup>2</sup>·°С)/Вт, определяемое как  $R_{\text{в}} = 1/\alpha_{\text{в}}$ ;

$R_{\text{о}}^{\text{пп}}$  – общее фактическое термическое сопротивление ограждения, (м<sup>2</sup>·°С)/Вт.

Определяют действительную упругость водяных паров, Па:

$$e = \frac{\varphi_{\text{в}}}{100} \cdot E_{\text{в}}, \quad (5.2)$$

где  $\varphi_{\text{в}}$  – относительная влажность внутреннего воздуха, %, (см. табл. 1.1);

$E_{\text{в}}$  – максимальная упругость водяных паров, Па, при заданной температуре внутреннего воздуха  $t_{\text{в}}$ , °С, [4, табл.16].

Рассчитывают температуру точки росы, °С

$$\tau_{\text{р}} = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot e)^2. \quad (5.3)$$

Определяют температуру внутренней поверхности в углу, °С

$$\frac{\tau_{\text{вп}} - \tau_{\text{уг}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} = 0,18 - 0,036 R_{\text{о}}^{\text{пп}}. \quad (5.4)$$

Таким образом, если выполняются условия  $\tau_{\text{вп}} > \tau_{\text{р}}$  и  $\tau_{\text{уг}} > \tau_{\text{р}}$ , то конденсация влаги на внутренней поверхности ограждения и в углу стены происходить не будет.

#### Пример 9

*Проверка внутренней поверхности ограждения (стены)  
на возможность конденсации влаги*

#### Исходные данные

Для расчета необходимы значения следующих величин:  $t_{\text{н}} = -27$  °С;  $t_{\text{в}} = 20$  °С;  $n = 1$ ;  $\alpha_{\text{в}} = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $R_{\text{о}}^{\text{пп}} = 3,992$  (м<sup>2</sup>·°С)/Вт;  $R_{\text{в}} = 0,115$  (м<sup>2</sup>·°С)/Вт;  $\varphi_{\text{в}} = 50$  %;  $E_{\text{в}} = 2339$  Па.

### Порядок расчета

1. Определяют температуру внутренней поверхности для материала без теплопроводных включений по уравнению (5.1)

$$\tau_{\text{вп}} = 20 - (20 - (-27)) \cdot 1 \cdot \frac{0,115}{3,992} = 18,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

2. Определяют действительную упругость водяных паров по уравнению (5.2)

$$e = \frac{50}{100} \cdot 2339 = 1169 \text{ Па}.$$

3. Рассчитывают температуру точки росы по уравнению (5.3)

$$\tau_p = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot 1169)^2 = 8,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4. Определяют температуру внутренней поверхности в углу по уравнению (5.4)

$$\frac{18,7 - \tau_{\text{уг}}}{20 - (-27)} = 0,18 - 0,036 \cdot 3,992;$$

$$\tau_{\text{уг}} = 17 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Таким образом, конденсация влаги на внутренней поверхности ограждения и в углу стены происходить не будет, так как выполняются условия  $\tau_{\text{вп}} > \tau_p$  ( $18,7 > 8,9$ ) и  $\tau_{\text{уг}} > \tau_p$  ( $17 > 8,9$ ).

### Контрольные вопросы

1. Какова основная цель расчета?
2. Какие факторы влияют на возможность конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающей конструкции?
3. Какие меры по предупреждению возможности конденсации влаги на внутренней поверхности необходимо предусмотреть?
4. Уменьшит ли повышение температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции вероятность конденсации влаги на ней?
5. Какую угрозу несет конденсация влаги на внутренней поверхности ограждающей конструкции?

## 6. ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Фильтрация холодного наружного воздуха через ограждающие конструкции вызывает увеличение потерь теплоты и снижение температуры в толще ограждения за счет того, что часть теплоты, проходящей через ограждающую конструкцию, затрачивается на нагревание фильтрующегося воздуха [20].

### 6.1. Методика расчета сопротивления воздухопроницанию ограждающей конструкции стены

Определяют удельный вес наружного и внутреннего воздуха,  $\text{Н/м}^3$ :

$$\gamma_{\text{н}} = \frac{3463}{273 + t_{\text{н}}}, \quad (6.1)$$

$$\gamma_{\text{в}} = \frac{3463}{273 + t_{\text{в}}}. \quad (6.2)$$

Определяют разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции, Па

$$\Delta p = 0,55 \cdot \text{Н} \cdot (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03 \cdot \gamma_{\text{н}} \cdot V_{\text{хол}}^2, \quad (6.3)$$

где  $V_{\text{хол}}$  – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с, [6, табл. 3.1], (см. табл.1.1).

Вычисляют требуемое сопротивление воздухопроницанию,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$

$$R_{\text{и}}^{\text{тp}} = \frac{\Delta P}{G_{\text{н}}}, \quad (6.4)$$

где  $G_{\text{н}}$  – нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$ , [4, табл.18].

Находят общее фактическое сопротивление воздухопроницанию наружного ограждения,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$

$$R_{\text{и}}^{\phi} = R_{\text{и1}} + R_{\text{и2}} + R_{\text{и3}}, \quad (6.5)$$

где  $R_{\text{иi}}$  – сопротивление воздухопроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$  [4, табл.19].

Если выполняется условие  $R_{\text{и}}^{\phi} > R_{\text{и}}^{\text{тp}}$ , то ограждающая конструкция отвечает требованиям воздухопроницаемости, если условие не выполняется, то необходимо принять меры по увеличению воздухопроницаемости.

*Расчет сопротивления воздухопроницанию  
ограждающей конструкции стены*

**Исходные данные**

Значения величин, необходимых для расчета: высота ограждающей конструкции  $H = 15,3$  м;  $t_n = -27$  °С;  $t_b = 20$  °С;  $V_{хол} = 4,4$  м/с;  $G_n = 0,5$  кг/(м<sup>2</sup>·ч) [4, табл.18];  $R_{и1} = 3136$  м<sup>2</sup>·ч·Па/кг [4, табл.19];  $R_{и2} = 6$  м<sup>2</sup>·ч·Па/кг [4, табл. 19];  $R_{и3} = 946,7$  м<sup>2</sup>·ч·Па/кг [4, табл. 19].

**Порядок расчета**

1. Определяют удельный вес наружного и внутреннего воздуха по уравнениям (6.1) и (6.2):

$$\gamma_n = \frac{3463}{273 + (-27)} = 14,1 \text{ Н/м}^2;$$

$$\gamma_b = \frac{3463}{273 + 20} = 11,8 \text{ Н/м}^2.$$

2. Определяют разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции

$$\Delta p = 0,55 \cdot 15,3 \cdot (14,1 - 11,8) + 0,03 \cdot 14,1 \cdot 4,4^2 = 27,54 \text{ Па.}$$

3. Вычисляют требуемое сопротивление воздухопроницанию по уравнению (6.4)

$$R_{и}^{тp} = 27,54 / 0,5 = 55,09 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}.$$

4. Находят общее фактическое сопротивление воздухопроницанию наружного ограждения по уравнению (6.5)

$$R_{и1} = \frac{1960}{100} \cdot 160 = 3136 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{кг}},$$

$$R_{и2} = \frac{2}{50} \cdot 150 = 6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{кг}},$$

$$R_{и3} = \frac{142}{15} \cdot 100 = 946,7 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{кг}},$$

$$R_{и}^{\phi} = 3136 + 6 + 946,7 = 4088,7 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}.$$

Таким образом, ограждающая конструкция отвечает требованиям воздухопроницаемости, так как выполняется условие  $R_{и}^{\phi} > R_{и}^{тp}$  ( $4088,7 > 55,09$ ).

## 6.2. Методика расчета сопротивления воздухопроницанию наружных ограждений (окон и балконных дверей)

Определяют требуемое сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ :

$$R_{\text{и}}^{\text{тр}} = \frac{1}{G_{\text{н}}} \left( \frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (6.6)$$

где  $\Delta p_0$  – разность давления воздуха, при котором определяется сопротивление воздухопроницанию,  $\Delta p_0 = 10$  Па.

В зависимости от значения выбирают тип конструкции окон и балконных дверей.

### Пример 11

*Расчет сопротивления воздухопроницанию наружных ограждений (окон и балконных дверей)*

#### Исходные данные

Значения величин, необходимых для расчета:  $\Delta p = 27,54$  Па;  $\Delta p_0 = 10$  Па;  $G_{\text{н}} = 6$  кг/( $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ ) [4, табл.18].

#### Порядок расчета

Определяют требуемое сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей по уравнению (6.6),  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ :

$$R_{\text{и}}^{\text{тр}} = \frac{1}{6} \cdot \left( \frac{27,54}{10} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,327 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}.$$

Таким образом, следует принять  $R_0 = 0,4$   $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$  для светового проема из деревянных или ПВХ переплетов с двойным остеклением из обычного стекла в отдельных переплетах.

## 6.3. Методика расчета влияния инфильтрации на температуру внутренней поверхности и коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции

Вычисляют количество воздуха, проникающего через наружное ограждение, кг/( $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ ):

$$G_{\text{и}} = \frac{\Delta P}{R_{\text{и}}^{\Phi}}. \quad (6.7)$$

Вычисляют температуру внутренней поверхности ограждения при инфильтрации, °С:

$$\tau_{\text{в}}^{\text{и}} = t_{\text{н}} + (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \frac{e^{C_{\text{в}} \cdot G_{\text{и}} \cdot R_{\text{xi}}} - 1}{e^{C_{\text{в}} \cdot G_{\text{и}} \cdot R_{\text{o}}^{\text{ип}}} - 1}, \quad (6.8)$$

где  $C_{\text{в}}$  – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С);

$e$  – основание натурального логарифма;

$R_{\text{xi}}$  – термическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, начиная от наружного воздуха до данного сечения в толще ограждения, (м<sup>2</sup>·°С)/Вт

$$R_{\text{xi}} = R_{\text{o}}^{\text{ип}} - \frac{1}{\alpha_{\text{в}}}. \quad (6.9)$$

Рассчитывают температуру внутренней поверхности ограждения при отсутствии воздухопроницания, °С:

$$\tau_{\text{в}} = t_{\text{в}} - (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \frac{nR_{\text{в}}}{R_{\text{o}}^{\text{ип}}}, \quad (6.10)$$

Определяют коэффициент теплопередачи ограждения с учетом инфильтрации, Вт/(м<sup>2</sup>·°С):

$$k_{\text{и}} = \frac{C_{\text{в}} G_{\text{и}} e^{C_{\text{в}} G_{\text{и}} R_{\text{o}}^{\text{ип}}}}{e^{C_{\text{в}} G_{\text{и}} R_{\text{o}}^{\text{ип}}} - 1}. \quad (6.11)$$

Вычисляют коэффициент теплопередачи ограждения при отсутствии инфильтрации по уравнению (2.8), Вт/(м<sup>2</sup>·°С):

$$k = \frac{1}{R_{\text{o}}^{\text{ип}}}. \quad (6.12)$$

## Пример 12

*Расчет влияния инфильтрации на температуру внутренней поверхности и коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции*

### Исходные данные

Значения величин, необходимых для расчета:  $\Delta p = 27,54$  Па;  $t_{\text{н}} = -27$  °С;  $t_{\text{в}} = 20$  °С;  $V_{\text{хол}} = 4,4$  м/с;  $R_{\text{o}}^{\text{ип}} = 3,992$  (м<sup>2</sup>·°С)/Вт;  $e = 2,718$ ;  $R_{\text{и}}^{\Phi} = 4088,7$  м<sup>2</sup>·ч·Па/кг;  $R_{\text{в}} = 0,115$  (м<sup>2</sup>·°С)/Вт;  $C_{\text{в}} = 1,01$  кДж/(кг·°С).

### Порядок расчета

1. Вычисляют количество воздуха, проникающего через наружное ограждение, по уравнению (6.7)

$$G_{\text{и}} = 27,54 / 4088,7 = 0,007 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

2. Вычисляют температуру внутренней поверхности ограждения при инфильтрации и термическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, начиная от наружного воздуха до данного сечения в толще ограждения по уравнениям (6.8) и (6.9).

$$R_{xi} = 3,992 - \frac{1}{8,7} = 3,877 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт};$$

$$\tau_{в}^{и} = -27 + (20 - (-27)) \cdot \frac{e^{1,01 \cdot 0,007 \cdot 3,877} - 1}{e^{1,01 \cdot 0,007 \cdot 3,992} - 1} = 18,62 \text{ °C}.$$

3. Рассчитывают температуру внутренней поверхности ограждения при отсутствии воздухопроницания

$$\tau_{в} = 20 - (20 - (-27)) \cdot 1 \cdot \frac{0,115}{3,992} = 18,65 \text{ °C}.$$

4. Из расчетов следует, что температура внутренней поверхности при инфильтрации ниже, чем при отсутствии воздухопроницания ( $\tau_{в}^{и} < \tau_{в}$ ) на 0,03 °C.

5. Определяют коэффициент теплопередачи ограждения с учетом инфильтрации по уравнению (6.11)

$$k_{и} = \frac{1,01 \cdot 0,007 \cdot e^{1,01 \cdot 0,007 \cdot 3,992}}{e^{1,01 \cdot 0,007 \cdot 3,992} - 1} = 0,254 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

6. Вычисляют коэффициент теплопередачи ограждения при отсутствии инфильтрации по уравнению (2.8)

$$k = \frac{1}{3,992} = 0,25 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}.$$

Таким образом, установлено, что коэффициент теплопередачи с учетом инфильтрации  $k_{и}$  больше соответствующего коэффициента без инфильтрации  $k$  ( $0,254 > 0,250$ ).

### Контрольные вопросы

1. Какова основная цель расчета воздушного режима наружного ограждения?
2. Как влияет инфильтрация на температуру внутренней поверхности и коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции?

## 7. ТРЕБОВАНИЯ К РАСХОДУ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЮ ЗДАНИЙ

### 7.1. Методика расчета удельной характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания

Показателем расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого или общественного здания на стадии разработки проектной документации, является удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания численно равная расходу тепловой энергии на 1 м<sup>3</sup> отапливаемого объема здания, в единицу времени при перепаде температуры в 1°С,  $q_{от}$ , Вт/(м<sup>3</sup>·°С). Расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания  $q_{от}^p$ , Вт/(м<sup>3</sup>·°С), определяется по методике [7, прил. Г] с учетом климатических условий района строительства, выбранных объемно-планировочных решений, ориентации здания, теплозащитных свойств ограждающих конструкций, принятой системы вентиляции здания, а также применения энергосберегающих технологий. Расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания должно быть меньше или равно нормируемому значению согласно [7]  $q_{от}^{тр}$ , Вт/(м<sup>3</sup>·°С):

$$q_{от}^p \leq q_{от}^{тр}, \quad (7.1)$$

где  $q_{от}^{тр}$  – нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, Вт/(м<sup>3</sup>·°С), определяемая для различных типов жилых и общественных зданий по табл. 7.1 или 7.2.

Т а б л и ц а 7 . 1

Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию малоэтажных жилых многоквартирных зданий,

$$q_{от}^{тр}, \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°С)}$$

Площадь здания, м <sup>2</sup>	С числом этажей			
	1	2	3	4
50	0,579	-	-	-
100	0,517	0,558	-	-
150	0,455	0,496	0,538	-
250	0,414	0,434	0,455	0,476
400	0,372	0,372	0,393	0,414
600	0,359	0,359	0,359	0,372
1000 и более	0,336	0,336	0,336	0,336

П р и м е ч а н и е . При промежуточных значениях отапливаемой площади здания в интервале 50-1000 м<sup>2</sup> значения  $q_{от}^{тр}$  должны определяться линейной интерполяцией.



Таблица 7.2

Нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию малоэтажных жилых многоквартирных зданий,

$$q_{от}^{тр}, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$$

Тип здания	Этажность здания							
	1	2	3	4,5	6,7	8,9	10, 11	12 и выше
1. Жилые многоквартирные, гостиницы, общежития	0,455	0,414	0,372	0,359	0,336	0,319	0,301	0,290
2. Общественные, кроме перечисленных в строках 3-6	0,487	0,440	0,417	0,371	0,359	0,342	0,324	0,311
3. Поликлиники и лечебные учреждения, дома-интернаты	0,394	0,382	0,371	0,359	0,348	0,336	0,324	0,311
4. Дошкольные учреждения, хосписы	0,521	0,521	0,521	—	—	—	—	—
5. Сервисного обслуживания, культурно-досуговой деятельности, технопарки, склады	0,266	0,255	0,243	0,232	0,232			
6. Административного назначения (офисы)	0,417	0,394	0,382	0,313	0,278	0,255	0,232	0,232

Примечание. Для регионов, имеющих значение ГСОП=8000 °С·сут и более, нормируемые  $q_{от}^{тр}$  следует снизить на 5%.

Для оценки достигнутой в проекте здания или в эксплуатируемом здании потребности энергии на отопление и вентиляцию установлены следующие классы энергосбережения (табл. 7.3) в % отклонения расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемой (базовой) величины.

Проектирование зданий с классом энергосбережения «D, E» не допускается. Классы «A, B, C» устанавливаются для вновь возводимых и реконструируемых зданий на стадии разработки проектной документации. Впоследствии, при эксплуатации, класс энергосбережения здания должен быть уточнен в ходе энергетического обследования. С целью увеличения доли зданий с классами «A, B» субъекты Российской Федерации должны применять меры по экономическому стимулированию как к участникам строительного процесса, так и к эксплуатирующим организациям.

Таблица 7.3

## Классы энергосбережения жилых и общественных зданий

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %	Рекомендуемые мероприятия, разрабатываемые субъектами РФ
При проектировании и эксплуатации новых и реконструируемых зданий			
A++	Очень высокий	Ниже -60	Экономическое стимулирование
A+		От - 50 до - 60 включительно	
A		От - 40 до - 50 включительно	
B+	Высокий	От - 30 до - 40 включительно	Экономическое стимулирование
B		От - 15 до - 30 включительно	
C+	Нормальный	От - 5 до - 15 включительно	Мероприятия не разрабатываются
C		От + 5 до - 5 включительно	
C-		От + 15 до + 5 включительно	
D	Пониженный	От + 15,1 до + 50 включительно	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании
E	Низкий	Более +50	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании, или снос

Расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания  $q_{от}^p$ , Вт/(м<sup>3</sup>·°C), следует определять по формуле

$$q_{от}^p = \left[ k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) \cdot v \cdot \zeta \right] \cdot (1 - \xi) \cdot \beta_h, \quad (7.2)$$

где  $k_{об}$  – удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м<sup>3</sup>·°C):

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}} \cdot \sum_i \left( n_{t,i} \cdot \frac{A_{ф,i}}{R_0^{пр}} \right); \quad (7.3)$$

здесь  $R_0^{пр}$  – приведенное сопротивление теплопередаче для всех слоев ограждения (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;

$A_{ф,i}$  – площадь соответствующего фрагмента теплозащитной оболочки здания, м<sup>2</sup>;

$V_{от}$  – отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений зданий, м<sup>3</sup>;

$n_{t,i}$  – коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчете ГСОП,  $n_{t,i} = 1$ .

- $k_{\text{вент}}$  – удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/(м<sup>3</sup>·С);  
 $k_{\text{быт}}$  – удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, Вт/(м<sup>3</sup>·С);  
 $k_{\text{рад}}$  – удельная характеристика теплоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м<sup>3</sup>·°С);  
 $\xi$  – коэффициент, учитывающий снижение теплотребления жилых зданий, при наличии поквартирных счетчиков теплоты  $\xi = 0,1$ ;  
 $\beta$  – коэффициент, учитывающий дополнительное теплотребление системы отопления,  $\beta_h = 1,05$ ;  
 $\nu$  – коэффициент снижения теплоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемые значения определяются по формуле  $\nu = 0,7 + 0,000025 \cdot (\text{ГСОП} - 1000)$  согласно [7, прил. Г]. Для дальнейших расчетов принимается  $\nu = 0,8$ ;  
 $\zeta$  – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления,  $\zeta = 0,5$ .

Удельную вентиляционную характеристику здания  $k_{\text{вент}}$ , Вт/(м<sup>3</sup>·°С), следует определять по формуле

$$k_{\text{вент}} = 0,28 \cdot c \cdot n_{\text{в}} \cdot \beta_{\nu} \cdot \rho_{\text{в}}^{\text{вент}} \cdot (1 - k_{\text{эф}}), \quad (7.4)$$

- где  $c$  – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С);  
 $\beta_{\nu}$  – коэффициент снижения объема воздуха в здании,  $\beta_{\nu} = 0,85$ ;  
 $\rho_{\text{в}}^{\text{вент}}$  – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{\text{в}}^{\text{вент}} = 353 / [273 + t_{\text{от}}]; \quad (7.5)$$

здесь  $t_{\text{от}}$  – средняя температура отопительного периода, °С, по [6, табл. 3.1], (см. прил. 6);

$n_{\text{в}}$  – средняя кратность воздухообмена общественного здания за отопительный период, ч<sup>-1</sup>, согласно [10], принимается усредненная величина  $n_{\text{в}} = 2$ ;

$k_{\text{эф}}$  – коэффициент эффективности рекуператора для общественных зданий принимается  $k_{\text{эф}} = 0,6$ . Для жилых зданий принимается  $k_{\text{эф}} = 0$ , т.к. установка рекуператора на системы вентиляции с естественным побуждением движения воздуха, которые проектируются в жилых зданиях, невозможна.

Удельную характеристику бытовых тепловыделений здания  $k_{\text{быт}}$ , Вт/(м<sup>3</sup>·С), следует определять по формуле

$$k_{\text{быт}} = \frac{q_{\text{быт}} \cdot A_{\text{ж}}}{V_{\text{от}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{оп}})}, \quad (7.6)$$

где  $q_{\text{быт}}$  – величина бытовых тепловыделений на  $1 \text{ м}^2$  площади жилых помещений ( $A_{\text{ж}}$ ) или расчетной площади общественного здания ( $A_{\text{р}}$ ),  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , принимаемая для:

а) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир менее  $20 \text{ м}^2$  общей площади на человека  $q_{\text{быт}} = 17 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ;

б) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир  $45 \text{ м}^2$  общей площади и более на человека  $q_{\text{быт}} = 10 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ;

в) других жилых зданий – в зависимости от расчетной заселенности квартир по интерполяции величины  $q_{\text{быт}}$  между 17 и  $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ;

г) для общественных и административных зданий бытовые тепловыделения учитываются по расчетному числу людей (90  $\text{Вт}/\text{чел}$ ), находящихся в здании, освещения (по установочной мощности) и оргтехники ( $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ) с учетом рабочих часов в неделю;

$t_{\text{в}}, t_{\text{от}}$  – то же, что и в формулах (2.1, 2.2);

$A_{\text{ж}}$  – для жилых зданий – площадь жилых помещений ( $A_{\text{ж}}$ ), к которым относятся спальни, детские, гостиные, кабинеты, библиотеки, столовые, кухни-столовые; для общественных и административных зданий – расчетная площадь ( $A_{\text{р}}$ ), определяемая согласно СП 117.13330 как сумма площадей всех помещений, за исключением коридоров, тамбуров, переходов, лестничных клеток, лифтовых шахт, внутренних открытых лестниц и пандусов, а также помещений, предназначенных для размещения инженерного оборудования и сетей,  $\text{м}^2$ .

Удельную характеристику теплоступлений в здание от солнечной радиации,  $k_{\text{рад}}$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ , следует определять по формуле

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 \cdot Q_{\text{рад}}^{\text{год}}}{(V_{\text{от}} \cdot \text{ГСОП})}, \quad (7.7)$$

где  $Q_{\text{рад}}^{\text{год}}$  – теплоступления через окна и фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода,  $\text{МДж}/\text{год}$ , для четырех фасадов зданий, ориентированных по четырем направлениям, определяемые по формуле

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = \tau_{1\text{ок}} \cdot \tau_{2\text{ок}} \cdot (A_{\text{ок1}} \cdot J_1 + A_{\text{ок2}} \cdot J_2 + A_{\text{ок3}} \cdot J_3 + A_{\text{ок4}} \cdot J_4) + \tau_{1\text{фон}} \cdot \tau_{2\text{фон}} \cdot A_{\text{фон}} \cdot J_{\text{гор}}; \quad (7.8)$$

здесь  $\tau_{1\text{ок}}, \tau_{1\text{фон}}$  – коэффициенты относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений соответственно окон и зенитных фонарей, принимаемые по паспортным данным соответствующих светопропус-

кающих изделий; при отсутствии данных следует принимать по табл. 2.8; мансардные окна с углом наклона заполнения к горизонту  $45^\circ$  и более следует считать как вертикальные окна, с углом наклона менее  $45^\circ$  – как зенитные фонари;

- $\tau_{2ок}, \tau_{2фон}$  – коэффициенты, учитывающие затенение светового проема соответственно окон и зенитных фонарей непрозрачными элементами заполнения, принимаемые по проектным данным; при отсутствии данных следует принимать по табл. 2.8;
- $A_{ок1}, A_{ок2}, A_{ок3}, A_{ок4}$  – площадь светопроемов фасадов здания (глухая часть балконных дверей исключается), соответственно ориентированных по четырем направлениям,  $m^2$ ;
- $A_{фон}$  – площадь светопроемов зенитных фонарей здания,  $m^2$ ;
- $J_1, J_2, J_3, J_4$  – средняя за отопительный период величина суммарной солнечной радиации (прямая плюс рассеянная) на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности, соответственно ориентированная по четырем фасадам здания,  $MДж/m^2$ , определяется по прил. 8;
- $J_{год}$  – средняя за отопительный период величина суммарной солнечной радиации (прямая плюс рассеянная) на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности,  $MДж/m^2$ , определяется по прил. 8.
- $V_{от}$  – то же, что и в формуле (7.3).
- ГСОП – то же, что и в формуле (2.2).

### Пример 13

#### *Расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания*

##### **Исходные данные**

Расчет удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания проведем на примере двухэтажного индивидуального жилого дома общей площадью  $248,5 m^2$ , при наличии счетчика теплоты и отсутствии рекуператора теплоты в системе естественной вытяжной вентиляции. Значения величин, необходимых для расчета:  $t_b = 20^\circ C$ ;  $t_{от} = -4,1^\circ C$ ; для ограждающей конструкции стены  $R_o^{np} = 3,992 (m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$ , покрытия  $R_o^{np} = 5,316 (m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$ , пола  $R_o^{np} = 4,92 (m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$ , входных дверей  $R_o^{np} = 0,811 (m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$ , световых проемов  $R_o^{np} = 0,44 (m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$ ;  $A_{ф,ст} = 274,5 m^2$ ;  $A_{ф,пл} = 138,03 m^2$ ;  $A_{ф,покp} = 138,03 m^2$ ;  $A_{ф,дв} = 5,52 m^2$ ;  $A_{ф,ок} = 31,5 m^2$ ;  $A_{ж} = 157,61 m^2$ ;

$V_{от} = 819,9 \text{ м}^3$ ;  $q_{быт} = 17 \text{ Вт/м}^2$ ;  $\tau_{лок} = 0,7$ ;  $\tau_{1фон} = 0$ ;  $\tau_{2ок} = 0,5$ ;  $\tau_{2фон} = 0$ ;  
 $A_{ок1} = 7,425 \text{ м}^2$ ;  $A_{ок2} = 4,8 \text{ м}^2$ ;  $A_{ок3} = 6,6 \text{ м}^2$ ;  $A_{ок4} = 12,375 \text{ м}^2$ ;  $A_{фон} = 0 \text{ м}^2$ ;  
 $J_1 = 695 \text{ МДж/(м}^2 \cdot \text{год)}$ ;  $J_2 = 1032 \text{ МДж/(м}^2 \cdot \text{год)}$ ;  $J_3 = 1032 \text{ МДж/(м}^2 \cdot \text{год)}$ ;  
 $J_4 = 1671 \text{ МДж/(м}^2 \cdot \text{год)}$ ;  $J_{гор} = 1331 \text{ МДж/(м}^2 \cdot \text{год)}$ .

### Порядок расчета

1. Вычисляют удельную теплозащитную характеристику здания по формуле (7.3) следующим образом

$$k_{об} = \frac{1}{819,9} \cdot \left( 1 \cdot \frac{274,5}{3,992} + 1 \cdot \frac{138,03}{5,316} + 1 \cdot \frac{138,03}{4,92} + 1 \cdot \frac{5,52}{0,811} + 1 \cdot \frac{31,5}{0,44} \right) = 0,246 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)}.$$

2. По формуле (2.2) рассчитывают градусо-сутки отопительного периода

$$\text{ГСОП} = (20 + 4,1) \cdot 200 = 4820 \text{ °C} \cdot \text{сут.}$$

3. Коэффициент снижения тепlopоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемое значение  $\nu = 0,8$ .

4. Находят среднюю плотность приточного воздуха за отопительный период по формуле (7.5)

$$\rho_{в}^{\text{вент}} = 353 / [273 - 4,1] = 1,313 \text{ кг/м}^3.$$

5. Вычисляют удельную вентиляционную характеристику здания по формуле (7.4)

$$k_{\text{вент}} = 0,28 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,85 \cdot 1,313 \cdot (1 - 0) = 0,625 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)}.$$

6. Определяют удельную характеристику бытовых тепловыделений здания по формуле (7.6)

$$k_{\text{быт}} = \frac{17 \cdot 157,61}{819,9 \cdot (20 + 4,1)} = 0,135 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)}.$$

7. По формуле (7.8) вычисляют тепlopоступления через световые проемы и фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода для четырех фасадов зданий, ориентированных по четырем направлениям

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{рад}}^{\text{год}} &= 0,7 \cdot 0,5 \cdot (7,425 \cdot 1032 + 4,8 \cdot 695 + 6,6 \cdot 1032 + 12,375 \cdot 1671) + \\
 &+ 0,7 \cdot 0,5 \cdot 0 \cdot 1331 = 13471 \text{ МДж/год.}
 \end{aligned}$$

8. По формуле (7.7) определяют удельную характеристику тепlopоступлений в здание от солнечной радиации

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 \cdot 13471}{(819,9 \cdot 4820)} = 0,04 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)}.$$

9. Определяют расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания по формуле (7.2)

$$q_{\text{от}}^{\text{p}} = [0,246 + 0,625 - (0,135 + 0,04) \cdot 0,8 \cdot 0,5] \cdot (1 - 0,1) \cdot 1,05 = 0,757 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

10. Сравнивают полученное значение расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания с нормируемой (базовой)  $q_{\text{от}}^{\text{тп}}$ , Вт/(м<sup>3</sup>·°C), по табл. 7.1 и 7.2.

$$q_{\text{от}}^{\text{p}} = 0,757 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}); \quad q_{\text{от}}^{\text{тп}} = 0,434 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C});$$

$$q_{\text{от}}^{\text{p}} \geq q_{\text{от}}^{\text{тп}}.$$

Для оценки достигнутой в проекте здания или в эксплуатируемом здании потребности энергии на отопление и вентиляцию определяют класс энергосбережения проектируемого жилого здания по процентному отклонению расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемой (базовой) величины.

**Вывод:** проектируемое здание относится к «Е Низкому» классу энергосбережения, т.к. величина отклонения расчетного (фактического) значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого составляет +74,4%, что более +50%. Проектирование зданий с классом энергосбережения «D, E» не допускается. Для таких существующих зданий необходима разработка дополнительных мероприятий по повышению класса энергосбережения, т.е. реконструкция при соответствующем экономическом обосновании или снос.

## Контрольные вопросы

1. Какая величина является основным показателем расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого или общественного здания на стадии разработки проектной документации? От чего она зависит?
2. Какие классы энергосбережения жилых и общественных зданий существуют?
3. Какие классы энергосбережения устанавливают для вновь возводимых и реконструируемых зданий на стадии разработки проектной документации?
4. С каким классом энергосбережения не допускается проектирование зданий?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблемы экономии энергоресурсов являются особо важными в текущий период развития нашей страны. Стоимость топлива и тепловой энергии растёт, и эта тенденция прогнозируется на будущее; вместе с тем непрерывно и быстро возрастает объем потребления энергии. Энергоёмкость национального дохода в нашей стране в несколько раз выше, чем в развитых странах.

В связи с этим очевидна важность выявления резервов снижения энергозатрат. Одним из направлений экономии энергоресурсов является реализация энергосберегающих мероприятий при работе систем теплоснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ТГВ).

В числе энергосберегающих, как одно из многих направлений, может иметь место и повышение теплозащиты ограждающих конструкций. Однако нормируемый в настоящее время уровень теплозащиты с трудом (и не всегда) достигается. Как показывают простейшие расчеты, дальнейшее увеличение нормируемой теплозащиты ограждающих конструкций экономически не целесообразно (отсутствует окупаемость). Нормирование повышенной теплозащиты стен должно быть широко и всесторонне обсуждено и экономически обосновано [21].

Внедрение ограждающих конструкций с повышенной теплозащитой должно проходить при тщательной проработке проектных решений и сопровождаться экспериментальным строительством.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) [Текст] / В.Н. Богословский. – Изд. 3-е. – СПб.: АВОК «Северо-Запад», 2006.
2. Тихомиров, К.В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция [Текст] / К.В. Тихомиров, Е.С. Сергиенко. – М.: ООО «БАСТЕТ», 2009.
3. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий [Текст] / К.Ф. Фокин; под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006.
4. Еремкин, А.И. Тепловой режим зданий [Текст]: учеб. пособие / А.И. Еремкин, Т.И. Королева. – Ростов-н/Д.: Феникс, 2008.
5. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 [Текст]. – М.: Минрегион России, 2012.
6. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99 [Текст]. – М.: Минрегион России, 2012.
7. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 [Текст]. – М.: Минрегион России, 2012.
8. СП 54.13330.2011 Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003 [Текст]. – М.: Минрегион России, 2012.
9. Кувшинов, Ю.Я. Теоретические основы обеспечения микроклимата помещения [Текст] / Ю.Я. Кувшинов. – М.: АСВ, 2007.
10. СП 118.13330.2012 Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-05-2003 [Текст]. – Минрегион России, 2012.
11. Куприянов, В.Н. Строительная климатология и физика среды [Текст] / В.Н. Куприянов. – Казань: КГАСУ, 2007.
12. Монастырев, П.В. Технология устройства дополнительной теплозащиты стен жилых зданий [Текст] / П.В. Монастырев. – М.: АСВ, 2002.
13. Бодров, В.И. Микроклимат зданий и сооружений [Текст] / В.И. Бодров [и др.]. – Н. Новгород: Арабеск, 2001.
14. Рекомендации по применению монолитного пенобетона в строительстве: руководство по проектированию [Текст] / И.Г. Беляков [и др.]. – Самара: СГАСУ, 2007.
15. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [Текст]. – М.: Госстрой России, 1999.
16. ГОСТ 21.602-2003. Правила выполнения рабочей документации отопления, вентиляции и кондиционирования [Текст]. – М.: Госстрой России, 2003.
17. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика [Текст]. – М.: Госстрой СССР, 1982.

18. СНиП 2.04.05-91\*. Отопление, вентиляция и кондиционирование [Текст]. – М.: Госстрой СССР, 1991.
19. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий [Текст]. – М.: ООО «МЦК», 2007.
20. Малявина, Е.Г. Строительная теплофизика [Текст]: учеб. пособие / Е.Г. Малявина. – М.: МГСУ, 2011.
21. Гагарин, В.Г. Макроэкономические аспекты обоснования энерго-сберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий [Текст]: статья / В.Г. Гагарин // Научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы». – 2010. – №3.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

### Выбор города (места привязки)

Название города	Последняя цифра номера зачетной книжки										
	Первый десяток студентов по списку										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Архангельск, Якутск	+										
Астрахань, Чита		+									
Брянск, Челябинск			+								
Владивосток, Пермь				+							
Владимир, Магадан					+						
Волгоград, Махачкала						+					
Псков, Петропавловск-Камчатский							+				
Воронеж, Красноярск								+			
Екатеринбург, Саратов									+		
Иваново, Южно-Сахалинск										+	
	Второй десяток студентов по списку										
Тула, Новосибирск	+										
Казань, Нарьян-Мар		+									
Калининград, Иркутск			+								
Самара, Краснодар				+							
Кемерово, Петрозаводск					+						
Кострома, Воркута						+					
Киров, Белгород							+				
Москва, Ижевск								+			
Курск, Вологда									+		
Липецк, Йошкар-Ола										+	
	Третий десяток студентов по списку										
С. Петербург, Курган	+										
Мурманск, Саранск		+									
Н-й Новгород, Грозный			+								
Сочи, Хабаровск				+							
Оренбург, Тюмень					+						
Омск, Калуга						+					
Орел, Ставрополь							+				
Тамбов, Томск								+			
Ростов-на-Дону, Рязань									+		
Уфа, Улан-Удэ										+	

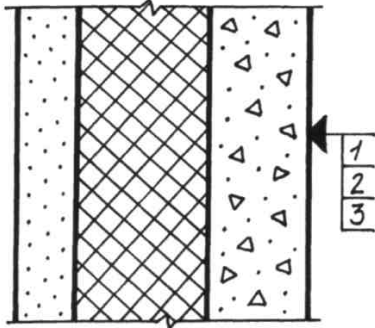
Окончание прил. 1

Выбор объекта проектирования

Наименование объекта	Последняя цифра номера зачетной книжки										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Гостиница	+										
Ресторанный комплекс		+									
Школьный бассейн			+								
Деловой центр				+							
3-х этажный жилой дом					+						
Магазин универсальных товаров						+					
Музейный комплекс							+				
Центр реабилитации инвалидов								+			
Городской клуб на 500 мест									+		
Дворец спорта										+	

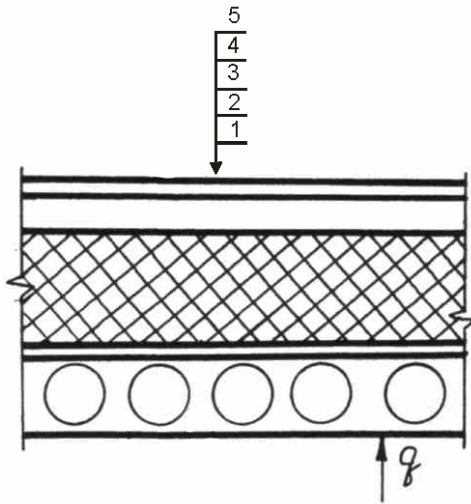
ГОСТИНИЦА

Стена



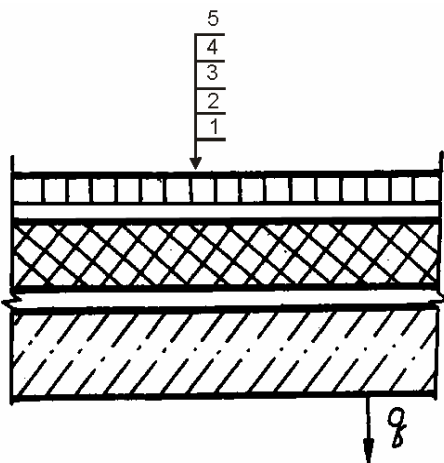
1. Железобетон,  
 $\delta_1 = 0,16 \text{ м}, \gamma_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ;
2. Утеплитель из минераловатных плит из каменного волокна,  $\delta_{\text{ут}} = x, \gamma_2 = 50; 100; 200; 300; 350 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Кирпичная кладка из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе,  $\delta_3 = 0,125 \text{ м}, \gamma_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$ .

Покрытие



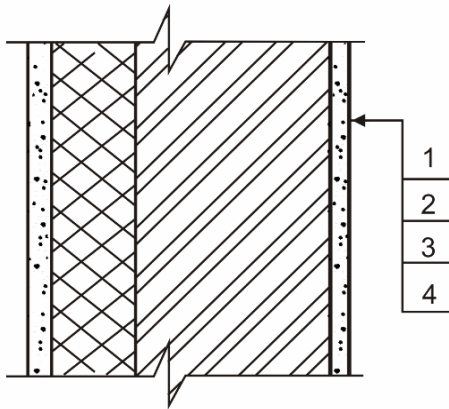
1. Ж/б плита покрытия ( $\sigma_1 = 160 \text{ мм}, \sigma_2 = 30 \text{ мм}$ ),  $\delta_1 = 0,24 \text{ м}, \gamma_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$
2. Пароизоляция (2 слоя толи),  
 $\delta_2 = 0,012 \text{ м}, \gamma_2 = 600 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Утеплитель (плиты минераловатные из каменного волокна),  $\delta_{\text{ут}} = x, \gamma_3 = 125; 200 \text{ кг/м}^3$ ;
4. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_4 = 0,03 \text{ м}, \gamma_4 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
5. Четыре слоя рубероида,  
 $\delta_5 = 0,02 \text{ м}, \gamma_5 = 600 \text{ кг/м}^3$ .

Полы



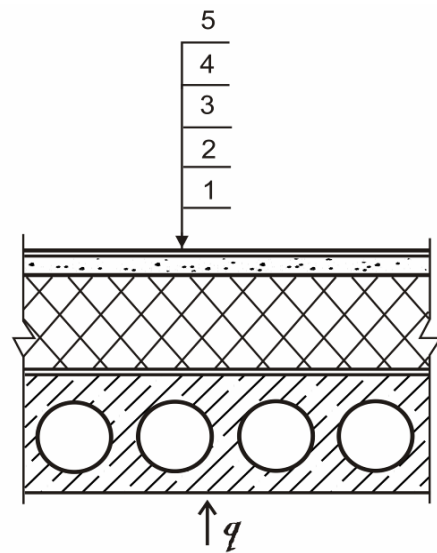
1. Слой бетона на зольном обжиговом и безобжиговом гравии,  $\delta_1 = 0,22 \text{ м}, \gamma_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$ ;
2. Пароизоляция (рубероид),  $\delta_2 = 0,01 \text{ м}, \gamma_2 = 600 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Утеплитель (плиты минераловатные из каменного волокна),  $\delta_{\text{ут}} = x, \gamma_3 = 125; 200 \text{ кг/м}^3$ ;
4. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_4 = 0,02 \text{ м}, \gamma_4 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
5. Покрытие пола (паркет),  
 $\delta_5 = 0,04 \text{ м}, \gamma_5 = 700 \text{ кг/м}^3$ .

РЕСТОРАННЫЙ КОМПЛЕКС



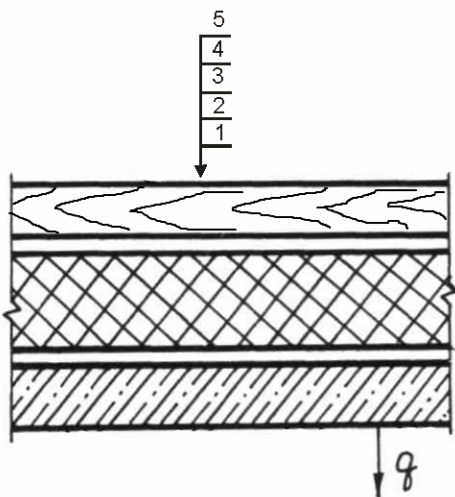
Стена

1. Известково-песчаный раствор,  
 $\delta_1 = 0,02 \text{ м}, \gamma_1 = 1600 \text{ кг/м}^3$ ;
2. Кирпичная кладка (керамич.)  
 $\delta_2 = 0,64 \text{ м}, \gamma_2 = 1600 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Утеплитель пенополиуретан,  
 $\delta_{\text{ут}} = x, \gamma_3 = 40; 60; 80 \text{ кг/м}^3$ ;
4. Цементно-песчаный раствор,  
 $\delta_4 = 0,02 \text{ м}, \gamma_4 = 1800 \text{ кг/м}^3$ .



Покрытие

1. Ж/б плита покрытия ( $\sigma_1 = 150 \text{ мм}, \sigma_2 = 30 \text{ мм}$ ),  $\delta_1 = 0,22 \text{ м}, \gamma_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ;
2. Пароизоляция (рубероид),  
 $\delta_2 = 0,016 \text{ м}, \gamma_2 = 600 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Утеплитель (жесткие минераловатные плиты из каменного волокна),  $\delta_{\text{ут}} = x, \gamma_3 = 50; 100; 200; 300 \text{ кг/м}^3$ ;
4. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_4 = 0,02 \text{ м}, \gamma_4 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
5. Три слоя рубероида,  
 $\delta_5 = 0,02 \text{ м}, \gamma_5 = 600 \text{ кг/м}^3$ .

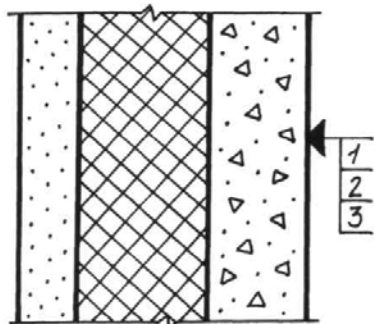


Полы

1. Слой из керамзитобетона,  
 $\delta_1 = 0,1 \text{ м}, \gamma_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
2. Пароизоляция (рубероид),  
 $\delta_2 = 0,01 \text{ м}, \gamma_2 = 600 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Утеплитель (плиты минераловатные из каменного волокна),  $\delta_{\text{ут}} = x, \gamma_3 = 125; 200 \text{ кг/м}^3$ ;
4. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_4 = 0,02 \text{ м}, \gamma_4 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
5. Покрытие пола (паркет),  
 $\delta_5 = 0,04 \text{ м}, \gamma_5 = 700 \text{ кг/м}^3$ .

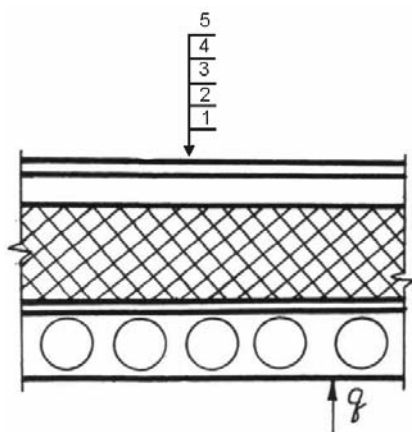
## ШКОЛЬНЫЙ БАССЕЙН

### Стена



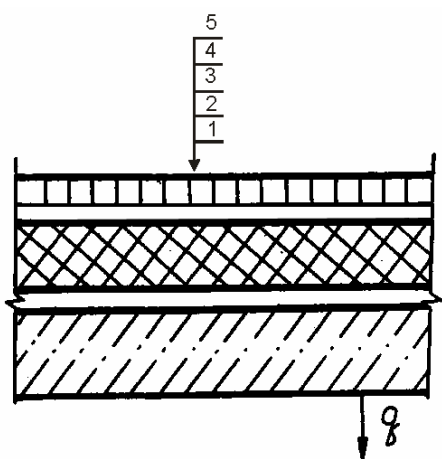
1. Бетон на гравии или щебне из природного камня,  
 $\delta_1 = 0,16$  м,  $\gamma_1 = 2400$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Утеплитель из жестких минераловатных плит из каменного волокна  
 $\delta_{ут} = x$ ,  $\gamma_2 = 50; 100; 200; 300; 350$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Железобетон,  
 $\delta_3 = 0,16$  м,  $\gamma_3 = 2500$  кг/м<sup>3</sup>.

### Покрытие



1. Ж/б плита покрытия ( $\sigma_1 = 150$  мм,  $\sigma_2 = 30$  мм),  $\delta_1 = 0,22$  м,  $\gamma_1 = 2500$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Пароизоляция (рубероид),  
 $\delta_2 = 0,016$  м,  $\gamma_2 = 600$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Утеплитель (жесткие минераловатные плиты из каменного волокна),  $\delta_{ут} = x$ ,  
 $\gamma_3 = 50; 100; 200; 300$  кг/м<sup>3</sup>;
4. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_4 = 0,02$  м,  $\gamma_4 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;
5. Три слоя рубероида,  
 $\delta_5 = 0,01$  м,  $\gamma_5 = 600$  кг/м<sup>3</sup>.

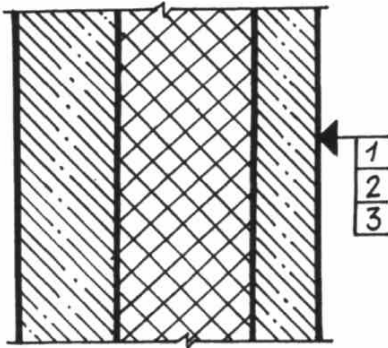
### Полы



1. Слой из керамзитобетона,  
 $\delta_1 = 0,1$  м,  $\gamma_1 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Пароизоляция (рубероид),  
 $\delta_2 = 0,01$  м,  $\gamma_2 = 600$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Утеплитель (плиты минераловатные из каменного волокна),  $\delta_{ут} = x$ ,  $\gamma_3 = 125;$   
 $200$  кг/м<sup>3</sup>;
4. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_4 = 0,02$  м,  $\gamma_4 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;
5. Покрытие пола (паркет),  
 $\delta_5 = 0,04$  м,  $\gamma_5 = 700$  кг/м<sup>3</sup>.

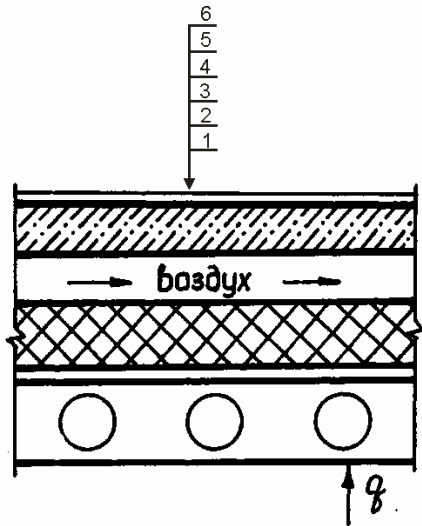
## ДЕЛОВОЙ ЦЕНТР

### Стена



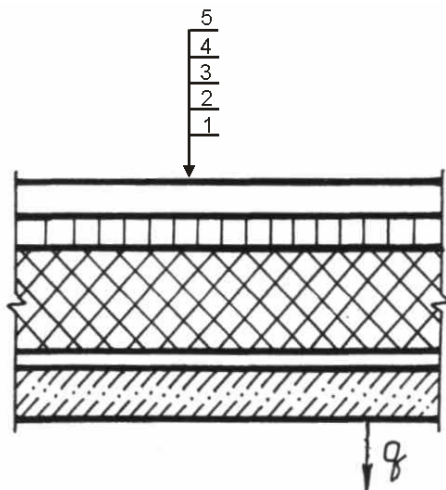
1. Бетон на зольном гравии,  
 $\delta_1 = 0,1 \text{ м}, \gamma_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$ ;
2. Утеплитель из жестких  
минераловатных плит из каменного  
волокна  $\delta_{\text{ут}} = x, \gamma_2 = 50; 100; 200; 300;$   
 $350 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Туфобетон,  $\delta_3 = 0,1 \text{ м},$   
 $\gamma_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$ .

### Покрытие



1. Плита покрытия (керамзитобетон,  
 $\sigma_1 = 110 \text{ мм}, \sigma_2 = 20 \text{ мм},$   
 $\delta_1 = 0,24 \text{ м}, \gamma_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
2. Покрытие из рубероида,  
 $\delta_2 = 0,01 \text{ м}, \gamma_2 = 600 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Утеплитель (минераловатные плиты  
из каменного волокна),  $\delta_{\text{ут}} = x,$   
 $\gamma_3 = 150 \text{ кг/м}^3$ ;
4. Воздушная прослойка  $\delta_4 = 0,15 \text{ м};$
5. Пароизоляция (рубероид),  
 $\delta_5 = 0,01 \text{ м}, \gamma_5 = 600 \text{ кг/м}^3$ ;
6. Плита ж/б,  $\delta_6 = 0,1 \text{ м}, \gamma_6 = 2500 \text{ кг/м}^3$ .

### Полы

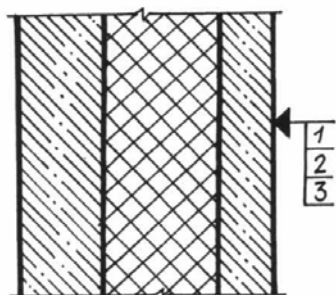


6. Слой керамзитобетона,  $\delta_1 = 0,22 \text{ м},$   
 $\gamma_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
7. Пароизоляция (рубероид),  
 $\delta_2 = 0,01 \text{ м}, \gamma_2 = 600 \text{ кг/м}^3$ ;
8. Утеплитель (вермикулит вспученный),  
 $\delta_{\text{ут}} = x, \gamma_3 = 100; 200 \text{ кг/м}^3$ ;
9. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_4 = 0,02 \text{ м}, \gamma_4 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
10. Покрытие пола (линолеум),  
 $\delta_5 = 0,01 \text{ м}, \gamma_5 = 1800 \text{ кг/м}^3$ .



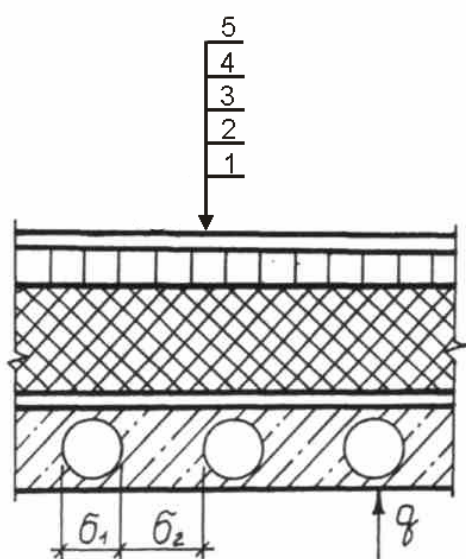
### 3-ЭТАЖНЫЙ ЖИЛОЙ ДОМ

#### Стена



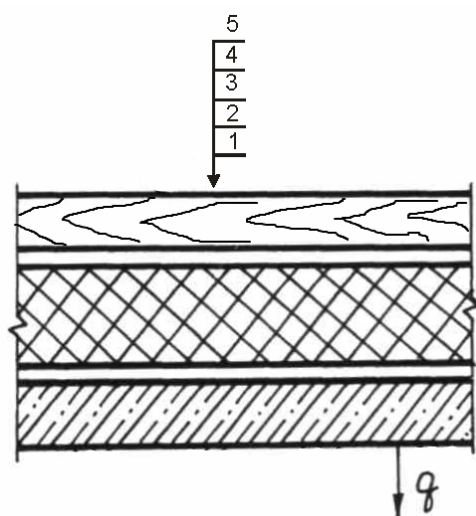
1. Бетон на зольном гравии,  
 $\delta_1 = 0,1 \text{ м}, \gamma_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$ ;
2. Плиты минераловатные из каменного волокна  
 $\delta_{\text{ут}} = x; \gamma_2 = 150 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Газобетон на цементном вяжущем,  
 $\delta_3 = 0,1 \text{ м}, \gamma_3 = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

#### Покрытие



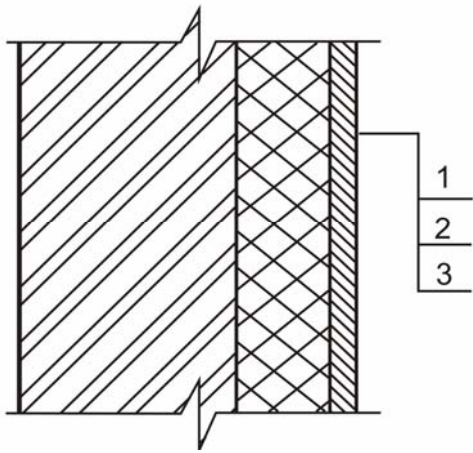
1. Плита перекрытия (бетон на гравии,  
 $\sigma_1 = 160 \text{ мм}, \sigma_2 = 30 \text{ мм}, \delta_1 = 0,24 \text{ м},$   
 $\gamma_1 = 2400 \text{ кг/м}^3$ ;
2. Пароизоляция (рубероид),  
 $\delta_2 = 0,016 \text{ м}, \gamma_2 = 600 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Утеплитель (жесткие минераловатные  
плиты из каменного волокна),  $\delta_{\text{ут}} = x,$   
 $\gamma_3 = 125; 200 \text{ кг/м}^3$ ;
4. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_4 = 0,02 \text{ м}, \gamma_4 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
5. Три слоя рубероида,  
 $\delta_5 = 0,016 \text{ м}, \gamma_5 = 600 \text{ кг/м}^3$ .

#### Полы



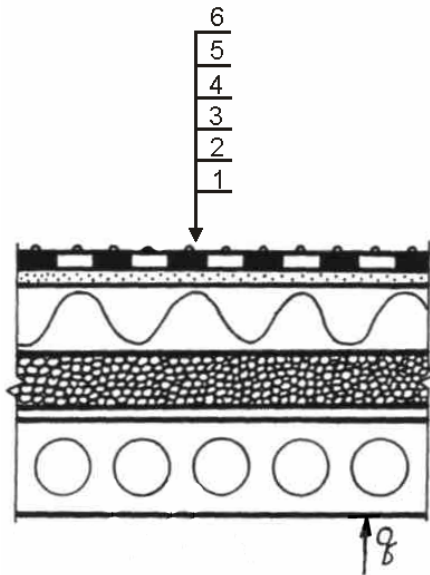
1. Слой керамзитобетона,  
 $\delta_1 = 0,1 \text{ м}, \gamma_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
2. Пароизоляция (рубероид),  
 $\delta_2 = 0,006 \text{ м}, \gamma_2 = 600 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Утеплитель (плиты минераловатные  
из каменного волокна),  $\delta_{\text{ут}} = x,$   
 $\gamma_3 = 125; 200 \text{ кг/м}^3$ ;
4. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_4 = 0,02 \text{ м}, \gamma_4 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
5. Покрытие пола (паркет),  
 $\delta_5 = 0,04 \text{ м}, \gamma_5 = 700 \text{ кг/м}^3$ .

МАГАЗИН УНИВЕРСАЛЬНЫХ ТОВАРОВ



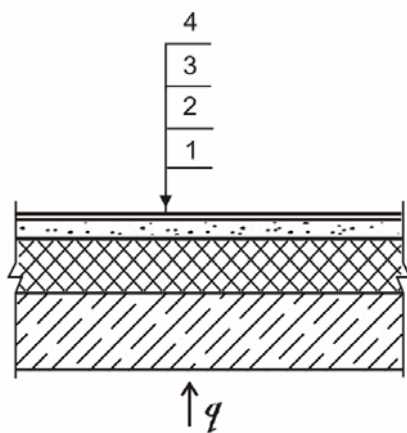
Стена

1. Листы гипсовые обшивочные,  
 $\delta_1 = 0,0125$  м,  $\gamma_1 = 1050$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Утеплитель из прессованного плитного пенополиуретана  
 $\delta_{ут} = x$ ,  $\gamma_2 = 40; 60; 80$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Кирпичная кладка (керамич.),  
 $\delta_3 = 0,38-0,64$  м,  $\gamma_3 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>.



Покрытие

1. Ж/б плита покрытия ( $\sigma_1 = 110$  мм,  
 $\sigma_2 = 20$  мм),  $\delta_1 = 0,22$  м,  
 $\gamma_1 = 2500$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Пароизоляция (рубероид),  
 $\delta_2 = 0,01$  м,  $\gamma_2 = 600$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Керамзитовый гравий,  $\delta_3 = 0,05$  м,  
 $\gamma_3 = 600$  кг/м<sup>3</sup>;
4. Утеплитель (минераловатные плиты из  
каменного волокна),  $\delta_{ут} = x$ ,  $\gamma_4 = 50; 100;$   
 $200; 300$  кг/м<sup>3</sup>;
5. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_5 = 0,02$  м,  $\gamma_5 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;
6. Четыре слоя рубероида,  
 $\delta_6 = 0,02$  м,  $\gamma_6 = 600$  кг/м<sup>3</sup>.

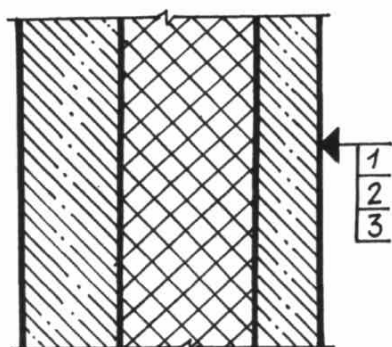


Полы

1. Слой керамзитобетона,  $\delta_1 = 0,22$  м,  
 $\gamma_1 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Утеплитель (плиты из  
пенополистирола),  $\delta_{ут} = x$ ,  $\gamma_2 = 40; 60;$   
 $80$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_3 = 0,30$  м,  $\gamma_3 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;
4. Покрытие пола (линолеум),  
 $\delta_4 = 0,003$  м,  $\gamma_4 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>.

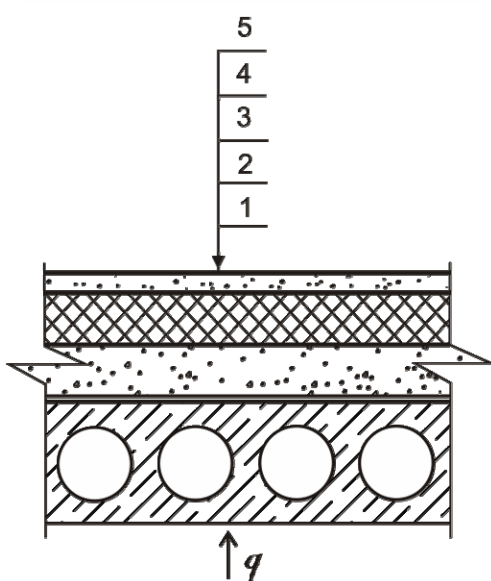
МУЗЕЙНЫЙ КОМПЛЕКС

Стена



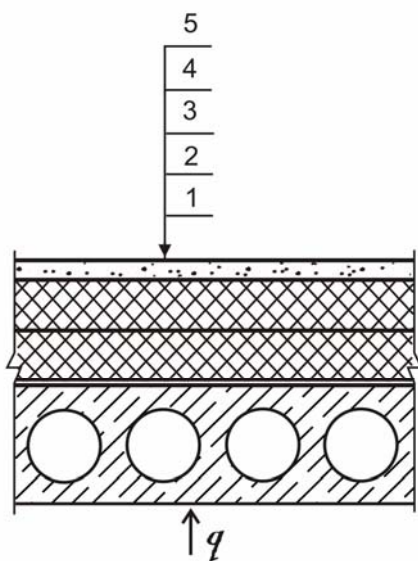
1. Керамзитобетон,  $\delta_1 = 0,1$  м,  
 $\gamma_1 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Утеплитель из пенополистирола  
 $\delta_{ут} = x$ ,  $\gamma_2 = 40$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Керамзитобетон,  $\delta_3 = 0,1$  м,  
 $\gamma_3 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>.

Покрытие



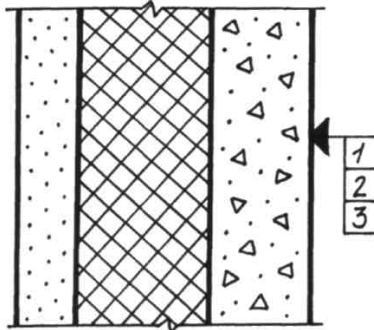
1. Ж/б плита покрытия  
 $\delta_1 = 0,24$  м,  $\gamma_1 = 2400$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Пароизоляция (рубероид),  
 $\delta_2 = 0,16$  м,  $\gamma_2 = 600$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Утеплитель из пенобетона  
 $\delta_{ут} = x$ ,  $\gamma_3 = 400$  кг/м<sup>3</sup>;
4. Монолитный пенобетон,  
 $\delta_4 = 0,05$  м,  $\gamma_4 = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;
5. Три слоя рубероида,  
 $\delta_5 = 0,02$  м,  $\gamma_5 = 600$  кг/м<sup>3</sup>.

Полы



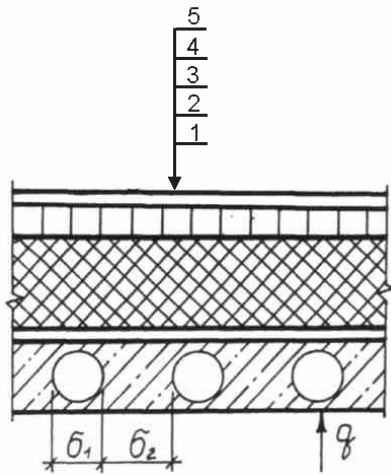
1. Ж/б плита покрытия,  
 $\delta_1 = 0,24$  м,  $\gamma_1 = 2500$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Утеплитель (пенобетон),  
 $\delta_{ут} = x$ ,  $\gamma_2 = 400$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Монолитный пенобетон,  
 $\delta_3 = 0,05$  м,  $\gamma_3 = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;
4. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_4 = 0,04$  м,  $\gamma_4 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;
5. Покрытие пола (линолеум),  
 $\delta_5 = 0,03$  м,  $\gamma_5 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>.

СПОРТИВНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС



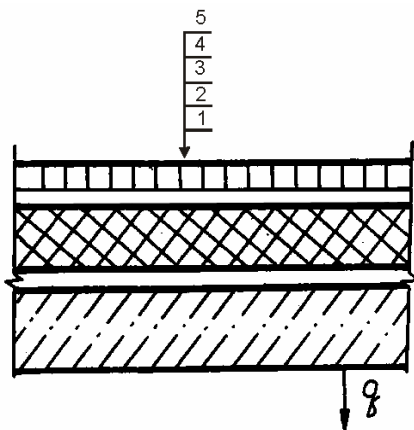
Стена

1. Монолитный тяжелый бетон,  
 $\delta_1 = 0,16$  м,  $\gamma_1 = 2400$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Утеплитель из прессованного плитного пенополиуретана  
 $\delta_{ут} = x$ ,  $\gamma_2 = 40; 60; 80$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Цементно-песчаный раствор,  
 $\delta_3 = 0,03$  м,  $\gamma_3 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>.



Покрытие

1. Ж/б плита покрытия,  
 $\delta_1 = 0,24$  м,  $\gamma_1 = 2500$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Пароизоляция (пергамин),  
 $\delta_2 = 0,006$  м,  $\gamma_2 = 600$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Утеплитель (пенобетон),  
 $\delta_{ут} = x$ ,  $\gamma_3 = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;
4. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_4 = 0,03$  м,  $\gamma_4 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;
5. Три слоя рубероида,  $\delta_5 = 0,01$  м,  
 $\gamma_5 = 600$  кг/м<sup>3</sup>.

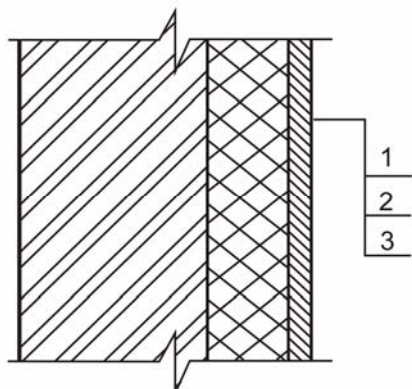


Полы

1. Слой бетона на гравии,  
 $\delta_1 = 0,22$  м,  $\gamma_1 = 2400$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Пароизоляция (рубероид),  
 $\delta_2 = 0,006$  м,  $\gamma_2 = 600$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Утеплитель (плиты минераловатные из каменного волокна),  $\delta_{ут} = x$ ,  
 $\gamma_3 = 125; 200$  кг/м<sup>3</sup>;
4. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_4 = 0,02$  м,  $\gamma_4 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;
5. Покрытие пола (деревянные доски),  
 $\delta_5 = 0,01$  м,  $\gamma_5 = 500$  кг/м<sup>3</sup>.

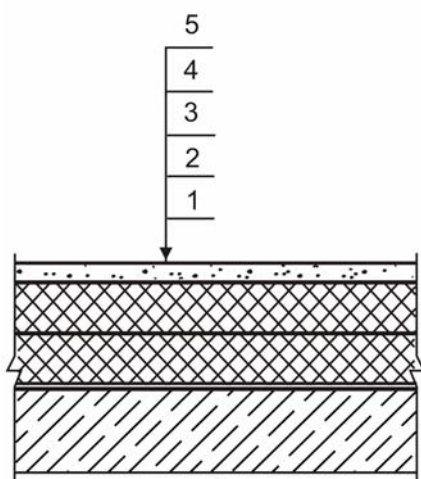
ЦЕНТР РЕАБИЛИТАЦИИ ИНВАЛИДОВ

Стена



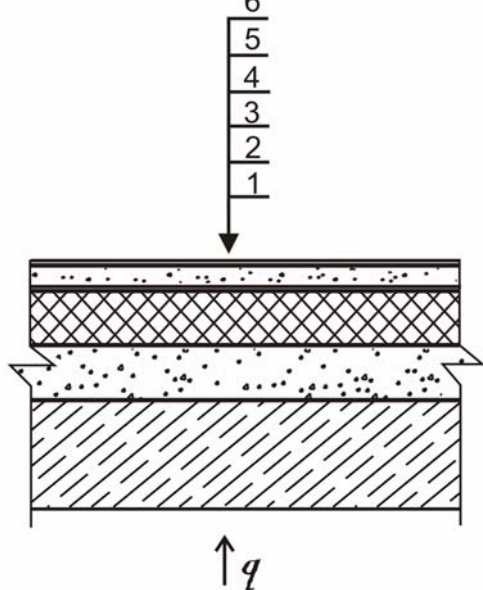
1. Листы гипсовые обшивочные  
 $\delta_1 = 0,125$  м,  
 $\gamma_1 = 800$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Пароизоляция (рубероид),  
 $\delta_2 = 0,01$  м,  $\gamma_2 = 600$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Монолитный пенобетон  
 $\delta_{ут} = x$ ,  $\gamma_3 = 400$  кг/м<sup>3</sup>;
4. Кирпичная кладка (силикат.),  
 $\delta_4 = 0,12-0,38$  м,  $\gamma_4 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>.

Покрытие



1. Монолитная ж/б плита,  
 $\delta_1 = 0,2$  м,  $\gamma_1 = 2500$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Пароизоляция (1 слой толи),  
 $\delta_2 = 0,003$  м,  $\gamma_2 = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Монолитный пенобетон,  
 $\delta_3 = 0,05$  м,  $\gamma_3 = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;
4. Утеплитель (пенобетон),  
 $\delta_{ут} = x$ ,  $\gamma_4 = 400$  кг/м<sup>3</sup>;
5. Три слоя рубероида,  
 $\delta_5 = 0,016$  м,  $\gamma_5 = 600$  кг/м<sup>3</sup>.

Полы

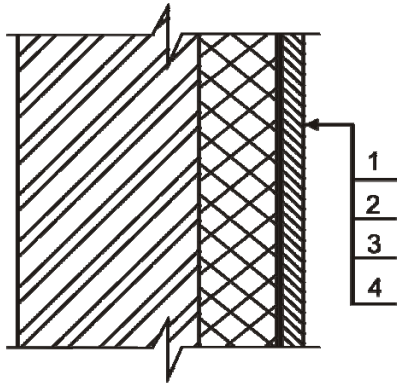


1. Монолитная ж/б плита,  
 $\delta_1 = 0,20$  м,  $\gamma_1 = 2500$  кг/м<sup>3</sup>;
2. Монолитный пенобетон,  
 $\delta_2 = 0,05$  м,  $\gamma_2 = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;
3. Утеплитель (пенобетон),  
 $\delta_{ут} = x$ ,  $\gamma_3 = 400$  кг/м<sup>3</sup>;
4. Пароизоляция (1 слой толи),  
 $\delta_4 = 0,003$  м,  $\gamma_4 = 600$  кг/м<sup>3</sup>;
5. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_5 = 0,04$  м,  $\gamma_5 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;
6. Покрытие пола (линолеум),  
 $\delta_6 = 0,003$  м,  $\gamma_6 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>.



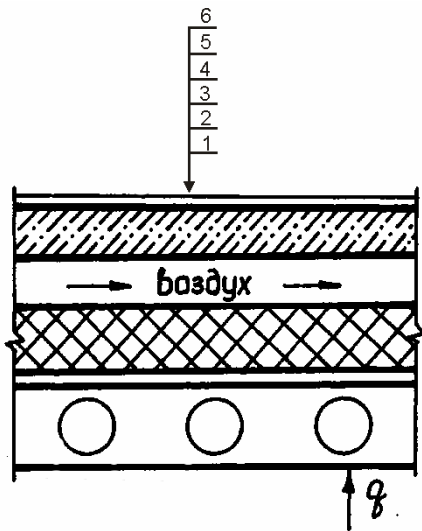
ДВОРЕЦ СПОРТА

Стена



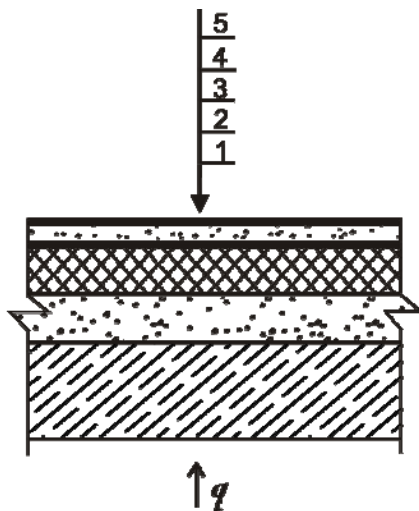
1. Бетон на щебне,  
 $\delta_1 = 0,16 \text{ м}, \gamma_1 = 2400 \text{ кг/м}^3$ ;
2. Пароизоляция (пергамин)  
 $\delta_2 = 0,01 \text{ м}, \gamma_2 = 600 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Пенобетон на цементном вяжущем  
 $\delta_{\text{ут}} = x, \gamma_3 = 400 \text{ кг/м}^3$ ;
4. Керамзитобетон на керамзитовом песке,  $\delta_4 = 0,12 \text{ м}, \gamma_4 = 800 \text{ кг/м}^3$ .

Покрытие



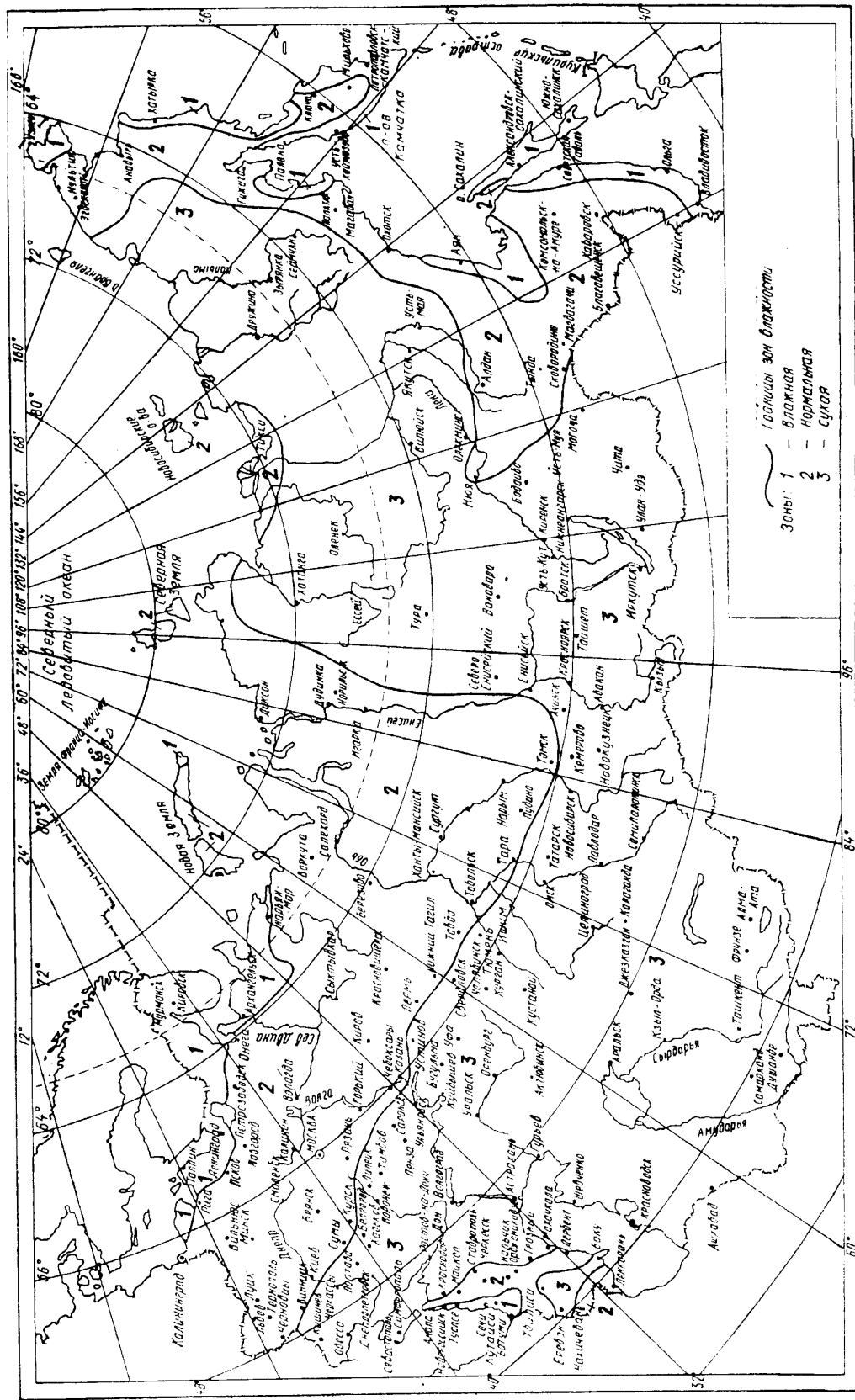
1. Плита покрытия (керамзитобетон,  
 $\sigma_1 = 110 \text{ мм}, \sigma_2 = 20 \text{ мм}$ ),  
 $\delta_1 = 0,24 \text{ м}, \gamma_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
2. Пароизоляция (рубероид),  
 $\delta_2 = 0,01 \text{ м}, \gamma_2 = 600 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Утеплитель (минераловатные плиты из  
каменного волокна),  $\delta_{\text{ут}} = x, \gamma_3 = 125$ ;  
 $200 \text{ кг/м}^3$ ;
4. Воздушная прослойка  $\delta_4 = 0,15 \text{ м}$ ;
5. Плита ж/б,  $\delta_5 = 0,1 \text{ м}, \gamma_5 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ;
6. Покрытие из рубероида,  
 $\delta_6 = 0,01 \text{ м}, \gamma_6 = 600 \text{ кг/м}^3$ .

Полы



1. Слой бетона на гравии,  
 $\delta_1 = 0,22 \text{ м}, \gamma_1 = 2400 \text{ кг/м}^3$ ;
2. Пароизоляция (рубероид),  
 $\delta_2 = 0,006 \text{ м}, \gamma_2 = 600 \text{ кг/м}^3$ ;
3. Утеплитель (плиты минераловатные из  
каменного волокна),  $\delta_{\text{ут}} = x, \gamma_3 = 125$ ;  
 $200 \text{ кг/м}^3$ ;
4. Цементно-песчаная стяжка,  
 $\delta_4 = 0,02 \text{ м}, \gamma_4 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;
5. Покрытие пола (керамогранит),  
 $\delta_5 = 0,02 \text{ м}, \gamma_5 = 1600 \text{ кг/м}^3$ .

Зоны влажности на территории России и стран СНГ



Приложение 4

Таблица 4 П 1

Влажностный режим помещений

Режим	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С		
	до 12	свыше 12 до 24	свыше 24
Сухой	До 60	До 50	До 40
Нормальный	Свыше 60 до 75	Свыше 50 до 60	Свыше 40 до 50
Влажный	Свыше 75	Свыше 60 до 75	Свыше 50 до 60
Мокрый	-	Свыше 75	Свыше 60

Таблица 4 П 2

Условия эксплуатации ограждающих конструкций

в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности

Влажностный режим помещений	Условия эксплуатации А и Б в зонах влажности		
	сухой	нормальной	влажной
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б



Приложение 5

Теплотехнические показатели строительных материалов и конструкций

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии				Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б						
	плотность, $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплоемкость, $c_0$ , кДж/(кг·°С)	$\lambda$ , Вт/(м·°С)	теплопроводность, $\lambda$ , Вт/(м·°С)	влажность, $w$ , %		теплопроводность, $\lambda$ , Вт/(м·°С)		теплосвоеение (при периоде 24 ч), $S$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)		паропроницаемость, $\mu$ , мг/(м·ч·Па)
					А	Б	А	Б	А	Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>Теплоизоляционные материалы</b>											
1 Плиты из пенополистирола	До 10	1,34	0,049	2	10	0,052	0,059	0,23	0,28	0,05	
2 То же	10-12	1,34	0,041	2	10	0,044	0,050	0,23	0,28	0,05	
3 "	12-14	1,34	0,040	2	10	0,043	0,049	0,25	0,30	0,05	
4 "	14-15	1,34	0,039	2	10	0,042	0,048	0,26	0,30	0,05	
5 "	15-17	1,34	0,038	2	10	0,041	0,047	0,27	0,32	0,05	
6 "	17-20	1,34	0,037	2	10	0,040	0,046	0,29	0,34	0,05	
7 "	20-25	1,34	0,036	2	10	0,038	0,044	0,31	0,38	0,05	
8 "	25-30	1,34	0,036	2	10	0,038	0,044	0,34	0,41	0,05	
9 "	30-35	1,34	0,037	2	10	0,040	0,046	0,38	0,45	0,05	
10 "	35-38	1,34	0,037	2	10	0,040	0,046	0,38	0,45	0,05	

Продолжение прил. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11 Плиты из пенополистирола с графитовыми добавками	15-20	1,34	0,033	2	10	0,035	0,040	0,27	0,32	0,05
12 То же	20-25	1,34	0,032	2	10	0,034	0,039	0,30	0,35	0,05
13 Экструдированный пенополистирол	25-33	1,34	0,029	1	2	0,030	0,031	0,30	0,31	0,005
14 То же	35-45	1,34	0,030	1	2	0,031	0,032	0,35	0,36	0,005
15 Пенополиуретан	80	1,47	0,041	2	5	0,042	0,05	0,62	0,70	0,05
16 То же	60	1,47	0,035	2	5	0,036	0,041	0,49	0,55	0,05
17 "	40	1,47	0,029	2	5	0,031	0,04	0,37	0,44	0,05
18 Плиты из резольно-фенолформальдегидного пенопласта	80	1,68	0,044	5	20	0,051	0,071	0,75	1,02	0,23
19 То же	50	1,68	0,041	5	20	0,045	0,064	0,56	0,77	0,23
20 Перлитопластбетон	200	1,05	0,041	2	3	0,052	0,06	0,93	1,01	0,008
21 То же	100	1,05	0,035	2	3	0,041	0,05	0,58	0,66	0,008
22 Перлитофосфогелевые изделия	300	1,05	0,076	3	12	0,08	0,12	1,43	2,02	0,2
23 То же	200	1,05	0,064	3	12	0,07	0,09	1,1	1,43	0,23
24 Теплоизоляционные изделия из вспененного синтетического каучука	60-95	1,806	0,034	5	15	0,04	0,054	0,65	0,71	0,003
25 Плиты минераловатные из каменного волокна	180	0,84	0,038	2	5	0,045	0,048	0,74	0,81	0,3

Продолжение прил. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
26 То же	40-175	0,84	0,037	2	5	0,043	0,046	0,68	0,75	0,31
27 "	80-125	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,53	0,59	0,32
28 "	40-60	0,84	0,035	2	5	0,041	0,044	0,37	0,41	0,35
29 "	25-50	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,31	0,35	0,37
30 Плиты из стекло- штального волокна	85	0,84	0,044	2	5	0,046	0,05	0,51	0,57	0,5
31 То же	75	0,84	0,04	2	5	0,042	0,047	0,46	0,52	0,5
32 "	60	0,84	0,038	2	5	0,04	0,045	0,4	0,45	0,51
33 "	45	0,84	0,039	2	5	0,041	0,045	0,35	0,39	0,51
34 "	35	0,84	0,039	2	5	0,041	0,046	0,31	0,35	0,52
35 "	30	0,84	0,04	2	5	0,042	0,046	0,29	0,32	0,52
36 "	20	0,84	0,04	2	5	0,043	0,048	0,24	0,27	0,53
37 "	17	0,84	0,044	2	5	0,047	0,053	0,23	0,26	0,54
38 "	15	0,84	0,046	2	5	0,049	0,055	0,22	0,25	0,55
39 Плиты древесно-во- локнистые и древесно- стружечные	1000	2,3	0,15	10	12	0,23	0,29	6,75	7,7	0,12
40 То же	800	2,3	0,13	10	12	0,19	0,23	5,49	6,13	0,12
41 "	600	2,3	0,11	10	12	0,13	0,16	3,93	4,43	0,13
42 "	400	2,3	0,08	10	12	0,11	0,13	2,95	3,26	0,19
43 Плиты древесно-во- локнистые и древесно- стружечные	200	2,3	0,06	10	12	0,07	0,08	1,67	1,81	0,24
44 Плиты фибролито- вые и арболит на порг- ландцементе	500	2,3	0,095	10	15	0,15	0,19	3,86	4,50	0,11

Продолжение прил. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
45 То же	450	2,3	0,09	10	15	0,135	0,17	3,47	4,04	0,11
46 "	400	2,3	0,08	10	15	0,13	0,16	3,21	3,70	0,26
47 Плиты камышитовые	300	2,3	0,07	10	15	0,09	0,14	2,31	2,99	0,45
48 То же	200	2,3	0,06	10	15	0,07	0,09	1,67	1,96	0,49
49 Плиты торфяные ге- плоизоляционные	300	2,3	0,064	15	20	0,07	0,08	2,12	2,34	0,19
50 То же	200	2,3	0,052	15	20	0,06	0,064	1,6	1,71	0,49
51 Пакля	150	2,3	0,05	7	12	0,06	0,07	1,3	1,47	0,49
52 Плиты из гипса	1350	0,84	0,35	4	6	0,50	0,56	7,04	7,76	0,098
53 То же	1100	0,84	0,23	4	6	0,35	0,41	5,32	5,99	0,11
54 Листы гипсовые об- шивочные	1050	0,84	0,15	4	6	0,34	0,36	5,12	5,48	0,075
55 То же	800	0,84	0,15	4	6	0,19	0,21	3,34	3,66	0,075
56 Изделия из вспучен- ного перлита на битум- ном связующем	300	1,68	0,087	1	2	0,09	0,099	1,84	1,95	0,04
57 То же	250	1,68	0,082	1	2	0,085	0,099	1,53	1,64	0,04
58 "	225	1,68	0,079	1	2	0,082	0,094	1,39	1,47	0,04
59 "	200	1,68	0,076	1	2	0,078	0,09	1,23	1,32	0,04
<b>Засыпки</b>										
60 Гравий керамзито- вый	600	0,84	0,14	2	3	0,17	0,19	2,62	2,83	0,23
61 То же	500	0,84	0,14	2	3	0,15	0,165	2,25	2,41	0,23
62 "	450	0,84	0,13	2	3	0,14	0,155	2,06	2,22	0,235

## Продолжение прил. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
63 Гравий керамзитовый	400	0,84	0,12	2	3	0,13	0,145	1,87	2,02	0,24
64 То же	350	0,84	0,115	2	3	0,125	0,14	1,72	1,86	0,245
65 "	300	0,84	0,108	2	3	0,12	0,13	1,56	1,66	0,25
66 "	250	0,84	0,099	2	3	0,11	0,12	1,22	1,3	0,26
67 "	200	0,84	0,090	2	3	0,10	0,11	1,16	1,24	0,27
68 Песок для строительных работ (ГОСТ 8736)	1600	0,84	0,35	1	2	0,47	0,58	6,95	7,91	0,17
69 Вермикулит вспученный (ГОСТ 12865)	200	0,84	0,065	1	3	0,08	0,095	1,01	1,16	0,23
70"	150	0,84	0,060	1	3	0,074	0,098	0,84	1,02	0,26
71"	100	0,84	0,055	1	3	0,067	0,08	0,66	0,75	0,3
<b>Конструкционные и конструкционно-теплоизоляционные материалы</b>										
<i>Бетоны на искусственных пористых заполнителях</i>										
72 Керамзитобетон на керамзитовом песке	1800	0,84	0,66	5	10	0,80	0,92	10,5	12,33	0,09
73 То же	1600	0,84	0,58	5	10	0,67	0,79	9,06	10,77	0,09
74 "	1400	0,84	0,47	5	10	0,56	0,65	7,75	9,14	0,098
75 "	1200	0,84	0,36	5	10	0,44	0,52	6,36	7,57	0,11
76 "	1000	0,84	0,27	5	10	0,33	0,41	5,03	6,13	0,14
77 "	800	0,84	0,21	5	10	0,24	0,31	3,83	4,77	0,19
78 "	600	0,84	0,16	5	10	0,2	0,26	3,03	3,78	0,26
79 "	500	0,84	0,14	5	10	0,17	0,23	2,55	3,25	0,3

Продолжение прил. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
80 Керамзитобетон на кварцевом песке с умеренной (до $V_e=12\%$ ) поризацией	1200	0,84	0,41	4	8	0,52	0,58	6,77	7,72	0,075
81 То же	1000	0,84	0,33	4	8	0,41	0,47	5,49	6,35	0,075
82 "	800	0,84	0,23	4	8	0,29	0,35	4,13	4,9	0,075
83 Бетон на зольном обжиговом и безобжиговом гравии	1400	0,84	0,47	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34	0,09
84 То же	1200	0,84	0,35	5	8	0,41	0,47	6,14	6,95	0,11
85 "	1000	0,84	0,24	5	8	0,3	0,35	4,79	5,48	0,12
<i>Бетоны особо легкие на пористых заполнителях и ячеистые</i>										
86 Газо- и пенобетон на цементном вяжущем	1000	0,84	0,29	8	12	0,38	0,43	5,71	6,49	0,11
87 То же	800	0,84	0,21	8	12	0,33	0,37	4,92	5,63	0,14
88 "	600	0,84	0,14	8	12	0,22	0,26	3,36	3,91	0,17
89 "	400	0,84	0,11	8	12	0,14	0,15	2,19	2,42	0,23
90 Газо- и пенобетон на известняковом вяжущем	1000	0,84	0,31	12	18	0,48	0,55	6,83	7,98	0,13
91 То же	800	0,84	0,23	11	16	0,39	0,45	6,07	7,03	0,16
92 "	600	0,84	0,15	11	16	0,28	0,34	5,15	6,11	0,18
93 "	500	0,84	0,13	11	16	0,22	0,28	4,56	5,55	0,235

Продолжение прил. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<i>Кирпичная кладка из сплошного кирпича</i>											
94	Глиняного обыкновенного на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,56	1	2	0,7	0,81	9,2	10,12	0,11
95	Глиняного обыкновенного на цементно-шлаковом растворе	1700	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,76	8,64	9,7	0,12
96	Глиняного обыкновенного на цементно-перлитовом растворе	1600	0,88	0,47	2	4	0,58	0,7	8,08	9,23	0,15
97	Силикатного на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,7	2	4	0,76	0,87	9,77	10,9	0,11
98	Шлакового на цементно-песчаном растворе	1500	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,7	8,12	8,76	0,11
<i>Кирпичная кладка из пустотного кирпича</i>											
99	Керамического пустотного плотностью 1400 кг/м <sup>3</sup> (брутто) на цементно-песчаном растворе	1600	0,88	0,47	1	2	0,58	0,64	7,91	8,48	0,14
100	Керамического пустотного плотностью 1300 кг/м <sup>3</sup> на цементно-песчаном растворе	1400	0,88	0,41	1	2	0,52	0,58	7,01	7,56	0,16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
101 Керамического пустотного плотностью 1000 кг/м <sup>3</sup> (брутто) на цементно-песчаном растворе	1200	0,88	0,35	1	2	0,47	0,52	6,16	6,62	0,17
<b>Дерево и изделия из него</b>										
102 Сосна и ель поперек волокон	500	2,3	0,09	15	20	0,14	0,18	3,87	4,54	0,06
103 Сосна и ель вдоль волокон	500	2,3	0,18	15	20	0,29	0,35	5,56	6,33	0,32
104 Дуб поперек волокон	700	2,3	0,1	10	15	0,18	0,23	5,0	5,86	0,05
105 Дуб вдоль волокон	700	2,3	0,23	10	15	0,35	0,41	6,9	7,83	0,3
106 Фанера клееная	600	2,3	0,12	10	13	0,15	0,18	4,22	4,73	0,02
<b>Конструкционные материалы</b>										
<i>Бетоны</i>										
107 Железобетон	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	18,95	0,03
108 Бетон на гравии или щебне из природного камня	2400	0,84	1,51	2	3	1,74	1,86	16,77	17,88	0,03
109 Раствор цементно-песчаный	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,6	11,09	0,09
110 Раствор сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,7	0,87	8,95	10,42	0,098
111 Раствор известково-песчаный	1600	0,84	0,47	2	4	0,7	0,81	8,69	9,76	0,12



Продолжение прил. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Облицовка природным камнем</i>										
112 Гранит, гнейс и базальт	2800	0,88	3,49	0	0	3,49	3,49	25,04	25,04	0,008
113 Мрамор	2800	0,88	2,91	0	0	2,91	2,91	22,86	22,86	0,008
<b>Материалы кровельные, гидроизоляционные, облицовочные и рулонные покрытия для полов</b>										
114 Листы асбестоцементные плоские	1800	0,84	0,35	2	3	0,47	0,52	7,55	8,12	0,03
115 Битумы нефтяные строительные и кровельные	1400	1,68	0,27	0	0	0,27	0,27	6,8	6,8	0,008
116 Асфальтобетон	2100	1,68	1,05	0	0	1,05	1,05	16,43	16,43	0,008
117 Рубероид, пергамин, толь	600	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	3,53	3,53	-
118 Пенополиэтилен	26	2,0	0,048	1	2	0,049	0,050	0,44	0,44	0,001
119 Линолеум поливинилхлоридный на теплоизолирующей подоснове	1800	1,47	0,38	0	0	0,38	0,38	8,56	8,56	0,002
120 То же	1600	1,47	0,33	0	0	0,33	0,33	7,52	7,52	0,002
121 Линолеум поливинилхлоридный на тканевой основе	1800	1,47	0,35	0	0	0,35	0,35	8,22	8,22	0,002
122 То же	1600	1,47	0,29	0	0	0,29	0,29	7,05	7,05	0,002
123 "	1400	1,47	0,2	0	0	0,23	0,23	5,87	5,87	0,002

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Металлы и стекло</b>										
124 Сталь стержневая арматурная	7850	0,482	58	0	0	58	58	126,5	126,5	0
125 Стекло оконное	2500	0,84	0,76	0	0	0,76	0,76	10,79	10,79	0

**П р и м е ч а н и я :**

1. Расчетные значения коэффициента теплоусвоения (при периоде 24 ч) материала в конструкции вычислены по формуле  $s = 0,27 \sqrt{\lambda \rho_0 (c_0 + 0,0419w)}$ , где  $\lambda_0, \rho_0, c_0, w$  принимают по соответствующим графам настоящего приложения.
2. Характеристики материалов в сухом состоянии приведены при массовом отношении влаги в материале  $w, \%$  равном нулю.
3. Значения термических сопротивлений теплопередаче замкнутых воздушных прослоек следует принимать по [7, табл.Е.1]. При оклейке поверхности вертикальной воздушной прослойки алюминиевой фольгой ее термическое сопротивление не должно превышать:  
 $0,40 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  для воздушной прослойки толщиной  $0,02 \text{ м}$ ;  
 $0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  для воздушной прослойки толщиной  $0,03 \text{ м}$ ;  
 $0,50 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  для воздушной прослойки толщиной  $0,05 \text{ м}$ .

Приложение 6

Расчетные данные

Город	$t_{\text{хп}(0,92)}$	$Z$	$t_{\text{о.п}}$
1	2	3	4
1. Архангельск	-33	250	-4,5
2. Астрахань	-21	164	-0,8
3. Белгород	-23	191	-1,9
4. Брянск	-24	199	-2
5. Владивосток	-23	198	-4,3
6. Владимир	-28	213	-3,5
7. Волгоград	-22	176	-2,3
8. Вологда	-32	228	-4
9. Воркута	-41	306	-9,1
10. Воронеж	-24	190	-2,5
11. Грозный	-17	159	0,9
12. Екатеринбург	-32	221	-5,4
13. Иваново	-30	219	-3,9
14. Ижевск	-33	219	-5,6
15. Иркутск	-33	232	-7,7
16. Йошкар-Ола	-33	215	-4,9
17. Казань	-31	208	-4,8
18. Калининград	-19	188	1,2
19. Калуга	-27	210	-2,9
20. Кемерово	-39	227	-8
21. Киров	-33	231	-5,8
22. Кострома	-31	222	-3,9
23. Краснодар	-14	145	2,5
24. Красноярск	-37	233	-6,7
25. Курган	-36	212	-7,6
26. Курск	-24	194	-2,3
27. Липецк	-27	202	-3,4
28. Магадан	-29	279	-7,5
29. Махачкала	-13	144	2,7
30. Москва	-25	205	-2,2
31. Мурманск	-30	275	-3,4
32. Нарьян-Мар	-39	289	-7,5
33. Нижний Новгород	-31	215	-4,1

## Окончание прил. 6

1	2	3	4
34. Новосибирск	-37	221	-8,1
35. Омск	-37	216	-8,1
36. Орел	-25	199	-2,4
37. Оренбург	-32	195	-6,1
38. Пенза	-27	200	-4,1
39. Пермь	-35	225	-5,5
40. Петрозаводск	-28	235	-3,2
41. Петропавловск-Камчатский	-18	250	-1,7
42. Псков	-26	208	-1,3
43. Ростов-на-Дону	-19	166	-0,1
44. Рязань	-27	208	-3,5
45. Самара	-30	203	-5,2
46. Санкт-Петербург	-24	213	-1,3
47. Саранск	-30	209	-4,5
48. Саратов	-25	188	-3,5
49. Сочи	-2	94	6,6
50. Ставрополь	-18	168	0,5
51. Тамбов	-28	201	-3,7
52. Томск	-39	233	-7,9
53. Тула	-27	207	-3
54. Тюмень	-35	223	-6,9
55. Улан-Удэ	-35	230	-10,3
56. Уфа	-33	209	-6
57. Хабаровск	-29	204	-9,5
58. Челябинск	-34	218	-6,5
59. Чита	-38	238	-11,3
60. Южно-Сахалинск	-22	227	-4,4
61. Якутск	-52	252	-20,9

Приложение 7

Средняя за отопительный период величина суммарной солнечной радиации на горизонтальную и вертикальные поверхности при действительных условиях облачности  $J$ , МДж/м<sup>2</sup>

№ п/п	Город	Расчетная географическая широта	Горизонтальная поверхность	Вертикальные поверхности с ориентацией на				
				С	СВ/СЗ	В/З	ЮВ/ЮЗ	Ю
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Архангельск	64	1322	441	521	752	1038	1150
2.	Астрахань	48	1158	455	506	754	1162	1343
3.	Белгород	50	1109	587	634	842	1174	1339
4.	Брянск	52	1048	540	586	766	1050	1185
5.	Владивосток*	44	1101	330	346	503	774	251
6.	Владимир	56	1141	612	677	911	1292	1462
7.	Волгоград	48	1105	336	359	583	940	1130
8.	Вологда	60	1312	704	784	1036	1418	1586
9.	Воркута	68	1992	1254	1380	1666	1988	2114
10.	Воронеж*	52	1332	695	760	1033	1458	1670
11.	Грозный*	44	1101	330	346	503	774	251
12.	Екатеринбург	56	1517	808	913	1210	1668	1862
13.	Иваново	56	1202,4	662,4	734,4	964,8	1332	1498
14.	Ижевск	56	1037	43	256	835	1544	1984
15.	Иркутск	52	2055	537	637	1118	1783	2094
16.	Йошкар-Ола*	56	1037	43	256	835	1544	1984
17.	Казань*	56	1122	381	410	619	917	1058
18.	Калининград	56	937	446	495	669	928	1047
19.	Калуга*	56	1195	665	722	954	1330	1509
20.	Кемерово	56	1692	877	950	1318	1840	2074
21.	Киров	60	1309	697	775	1042	1449	1639
22.	Кострома	56	1201	662	732	966	1331	1496
23.	Краснодар	44	856	357	382	539	816	974
24.	Красноярск*	56	1692	877	950	1318	1840	2074
25.	Курган*	56	1375	748	825	1086	1480	1650
26.	Курск	52	1112	374	396	604	934	1101
27.	Липецк*	52	1112	587	635	840	1176	1339
28.	Магадан*	59	912	394	455	650	902	1009
29.	Махачкала	44	1101	330	346	503	774	251
30.	Москва	56	1158	403	428	633	935	1075
31.	Мурманск*	68	1691	1078	1194	1454	1766	2000
32.	Нарьян-Мар	68	1691	1078	1194	1454	1766	2000
33.	Нижний Новгород	56	1122	381	410	619	917	1058
34.	Новосибирск	44	1692	877	950	1318	1840	2074
35.	Омск	56	1685	846	965	1340	1901	2153
36.	Орел	52	1112	587	635	840	1176	1339

## Окончание прил. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
37.	Оренбург	52	1736	860	964	1322	1855	2106
38.	Пенза	52	1331	695	760	1032	1458	1671
39.	Пермь*	56	1201	662	732	966	1331	1496
40.	Петрозаводск*	60	1816	926	1085	1485	2090	2323
41.	Петропавловск-Камчатский*	52	2055	537	637	1118	1783	2094
42.	Псков	56	1099	589	650	861	117	1256
43.	Ростов-на-Дону	48	1187	524	576	804	1066	1233
44.	Рязань	56	1195	665	722	954	1330	1509
45.	Самара	52	1229	614	681	954	1388	1598
46.	Санкт-Петербург	60	912	394	455	650	902	1009
47.	Саранск*	56	1195	665	722	954	1330	1509
48.	Саратов	52	1332	695	760	1033	1458	1670
49.	Сочи	44	534	206	220	330	546	673
50.	Ставрополь	45	1350	417	444	674	1060	1276
51.	Тамбов*	52	1112	587	635	840	1176	1339
52.	Томск	56	1649	832	932	1285	1807	2041
53.	Тула*	56	1195	665	722	954	1330	1509
54.	Тюмень	56	1621	861	972	1302	1874	2130
55.	Улан-Удэ*	52	2055	537	637	1118	1783	2094
56.	Уфа	56	1375	748	825	1086	1480	1650
57.	Хабаровск	48	2074	515	582	1130	1946	2393
58.	Челябинск	56	1375	748	825	1086	1480	1650
59.	Чита	52	2275	866	1029	1544	2466	2880
60.	Южно-Сахалинск	47	674	315	352	450	655	742
61.	Якутск	62	1816	926	1085	1485	2090	2323

\* – при отсутствии точных данных в нормативной, справочной и другой литературе, принимаются значения средней за отопительный период величины суммарной солнечной радиации на горизонтальную и вертикальные поверхности при действительных условиях облачности ближайших населенных пунктов, находящихся на такой же широте, согласно [6].

## О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ .....	6
1.1. Выбор варианта задания .....	6
1.2. Объем и содержание задания .....	6
1.3. Исходные данные для выполнения самостоятельной работы .....	7
Контрольные вопросы .....	8
2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ .....	9
2.1. Методика расчета толщины утепляющего слоя стены .....	10
2.2. Методика расчета толщины утепляющего слоя покрытия .....	17
2.3. Методика расчета толщины утепляющего слоя конструкции полов над подвалом и подпольем .....	23
2.4. Методика теплотехнического расчета световых проемов .....	25
2.5. Методика теплотехнического расчета входных дверей .....	29
Контрольные вопросы .....	30
3. РАСЧЕТ ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД .....	31
3.1. Методика расчета теплоустойчивости наружных ограждений (наружных стен и перекрытий/покрытий) в теплый период .....	31
Контрольные вопросы .....	36
4. РАСЧЕТ ТЕПЛОУСВОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛОВ .....	37
4.1. Методика расчета теплоусвоения поверхности полов .....	37
Контрольный вопрос .....	40
5. РАСЧЕТ ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ .....	41
5.1. Методика проверки внутренней поверхности ограждения (стены) на возможность конденсации влаги .....	41
Контрольные вопросы .....	42
6. ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ .....	43
6.1. Методика расчета сопротивления воздухопроницанию ограждающей конструкции стены .....	43
6.2. Методика расчета сопротивления воздухопроницанию наружных ограждений (окон и балконных дверей) .....	45
6.3. Методика расчета влияния инфильтрации на температуру внутренней поверхности и коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции .....	45

Контрольные вопросы .....	47
7. ТРЕБОВАНИЯ К РАСХОДУ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЮ ЗДАНИЙ .....	48
7.1. Методика расчета удельной характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.....	48
Контрольные вопросы .....	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	56
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	57
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	59

Учебное издание

Королева Тамара Ивановна  
Чичиров Константин Олегович

**СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА  
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ  
И РАСЧЕТ УДЕЛЬНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОТЫ НА ОТОПЛЕНИЕ  
И ВЕНТИЛЯЦИЮ ЗДАНИЯ**

Учебное пособие

Редактор            В.С. Кулакова  
Верстка            Н.А. Сазонова

Подписано в печать 22.04.15. Формат 60×84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 5,115. Уч.-изд. л. 5,5. Тираж 500 экз. 1-й завод 100 экз.  
Заказ № 141.



Издательство ПГУАС.  
440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28.