

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Кафедра теплоэнергетики**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**по выполнению курсовой работы  
по дисциплине БЗ.В1 «Теплофизика зданий»**

**для студентов направления подготовки 270800 «Строительство»  
профиля «Теплогазоснабжение и вентиляция»**

Казань  
2015

Составители: Садыков Р.А., Крайнов Д.В., Медведева Г.А.

УДК 697

ББК 38.76

ISBN 5-7264-0361-4

Методические указания по выполнению курсовой работы по теплотехническому расчету ограждающей конструкции по дисциплине БЗ.В1 «Теплофизика зданий» для студентов направления подготовки 270800 «Строительство» профиля «Теплогазоснабжение и вентиляция». Сост.: Р.А. Садыков, Д.В. Крайнов, Г.А. Медведева, Казань: КГАСУ, 2015. – 42 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

В методических указаниях дана методика по выполнению курсовой работы по теплотехническому расчету ограждающей конструкции.

Методические указания предназначены для студентов профиля «Теплогазоснабжение и вентиляция» направления подготовки 270800 «Строительство».

Табл.10, илл.5, библиогр.12 наименований.

Рецензент: доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией строительной теплофизики НИИ строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук **Гагарин В.Г.**

УДК 697

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2015

© Садыков Р.А., Крайнов Д.В.,  
Медведева Г.А., 2015

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ЗАДАНИЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ .....	4
I. РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ОГРАЖДЕНИЯ.....	8
1. Проверка нормативных требований.....	8
2. Расчет толщины утепляющего слоя.....	8
II. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЮ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ.....	13
III. РАСЧЕТ СТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ОГРАЖДЕНИИ .....	14
1. Без учета фильтрации воздуха .....	14
2. С учетом фильтрации воздуха .....	15
IV. РАСЧЕТ ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД.....	17
V. РАСЧЕТ ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ .	20
1. Проверка внутренней поверхности наружных ограждений на возможность конденсации влаги .....	20
2. Защита от переувлажнения ограждающих конструкций.....	21
3. Расчет конденсации влаги в толще ограждения .....	25
Приложения .....	29
Литература .....	41

## ВВЕДЕНИЕ

Строительная теплофизика рассматривает вопросы теплопередачи, воздухопроницания и влажностного режима ограждений в связи с процессами тепло- и массообмена, обусловленными действием внешних климатических факторов и работой систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. В настоящее время ее значение усиливается в связи с широким применением индустриальных конструкций из современных материалов, повышением требований к комфортности внутреннего климата помещений, а также развитием строительства в районах с резко выраженными климатическими воздействиями.

Курсовая работа по дисциплине «Теплофизика зданий» включает расчет тепловой защиты, защиты от переувлажнения ограждающих конструкций, расчет на воздухопроницаемость и теплоустойчивость ограждающих конструкций. Она выполняется в соответствии с требованиями нормативной документации [6-10].

*Цель курсовой работы* – закрепить и развить знания, полученные студентами при изучении теоретического курса и практических занятий, изучить требования, предъявляемые к ограждающим конструкциям зданий [6], получить навыки решения практических задач строительной теплофизики.

## ЗАДАНИЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Выполнить расчет теплового, воздушного, влажностного режимов, а также теплоустойчивости многослойного наружного ограждения для пятиэтажного жилого здания. Высоту этажа принять равной 3 м. Конструктивная схема наружного ограждения представлена на **рис. 1**.

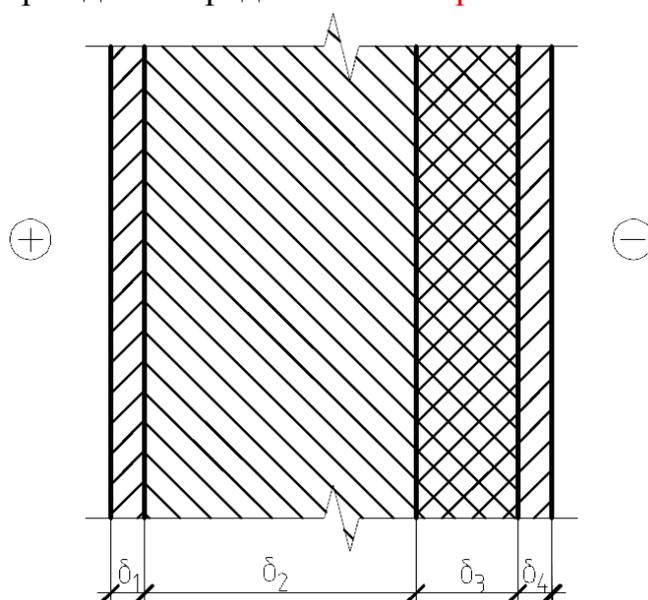


Рис. 1. Конструкция наружного ограждения

⊕, ⊖ – соответственно внутренняя и наружная части ограждений,  
 $\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя ограждения,  $i = \overline{1,4}$

Варианты заданий приведены в **таблице 1 «Район строительства»** и **таблице 2 «Материалы ограждающей конструкции»**. Район строительства принимается по двум последним цифрам шифра зачетной книжки, толщины слов и номера материалов – по последней.

Таблица 1

**Район строительства**

N	Город	N	Город	N	Город	N	Город
00	Абакан	25	Дмитров	50	Нарьян-Мар	75	Сургут
01	Александровск-Сахалинский	26	Екатеринбург	51	Нижний Новгород	76	Сыктывкар
02	Анадырь	27	Елабуга	52	Николаевск-на-Амуре	77	Таганрог
03	Архангельск	28	Енисейск	53	Новосибирск	78	Тамбов
04	Астрахань	29	Иваново	54	Оймякон	79	Тверь
05	Барнаул	30	Ижевск	55	Омск	80	Тобольск
06	Белгород	31	Йошкар-Ола	56	Орел	81	Томск
07	Белорецк	32	Иркутск	57	Оренбург	82	Тула
08	Биробиджан	33	Казань	58	Охотск	83	Тында
09	Благовещенск	34	Калининград	59	Пенза	84	Тюмень
10	Бодайбо	35	Калуга	60	Пермь	85	Улан-Удэ
11	Братск	36	Каменск-Уральский	61	Петропавловск-Камчатский	86	Уренгой
12	Брянск	37	Кемерово	62	Псков	87	Уфа
13	Великие Луки	38	Комсомольск-на-Амуре	63	Пятигорск	88	Ухта
14	Верхнеуральск	39	Кострома	64	Ржев	89	Хабаровск
15	Верхоянск	40	Краснодар	65	Ростов-на-Дону	90	Ханты-Мансийск
16	Владивосток	41	Красноярск	66	Рязань	91	Чебоксары
17	Владикавказ	42	Курск	67	Салехард	92	Челябинск
18	Владимир	43	Майкоп	68	Самара	93	Черкесск
19	Волгоград	44	Махачкала	69	Санкт-Петербург	94	Чита
20	Вологда	45	Мончегорск	70	Саранск	95	Элиста
21	Воркута	46	Москва	71	Саратов	96	Южно-Курильск
22	Воронеж	47	Мурманск	72	Смоленск	97	Южно-Сахалинск
23	Грозный	48	Муром	73	Сочи	98	Якутск
24	Дербент	49	Нальчик	74	Ставрополь	99	Ярославль

*N – последние две цифры шифра зачетной книжки.*

**Материалы ограждающей конструкции**

Последняя цифра шифра	Толщина слоя, м			Номер материала слоя				Тип наружного ограждения*
	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_4$	1	2	3	4	
0	0,015	0,12	0,08	201	108	17	108	1
1	0,015	0,12	0,08	202	109	8	109	1
2	0,01	0,38	0,12	203	180	27	180	2
3	0,01	0,38	0,12	201	183	28	181	2
4	0,015	0,38	0,12	202	188	31	182	2
5	0,015	0,25	0,12	203	156	32	180	2
6	0,01	0,3	0,12	201	172	32	181	2
7	0,01	0,4	0,12	202	171	31	182	2
8	0,01	0,38	0,015	203	183	28	201	3
9	0,01	0,3	0,015	201	171	27	202	3

\* Тип наружного ограждения:

1. Трехслойная бетонная панель на гибких связях
2. Несущая стеновая конструкция с облицовкой из кирпичной кладки
3. Фасадные системы с тонким штукатурным слоем.

Номер материала слоя, указанный в **таблице 2**, соответствует номеру материала по **приложению 1** или **[9, приложение Т]**. В этом же приложении находятся теплотехнические показатели строительных материалов в сухом состоянии и их расчетные коэффициенты: влажности  $w$ , %, теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), теплоусвоения  $s$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С) и паропроницаемости  $\mu$ , мг/(м·ч·Па).

Расчетные коэффициенты следует принимать при условиях эксплуатации конструкций А и Б. Условия эксплуатации конструкций определяются в зависимости от влажностного режима помещений и зоны влажности района строительства.

Расчетная температура внутреннего воздуха здания при расчете ограждающих конструкций жилых зданий принимается по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий для холодного периода года по **[6, таблица 1]**. Для жилых зданий – в интервале 20-22 °С.

При расчетах ограждающих конструкций (в том числе, для определения точки росы) относительную влажность внутреннего воздуха для помещений жилых зданий следует принимать равной 55 %. Для других типов зданий – согласно **[9, п.5.7]**.

Влажностный режим помещений зданий в холодный период года в зависимости от относительной влажности и температуры внутреннего воздуха следует устанавливать по **таблице 3** или **[9, таблица 1]**.

Зоны влажности района строительства следует принимать по карте **[9, приложение В]**.

Таблица 3

### Влажностный режим помещений зданий

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

Условия эксплуатации ограждающих конструкций А или Б в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности района строительства, необходимые для выбора теплотехнических показателей материалов наружных ограждений, следует устанавливать по **таблице 4**.

Таблица 4

### Условия эксплуатации ограждающих конструкций

Влажностный режим помещений зданий (по <b>таблице 3</b> )	Условия эксплуатации А и Б в зоне влажности		
	сухой	нормальной	влажной
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б

Для удобства дальнейших тепловых расчетов все исходные и выбранные из [9] теплофизические характеристики рекомендуется свести в **таблицу 5**.

Таблица 5

### Исходные данные и теплофизические характеристики материалов конструкции наружного ограждения

Город	Номера слоя	Материал слоя	Характеристики материала в сухом состоянии			Расчетные характеристики материала (при условиях эксплуатации А или Б)			
			плотность $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	удельная теплоемкость $c_0$ , кДж/(кг·°С)	теплопроводность $\lambda_0$ , Вт/(м·°С)	влажность $w$ , %	теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м·°С)	теплоусвоение $s$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	паропроницаемость $\mu$ , мг/(м·ч·Па)
	1								
	2								
	3								
	4								

В курсовой работе проверяется удовлетворение ограждающей конструкции следующим нормативным требованиям [9]:

- приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций здания;
- воздухопроницаемости ограждающих конструкций;
- теплоустойчивости ограждающих конструкций в теплый период года;

- ограничению минимальной температуры и недопущению конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающих конструкций в холодный период года;
- влажностному состоянию ограждающих конструкций.

## I. РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ОГРАЖДЕНИЯ

Ограждающие конструкции современных зданий характеризуются наличием конструктивных и утепляющих слоев, различного рода теплотехнических неоднородностей в виде плит перекрытий, связей, перегородок, оконных откосов, конструктивных элементов фасадных систем и т.п.

Часть ограждающей конструкции, которая не содержит теплотехнических неоднородностей, будем называть **гладью конструкции**. Гладь конструкции является однородной.

Для характеристики теплозащитных качеств неоднородных конструкций, к которым можно отнести большинство ограждающих конструкций современных зданий, используется понятие **приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции** [1, 5]. Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции считается основной теплозащитной характеристикой здания, и величина его регламентируется нормами [9].

**Теплозащитная оболочка здания** – это совокупность ограждающих конструкций, образующих замкнутый контур, ограничивающий отапливаемый объем здания.

### 1. Проверка нормативных требований

Теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше 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) и в).

В рамках данной курсовой работы проверяются выполнение требований а) и частично в). Комплексное требование не проверяется.

### 2. Расчет толщины утепляющего слоя

Мерой теплозащитных качеств ограждения здания является общее сопротивление теплопередаче  $R_o^{np}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , на величину которой можно влиять через толщины теплоизоляционного слоя  $\delta_{ym} = \delta_3$ , где индекс «*ym*» – утеплитель.

Архитектурно-строительные решения по ограждающим конструкциям проектируемого здания должны быть такими, чтобы  $R_o^{mp}$  было равным экономически целесообразному сопротивлению теплопередаче, определенному из условия снижения долгосрочных затрат на обеспечение микроклимата зданий, но не менее требуемого сопротивления теплопередаче по санитарно-гигиеническим условиям.

## Порядок расчета

### Поэлементные требования

1) Необходимо проверить выполнение условия:

$$R_o^{mp} \geq R_o^{norm} . \quad (1.1)$$

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

$$R_o^{norm} = R_o^{mp} \cdot m_p , \quad (1.2)$$

где  $R_o^{mp}$  – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода, ГСОП,  $\text{°C} \cdot \text{сут}/\text{год}$ , региона строительства и определять по таблице 6.

$m_p$  – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. В расчете по формуле (1.2) принимается равным 1.

Допускается снижение значения коэффициента  $m_p$  в случае, если при выполнении расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания выполняются требования к данной удельной характеристике [9]. Значения коэффициента  $m_p$  при этом должны быть не менее: 0,63 – для стен, 0,95 – для светопрозрачных конструкций, 0,8 – для остальных ограждающих конструкций.

Градусо-сутки отопительного периода,  $\text{°C} \cdot \text{сут}/\text{год}$ , следует определять по формуле:

$$ГСОП = (t_g - t_{om}) \cdot z_{от} , \quad (1.3)$$

где  $t_{от}$ ,  $z_{от}$  – средняя температура наружного воздуха,  $\text{°C}$ , и продолжительность,  $\text{сут}/\text{год}$ , отопительного периода, принимаемые по [10] для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более  $8 \text{ °C}$ , а при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых не более  $10 \text{ °C}$ ;

$t_b$  – расчетная температура внутреннего воздуха здания,  $\text{°C}$ , принимаемая при расчете ограждающих конструкций жилых и общественных зданий по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по [6], для производственных с сухим и нормальным режимами – по нормам проектирования соответствующих зданий.

Таблица 6

**Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций**

Здания и помещения, коэффициенты $a$ и $b$	Градусо- сутки отопи- тельного пери- ода, °С·сут/год	Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче $R_o^{mp}$ , (м <sup>2</sup> ·°С)/Вт, ограждающих конструкций				
		стен	покрытий и пере- крытий над про- ездами	перекрытий чердачных, над холодными подпольями и подвалами	окон и бал- конных две- рей	фонарей
1	2	3	4	5	6	7
1. Жилые, лечебно- профилактические и дет- ские учреждения, школы, интернаты	2000	2,1	3,2	2,8	0,35	0,25
	4000	2,8	4,2	3,7	0,40	0,30
	6000	3,5	5,2	4,6	0,45	0,35
	8000	4,2	6,2	5,5	0,50	0,40
	10000	4,9	7,2	6,4	0,55	0,45
	12000	5,6	8,2	7,3	0,60	0,50
$a$	-	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035
$b$	-	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
2. Общественные, кроме указанных выше, админи- стративные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым ре- жимом	2000	1,6	2,4	2,0	0,33	0,23
	4000	2,4	3,2	2,7	0,38	0,28
	6000	3,0	4,0	3,4	0,43	0,33
	8000	3,6	4,8	4,1	0,48	0,38
	10000	4,2	5,6	4,8	0,53	0,43
	12000	4,8	6,4	5,5	0,58	0,48
$a$	-	0,0003	0,0004	0,00035	0,00005	0,000025
$b$	-	1,2	1,6	1,3	0,2	0,25

**Примечания:**

Значения  $R_o^{mp}$  для величин ГСОП, отличающихся от табличных, следует определять:  $R_o^{mp} = a \cdot ГСОП + b$ .

В случаях реконструкции зданий, для которых по архитектурным или историческим причинам невозможно утепление стен снаружи, нормируемое значение сопротивления теплопередаче стен допускается определять исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий по формуле:

$$R_o^{норм} = \frac{(t_в - t_n)}{\Delta t^H \cdot \alpha_в}, \quad (1.4)$$

где  $t_в$  – то же, что в формуле (1.3);

$t_n$  – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °С, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [10];

$\Delta t^H$  – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха  $t_в$  и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции –  $t_в$ , °С, принимаемый по [9, таблица 5] или приложению 2;

$\alpha_в$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), [9, таблица 4] или приложение 3.

2) Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции,  $R_o^{np}$ , (м<sup>2</sup>·°С)/Вт, рассчитывается по методике [11, п.7] с помощью таблиц [11, приложение Г].

В рамках данной курсовой работы предполагается определение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции по формуле:

$$R_o^{np} = R_o \cdot r, \quad (1.5)$$

где  $r$  – коэффициент теплотехнической однородности ( $0 < r < 1$ ), вспомогательная величина, характеризующая эффективность утепления конструкции. Коэффициент теплотехнической однородности учитывает влияние стыков, откосов проемов, плит перекрытий, гибких связей и других теплопроводных включений. Для расчетов принимается по таблице 7.

Таблица 7

### Расчетные значения коэффициента теплотехнической неоднородности

Тип наружного ограждения (по заданию)	Коэффициент теплотехнической однородности, $r$
1. Трехслойная бетонная панель на гибких связях	0,7
2. Несущая стеновая конструкция с облицовкой из кирпичной кладки	0,6
3. Фасадные системы с тонким штукатурным слоем	0,8

3) Общее сопротивление теплопередаче однородной части (глади) ограждающей конструкции,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , определяется по формуле:

$$R_o = R_e + R_k + R_n = \frac{1}{\alpha_e} + R_k + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (1.6)$$

где  $R_e$  – сопротивление теплоотдачи от внутреннего воздуха (при  $t_e > \tau_e$ ) к внутренней поверхности ограждающей конструкции (или сопротивление тепловосприятию);

$R_k$  – термическое сопротивление однородной части (глади) ограждающей конструкции;

$R_n$  – сопротивление теплоотдачи от наружной поверхности ограждающей конструкции к наружному воздуху (при  $\tau_n > t_n$ );

$\alpha_e$  – то же, что в формуле (1.4);

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , [9, таблица 6] или приложение 4.

Здесь  $\tau_e$  и  $\tau_n$  – температура внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции.

Для многослойной конструкции  $R_k$  определяется по формуле:

$$R_k = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (1.7)$$

где  $R_i$  – термическое сопротивление слоя однородной части (глади) ограждения;

$\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя ограждающей конструкции, м;

$\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности материала  $i$ -го слоя ограждения,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ .

4) Определение толщины слоя утеплителя.

Приравнивая  $R_o^{np}$  к  $R_o^{норм}$  и используя формулы (1.6) и (1.5) получим выражение  $R_3$  для определения предварительной толщины слоя утеплителя  $\delta_{ym}$ :

$$R_3 = \frac{R_o^{норм}}{r} - \left( \frac{1}{\alpha_e} + R_1 + R_2 + R_4 + \frac{1}{\alpha_n} \right), \quad (1.8)$$

$$\delta_{ym} = \delta_3 = \lambda_3 \cdot R_3. \quad (1.9)$$

Вычисленное значение  $\delta_3$  должно быть скорректировано в соответствии с требованиями унификации конструкции ограждений, поэтому за  $\delta_3$  принимают ближайшее большее стандартное значение.

5) По формуле (1.6) рассчитывается общее фактическое сопротивление теплопередаче однородной части ограждающей конструкции:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^4 \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n}. \quad (1.10)$$

6) По формуле (1.5) рассчитывается приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции.

7) Проверяется условие (1.1).

## II. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЮ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

**Воздухопроницаемость ограждающей конструкции** – физическое явление, заключающееся в фильтрации воздуха в ограждающей конструкции, вызванной перепадом давления воздуха.

В целях экономии топливно-энергетических ресурсов наружные ограждающие конструкции должны иметь необходимое сопротивление воздухопроницанию.

Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций, за исключением заполнений световых проемов (окон, балконных дверей и фонарей), зданий и сооружений  $R_u$  должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию  $R_u^{mp}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$ , определяемого по формуле:

$$R_u^{mp} = \frac{\Delta p}{G_n}, \quad (2.1)$$

где  $G_n$  – нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , принимаемая по [9, таблица 9] или приложению 5;

$\Delta p$  – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па, определяемая в формуле:

$$\Delta p = 0,55H(\gamma_n - \gamma_e) + 0,03\gamma_n V^2 \quad (2.2)$$

где  $H$  – высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м. Высота одного этажа принимается равной 3 м.

$\gamma_n, \gamma_e$  – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха,  $\text{Н}/\text{м}^3$ , определяемый по формуле

$$\gamma = \frac{3463}{(273 + t)}, \quad (2.3)$$

где  $t$  – температура воздуха: внутреннего (для определения  $\gamma_e$ ) - то же, что в формуле (1.3); наружного (для определения  $\gamma_n$ ) - принимается равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 (то же, что в формуле (1.4));

$V$  – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более, принимаемая по [10].

Сопротивление воздухопроницанию  $R_u$  многослойной ограждающей конструкции следует рассчитывать как сумму сопротивлений воздухопроницанию отдельных слоев по формуле:

$$R_u = \sum_{i=1}^n R_{ui}, \quad (2.4)$$

где  $R_{ui}$  – сопротивления воздухопроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$ . Принимаются по [9, приложение С] или приложению 6.

В случае выполнения условия  $R_u \geq R_u^{mp}$  выбранная ограждающая конструкция удовлетворяет нормативным требованиям.

В случае  $R_u < R_u^{mp}$  необходимо предусмотреть меры по повышению сопротивления воздухопроницаемости ограждения. Для этого рекомендуется выбрать отдельные материалы и конструкции с бóльшим  $R_u$ , а также располагать у наружной поверхности более плотные слои ограждения. В качестве таких слоев целесообразно принимать цементно-песчаную штукатурку, керамическую плитку, естественный облицовочный камень и т.п.

### III. РАСЧЕТ СТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ОГРАЖДЕНИИ

При проектировании и выборе конструкций ограждения необходимо знать распределение температуры в его толще и на поверхности. Это дает возможность определить область промерзания ограждающей конструкции, условия конденсации влаги в толще конструкции, правильно назначить место расположения пароизоляционных слоев.

#### 1. Без учета фильтрации воздуха

При стационарном режиме теплопередачи через ограждения температура в любой плоскости  $x$  определяется по формуле:

$$t_x = t_g - (t_g - t_n) \frac{R_{g-x}}{R_o} \quad (3.1)$$

или

$$t_x = t_g - qR_{g-x},$$

где  $R_{g-x}$  – сопротивление теплопередаче от внутренней среды до сечения  $x$ ;

$R_o$  – общее сопротивление теплопередаче однородной части ограждающей конструкции. Определяется по формуле (1.10);

$q$  – удельный тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>. Определяется по формуле:

$$q = \frac{(t_g - t_n)}{R_o}. \quad (3.2)$$

Для построения графика одномерного стационарного поля в ограждении достаточно определить  $t$  на поверхностях ограждения и в плоскостях соприкосновения слоев из разного материала (рис. 2).

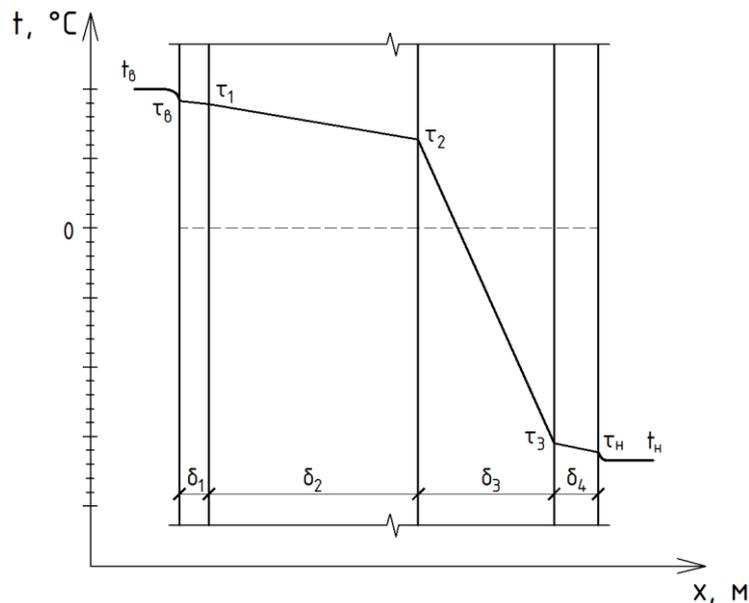


Рис. 2. Примерный график распределения  $t(x)$ .

Здесь  $t_в$ ,  $\tau_в$ ,  $\tau_н$ ,  $t_н$ , – соответственно температуры внутри помещения, на внутренней и наружной поверхностях конструкции, наружной окружающей среды

## 2. С учетом фильтрации воздуха

При наличии поперечной фильтрации воздуха в ограждающей конструкции (рис. 3) температура в рассчитываемом сечении определяется по формулам:

при инфильтрации

$$t_x^{инф} = t_в - (t_в - t_н) \frac{e^{A_x} - 1}{e^B - 1} \cdot \frac{e^B}{e^{A_x}} \quad (3.3)$$

при эксфильтрации

$$t_x^{эксф} = t_в - (t_в - t_н) \frac{e^{A_x} - 1}{e^B - 1}, \quad (3.4)$$

где  $A_x$ ,  $B$  – комплексы, равные

$$A_x = 0,279GR_{в-x}, \quad B = 0,279GR_о;$$

$e = 2,718$  – основание натурального логарифма;

$G$  – количество воздуха, проходящего через ограждение,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;

$R_{в-x}$  – то же, что в формуле (3.1).

Рассмотрим случай, когда ограждающая конструкция подвержена воздействию повышенного перепада давления, вызванного, например, высотой здания, кратковременными порывами ветра и др. В рамках данной курсовой работы разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции рассчитывается укрупненно, а  $G$  определяется по формуле:

$$G = \frac{\Delta P}{R_u} = \frac{k \Delta p}{R_u}, \quad (3.5)$$

где  $k$  – повышающий коэффициент, принимаемый по последней цифре шифра зачетной книжки согласно **таблице 8**.

Таблица 8

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Повышающий коэффициент $k$	2,5	5	7	9	10	8	6,5	5,5	4,5	3,5

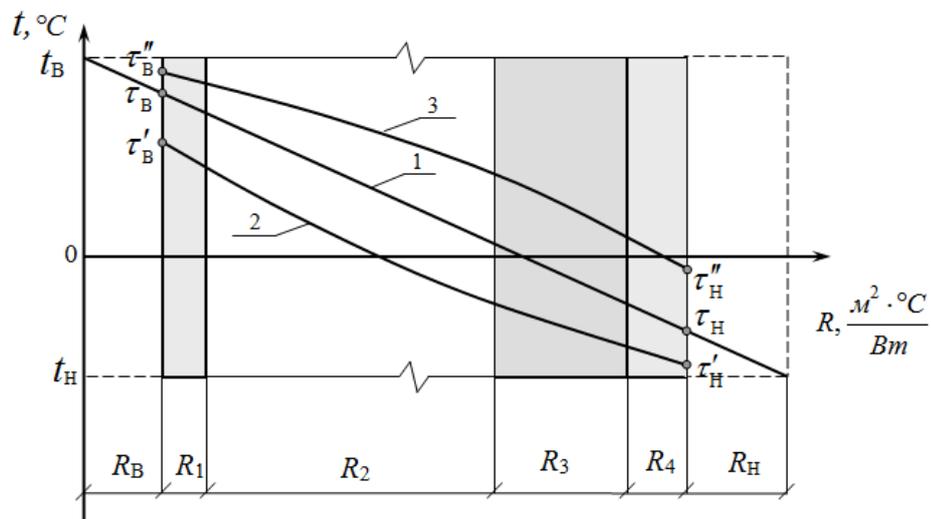


Рис. 3. Примерный график распределения  $t(R)$  в конструкции без учета (1) и с учетом воздухопроницания:

(2) – при инфильтрации и (3) – при эксфильтрации воздуха,

$$\left( R_g = \frac{1}{\alpha_g}, R_H = \frac{1}{\alpha_H}, R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, i = 1, 4 \right)$$

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

Проверка наружных ограждений на теплоустойчивость осуществляется в районах со среднемесячной температурой воздуха в июле 21°C и выше. Теплоустойчивость – это свойство ограждения сохранять относительное постоянство температуры на внутренней поверхности  $\tau_e$  при колебаниях внешних тепловых воздействий  $A_{тн}$  и обеспечивать комфортные условия в помещении. Фактическая амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций не должна превышать требуемую:

$$A_{\tau_e} \leq A_{\tau_e}^{mp} . \quad (4.1)$$

Требуемая амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций с учетом санитарно-гигиенических норм определяется по выражению:

$$A_{\tau_e}^{mp} = 2,5 - 0,1(t_n - 21), \quad (4.2)$$

где  $t_n$  – среднемесячная температура наружного воздуха за июль, °С, [10].

Фактическая амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждения определяется по формуле:

$$A_{\tau_e} = \frac{A_{t_n}^{расч}}{\nu}, \quad (4.3)$$

где  $A_{t_n}^{расч}$  – расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха, °С;

$\nu$  – величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции [5].

Расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха равна:

$$A_{t_n}^{расч} = 0,5A_{t_n} + \frac{P(I_{макс} - I_{ср})}{\alpha_n}, \quad (4.4)$$

где  $A_{t_n}$  – максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле, °С, [10, таблица 11];

$P$  – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции [9, приложение И];

$I_{макс}$ ,  $I_{ср}$  – соответственно максимальное и среднее значения суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), Вт/м<sup>2</sup>, принимаемые согласно [10] или по приложению 7 для наружных стен – как для вертикальных поверхностей западной ориентации и для покрытий – как для горизонтальной поверхности;

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции по летним условиям, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), определяемый по формуле:

$$\alpha_n = 5,8(1 + 2\sqrt{V}), \quad (4.5)$$

где  $V$  – минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которых составляет 16 % и более, принимаемая согласно [10], но не менее 1 м/с.

Величина  $A_{\tau_e}$  зависит от свойств материала, характеризуемых значениями  $D$ ,  $s$ ,  $R$ ,  $Y$ . Величину затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха  $v$  в ограждающей конструкции, состоящей из однородных слоев, следует определять по формуле:

$$v = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(s_1 + \alpha_e)(s_2 + Y_1)\dots(s_n + Y_{n-1})(\alpha_n + Y_n)}{(s_1 + Y_1)(s_2 + Y_2)\dots(s_n + Y_n)\alpha_n}, \quad (4.6)$$

где  $e = 2,718$  – основание натурального логарифма;

$D$  – тепловая инерция ограждающей конструкции, определяемая по формуле:

$$D = \sum_{i=1}^n D_i = \sum_{i=1}^n R_i s_i, \quad (4.7)$$

где  $R_i$  – термическое сопротивление отдельного  $i$ -го слоя ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ ;

$s_1, s_2, \dots, s_n$  – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ;

$\alpha_e$  – то же, что в формуле (1.4);

$\alpha_n$  – то же, что в формуле (4.4);

$Y_1, Y_2, \dots, Y_{n-1}, Y_n$  – коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Порядок нумерации слоев в формуле (4.6) принят в направлении от внутренней поверхности к наружной.

Для многослойной неоднородной ограждающей конструкции с теплопроводными включениями величину затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха  $v$  в ограждающей конструкции следует определять в соответствии с [6].

### Примечания

1. Расчетный коэффициент теплоусвоения воздушных прослоек принимается равным 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  $D \geq 4$ , расчет на теплоустойчивость не требуется.

Для определения коэффициентов теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции следует предварительно вычислить тепловую инерцию  $D_i$  каждого слоя.

Коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя  $Y$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), с тепловой инерцией  $D \geq 1$  следует принимать равным расчетному коэффициенту теплоусвоения  $s$  материала этого слоя конструкции.

Коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя  $Y$  с тепловой инерцией  $D < 1$  следует определять расчетом, начиная с первого слоя (считая от внутренней поверхности ограждающей конструкции) следующим образом:

а) для первого слоя – по формуле:

$$Y_1 = \frac{R_1 s_1^2 + \alpha_e}{1 + R_1 \alpha_e}; \quad (4.8)$$

б) для  $i$ -го слоя – по формуле:

$$Y_i = \frac{R_i s_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_i Y_{i-1}}. \quad (4.9)$$

Если условие (4.1) не выполняется, то ограждающая конструкция является нетеплоустойчивой. В этом случае необходимо принять для наружных слоев (ближе к наружному воздуху) материал с большим коэффициентом теплоусвоения  $s$ .

Если, по заданию к курсовой работе, среднемесячная температура наружного воздуха за июль меньше 21°С, то необходимо сделать соответствующий вывод, а расчет теплоустойчивости ограждающей конструкции произвести при температуре, указанной в **таблице 9**.

Таблица 9

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_n$	25	26	27	28	29	30	28	26	24	31

## V. РАСЧЕТ ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

### 1. Проверка внутренней поверхности наружных ограждений на возможность конденсации влаги

Конденсация влаги из внутреннего воздуха на внутренней поверхности наружного ограждения, особенно при резких повышениях температур, является основной причиной увлажнения наружных ограждений. Для устранения такой конденсации влаги необходимо добиваться, чтобы температура на внутренней поверхности  $t_{вн}$  и в толще ограждения превышала температуру точки росы  $t_p$  на  $2 \div 3$  °С, т.е. должно соблюдаться условие  $t_{вн} > t_p + (2 \div 3)^\circ\text{С}$ .

#### Расчет

1) Определяется температура внутренней поверхности  $t_{вн}$  (см. раздел III.1):

$$t_{вн} = t_в - (t_в - t_н) \frac{R_в}{R_о} \quad (5.1)$$

2) Температура точки росы  $t_p$  для данного состояния внутреннего воздуха  $t_в$  определяется по **приложению 8** или формуле [5]:

$$t_p = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot e_в)^2, \quad (5.2)$$

где  $e_в$  – действительная упругость (парциальное давление) водяных паров, Па, определяется по величине относительной влажности воздуха в помещении по формуле:

$$e_в = \frac{\varphi_в \cdot E_в}{100}, \quad (5.3)$$

где  $\varphi_в$  – относительная влажность воздуха в помещении, %, для жилых помещений принимается 55 %;

$E_в$  – максимальная упругость (давление насыщения) водяного пара, принимаемая по формуле (5.9) соответственно температуре воздуха внутри помещения, Па.

3) Температура внутренней поверхности ограждающей конструкции в зоне теплопроводных включений,  $t_{вкл}$ , определяется по результатам расчета температурных полей с помощью специализированного программного обеспечения.

4) Выполняется сравнение  $t_{вн}$  и  $t_{вкл}$  с  $t_p$ .

Если окажется, что  $t_{вн} > t_p$  и  $t_{вкл} > t_p$ , то конденсации на внутренней поверхности ограждения не будет. Если же  $t_{вн} < t_p$  или  $t_{вкл} < t_p$ , то возможно выпадение конденсата. В этом случае помимо увеличения общего сопротивления теплопередаче однородной части (глади) ограждающей конструкции  $R_о$  должна быть предусмотрена вентиляция помещения для снижения влажности воздуха, а также обогрев этих поверхностей.

## 2. Защита от переувлажнения ограждающих конструкций

При разности парциальных давлений водяных паров внутреннего и наружного воздуха в толще ограждения возникает поток водяного пара (диффузия), который направлен в сторону меньшего давления. Свойства материалов пропускать водяные пары называется паропроницаемостью.

2.1. Защита от переувлажнения ограждающих конструкций должна обеспечиваться путем проектирования ограждающих конструкций с сопротивлением паропроницанию внутренних слоев не менее требуемого значения, определяемого расчетом одномерного влагопереноса (осуществляемому по механизму паропроницаемости).

Сопротивление паропроницанию  $R_n$ , (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг, ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения (ПМУ), определяемой в соответствии с 2.2) должно быть не менее наибольшего из следующих требуемых сопротивлений паропроницанию:

а) требуемого сопротивления паропроницанию  $R_{n1}^{mp}$ , (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации), определяемого по формуле:

$$R_{n1}^{тр} = \frac{(e_e - E) \cdot R_{nh}}{E - e_n}; \quad (5.4)$$

б) требуемого сопротивления паропроницанию  $R_{n2}^{mp}$  (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха), определяемого по формуле:

$$R_{n2}^{тр} = \frac{0,0024 \cdot z_o \cdot (e_e - E_o)}{\rho_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{cp} + \eta}, \quad (5.5)$$

где  $e_e$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетных температуре и относительной влажности воздуха в помещении, определяемое по формуле (5.3);

где  $E_e$  – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре внутреннего воздуха помещения  $t_e$ , определяемое в соответствии с 2.3;

$\varphi_e$  – относительная влажность внутреннего воздуха, %;

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

$$E = \frac{E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3}{12}, \quad (5.6)$$

где  $E_1, E_2, E_3$  – парциальные давления насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, Па, определяемые согласно 2.3, по температуре

в плоскости максимального увлажнения (определяется согласно 2.5), при средней температуре наружного воздуха соответствующего периода;

$z_1, z_2, z_3$  – продолжительность зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, мес, определяемая по [10] с учетом следующих условий:

а) к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус 5 °С;

б) к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус 5 до 5 °С;

в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами воздуха выше плюс 5 °С;

### Примечание

При определении парциального давления  $E_3$  для летнего периода температуру в плоскости максимального увлажнения во всех случаях следует принимать не ниже средней температуры наружного воздуха летнего периода, парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха  $e_e$  – не ниже среднего парциального давления водяного пара наружного воздуха за этот период.

$R_{н.н}$  – сопротивление паропрооницанию, (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью максимального увлажнения, определяемое по 2.4;

$e_n$  – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период, Па, определяемое по [10];

$z_0$  – продолжительность периода влагонакопления, сут, принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха по [10];

$E_0$  – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, Па, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода влагонакопления  $z_0$  согласно 2.3 и 2.5;

$\rho_w$  – плотность материала увлажняемого слоя, кг/м<sup>3</sup>;

$\delta_w$  – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м, принимаемая равной 2/3 толщины однородной (однослойной) стены или толщине слоя многослойной ограждающей конструкции, в котором располагается плоскость максимального увлажнения;

$\Delta w$  – предельно допустимое приращение влажности в материале увлажняемого слоя, % по массе, за период влагонакопления  $z_0$ , принимаемое по [9, таблица 10].

В случае, когда плоскость максимального увлажнения приходится на стык между двумя слоями,  $\rho_w \delta_w \Delta w$  в формуле (5.5) принимается равной сумме  $\rho_{w1} \delta_{w1} \Delta w_1 + \rho_{w2} \delta_{w2} \Delta w_2$ , где  $\delta_{w1}$  и  $\delta_{w2}$  соответствуют половинам толщин стыкующихся слоев.

$\eta$  – коэффициент, определяемый по формуле:

$$\eta = \frac{0,0024(E_0 - e_{н.отп})z_0}{R_{н.н}}, \quad (5.7)$$

где  $e_{н.отр}$  – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, Па, определяемое по [10].

2.2. Плоскость максимального увлажнения определяется для периода с отрицательными среднемесячными температурами следующим образом:

2.2.1. Для каждого слоя многослойной конструкции по формуле (5.8) вычисляется значение комплекса  $f_i(t_{м.у})$ , характеризующего температуру в плоскости максимального увлажнения:

$$f_i(t_{м.у}) = 5330 \frac{R_{о.н}(t_{в} - t_{н.отр})}{R_{о}^{усл}(e_{в} - e_{н.отр})} \cdot \frac{\mu_i}{\lambda_i}, \quad (5.8)$$

где  $R_{о.н}$  – общее сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции,  $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ , определяемое согласно 2.4;

$R_{о}$  – условное сопротивление теплопередаче однородной многослойной ограждающей конструкции,  $(м^2 \cdot ^\circ C) / Вт$ , определяемое по формулам (1.6), (1.7);

$t_{н.отр}$  – средняя температура наружного воздуха для периода с отрицательными среднемесячными температурами,  $^\circ C$ ;

$e_{в}$  – то же, что и в формуле (5.4);

$e_{н.отр}$  – то же что и в формуле (5.7);

$\lambda_i, \mu_i$  – расчетные коэффициенты теплопроводности,  $Вт / (м^2 \cdot ^\circ C)$ , и паропроницаемости,  $мг / (м \cdot ч \cdot Па)$ , материала соответствующего слоя.

2.2.2. По полученным значениям комплекса  $f_i(t_{м.у})$  по [9, таблица 11] определяются значения температур в плоскости максимального увлажнения,  $t_{м.у}$ , для каждого слоя многослойной конструкции.

2.2.3. Определяются температуры на границах слоя, полученные расчетом по 2.5 (при средней температуре наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами).

2.2.4. Составляется таблица 10, содержащая номер слоя, значения комплекса  $f_i(t_{м.у})$  и  $t_{м.у}$  для этого слоя, температуры на границах слоя. Таблица должна иметь следующий вид:

Таблица 10

### Определение плоскости максимального увлажнения

Номер слоя	$f_i(t_{м.у})$	$t_{м.у}$	$t_x$	Наличие ПМУ
1				
2				
3				
4				

2.2.5. Для определения слоя, в котором находится плоскость максимального увлажнения, производится сравнение полученных значений  $t_{м.у}$  с температурами на границах слоев конструкции. Если температура  $t_{м.у}$  в каком-то из слоев расположена в интервале температур на границах этого слоя, то делается вывод о наличии в данном слое плоскости максимального увлажнения и определяется координата плоскости –  $x_{м.у}$  (в предположении линейного распределения температуры внутри слоя).

2.2.6. Если в каждом из двух соседних слоев конструкции отсутствует плоскость с температурой  $t_{м.у}$ , при этом у более холодного слоя  $t_{м.у}$  выше его температуры, а у более теплого слоя  $t_{м.у}$  ниже его температуры, то плоскость максимального увлажнения находится на границе этих слоев.

Если внутри конструкции плоскость максимального увлажнения отсутствует, то она расположена на наружной поверхности конструкции.

Если при расчете обнаружилось две плоскости с  $t_{м.у}$  в конструкции, то за плоскость максимального увлажнения принимается плоскость расположенная в слое утеплителя.

Для многослойных ограждающих конструкций с выраженным теплоизоляционным слоем (термическое сопротивление теплоизоляционного слоя больше  $2/3R_o$ ) и наружным защитным слоем, коэффициент паропроницаемости материала которого меньше, чем у материала теплоизоляционного слоя, допускается принимать плоскость максимального увлажнения на наружной границе утеплителя при условии выполнения неравенства:

$$\frac{\mu_{ym}}{\lambda_{ym}} > 2,$$

где  $\lambda_{ym}$ ,  $\mu_{ym}$  – расчетные коэффициенты теплопроводности, Вт/(м·°С), и паропроницаемости, мг/м·ч·Па, материала теплоизоляционного слоя.

2.3. Парциальное давление насыщенного водяного пара  $E$ , Па, при температуре от минус 40 до плюс 45 °С, определяется по формуле:

$$E = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273+t}\right) \quad (5.9)$$

или по **приложению 8**.

2.4. Сопротивление паропроницанию  $R_{ni}$ , м<sup>2</sup>·ч·Па/мг, однослойной или отдельного слоя многослойной ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$R_{ni} = \frac{\delta_i}{\mu_i}, \quad (5.10)$$

где  $\delta_i$  – толщина слоя ограждающей конструкции, м;

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

Сопротивление паропроницанию  $R_{no}$ , (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг, многослойной ограждающей конструкции (или ее части) равно сумме сопротивлений паропроницанию составляющих ее слоев:

$$R_{no} = \sum R_{ni}. \quad (5.11)$$

Сопротивление паропроницанию  $R_{n,o}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/ $\text{мг}$ , листовых материалов и тонких слоев пароизоляции следует принимать по [9, приложение Н].

### Примечания

1) Сопротивление паропроницанию замкнутых воздушных прослоек в ограждающих конструкциях следует принимать равным нулю, независимо от расположения и толщины этих прослоек.

2) Для обеспечения требуемого сопротивления паропроницанию ограждающей конструкции следует определять сопротивление паропроницанию  $R_n$  конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения.

3) В помещениях с влажным или мокрым режимом следует предусматривать пароизоляцию теплоизолирующих уплотнителей сопряжений элементов ограждающих конструкций (мест примыкания заполнений проемов к стенам и т.п.) со стороны помещений; сопротивление паропроницанию в местах таких сопряжений проверяется из условия ограничения накопления влаги в сопряжениях за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха на основании расчетов температурного и влажностного полей.

2.5. Температуру  $t_x$ , °C, ограждающей конструкции в плоскости, отстоящей от внутренней поверхности на расстоянии  $x$ , м, следует определять по формуле (3.1), подставляя в качестве  $t_n$  соответствующую температуру наружного воздуха.

## 3. Расчет конденсации влаги в толще ограждения

Расчет влажностного режима ограждения при стационарных условиях диффузии водяного пара производится графическим методом для периодов с отрицательными и положительными температурами наружного воздуха.

Для выяснения вопроса, будет ли происходить в ограждении конденсация влаги или нет, необходимо построить линию падения упругости водяного пара  $e$  и линию падения максимальной упругости водяного пара  $E$  от сопротивления паропроницанию  $R_n$  (рис. 4).

Общее сопротивление паропроницанию ограждения  $R_{no}$  определяется по формуле (5.11).

$$R_{no} = R_{n\sigma} + \sum_{i=1}^n R_{ni} + R_{nn}. \quad (5.12)$$

Значение  $e_n$  принимается по [10, таблица 7.1] как среднее за соответствующий период года,  $e_\sigma$  – вычисляется по (5.3). Упругость водяного пара в любом сечении ограждения  $e_x$  находится по формуле:

$$e_x = e_\sigma - (e_\sigma - e_n) \frac{R_{n\sigma-x}}{R_{no}}, \quad (5.13)$$

где  $R_{n\sigma-x}$  – сумма сопротивлений паропроницанию слоев ограждения от внутренней поверхности до рассматриваемого сечения  $x$ .

Упругость водяного пара на внутренней  $e_{св}$  и наружной  $e_{сн}$  поверхностях ограждения можно принять равными  $e_e$  и  $e_n$  соответственно. Далее эти точки соединяются на графике  $e(R_n)$  прямой штриховой линией (рис. 4). Для графика  $e(x)$  строится ломаная линия, т.к. для каждого характерного сечения ограждающей конструкции находится свое значение  $e_i$ .

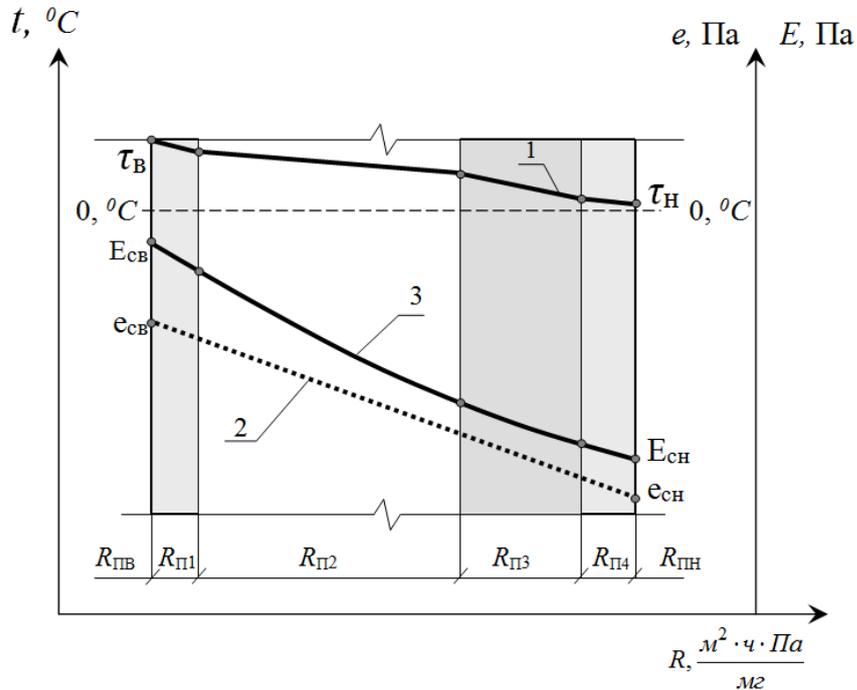


Рис. 4. Примерные графики  $\tau(x)$  – (1),  $e(R_n)$  – (2) и  $E(R_n)$  – (3) ограждающей конструкции при отсутствии выпадения конденсата

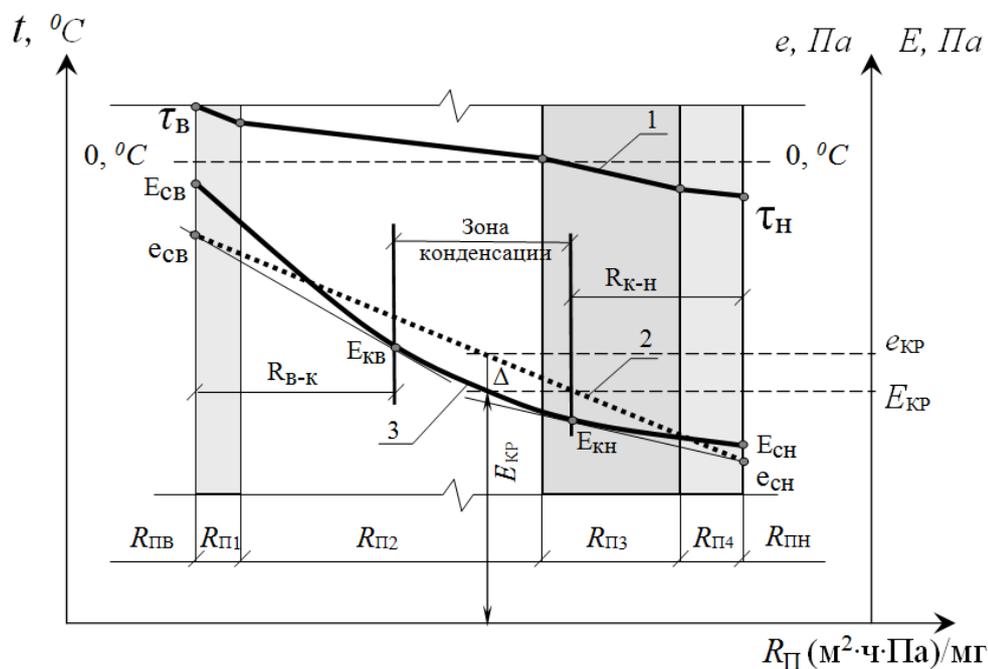


Рис. 5. Примерные графики изменения  $\tau(x)$  – (1),  $e(R_n)$  – (2) и  $E(R_n)$  – (3) ограждающей конструкции при выпадении конденсата,  $\Delta$  – максимальное отклонение значения  $e(R_n)$  и  $E(R_n)$  в зоне конденсации ( $\Delta = \max |e_{кр} - E_{кр}|$  определяет критическое сечение, по которому находят точки  $e_{кр}$  и  $E_{кр}$ )

Для построения линии падения максимальной упругости  $E(R_n)$  сначала вычисляют температуры на границах и промежутках слоев ограждения:

$$t_x = t_в - (t_в - t_n^{cp}) \frac{R_{в-x}}{R_0}, \quad (5.14)$$

где  $t_n^{cp}$  – наружная средняя температура воздуха за соответствующий период года, °С.

По вычисленным температурам по формуле (5.9) или приложению 7 определяются значения максимальной упругости водяного пара  $E(t_x)$  для каждого слоя ограждающей конструкции. Далее строится график  $E(R_n)$  или  $E(x)$ . Если прямая  $e_{св} - e_{сн}$  не пересекается с кривой  $E(R_n)$ , то конденсации влаги в ограждении не будет (рис. 4).

Если же они пересекаются (рис. 5), то возможна конденсация паров влаги внутри ограждающей конструкции. В этом случае из точек  $e_{св}$  и  $e_{сн}$  проводятся касательные к линии  $E$ . Точки касания  $E_{кв}$  и  $E_{кн}$  выделяют зону конденсации влаги в ограждении. Сопряженные точки  $e_{св} - E_{кв} - E_{кн} - e_{сн}$  представляют собой кривую действительного падения упругости водяного пара в ограждающей конструкции.

При наличии зоны конденсации необходимо определить количество влаги, конденсирующейся в ограждающей конструкции при стационарных условиях диффузии водяного пара. Удельное количество пара (массовый поток)  $j_{m1}$ , (мг/м<sup>2</sup>·ч), поступающего к зоне конденсации из помещения, вычисляется по формуле:

$$j_{m1} = \frac{|e_{св} - E_{кв}|}{\sum_{\kappa=1}^{\kappa} R_{нв-\kappa}}, \quad (5.15)$$

где  $\sum_{i=1}^{\kappa} R_{в-\kappa}$  – сумма сопротивлений паропроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции от внутренней поверхности до левой границы зоны конденсации.

Удельное количество пара, уходящего из зоны конденсации наружу  $j_{m2}$ , вычисляется по формуле:

$$j_{m2} = \frac{|E_{кн} - e_{сн}|}{\sum_{\kappa=1}^n R_{н\kappa-н}}, \quad (5.16)$$

где  $\sum_{\kappa=1}^n R_{\kappa-н}$  – сумма сопротивлений паропроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции от правой границы зоны конденсации до наружной поверхности.

Тогда удельное количество конденсирующейся влаги в ограждающей конструкции  $j_{\kappa}$  будет равно:

при  $E_{кн} > e_{сн}$

$$j_k = j_{m1} - j_{m2}, \quad (5.17)$$

при  $E_{кн} < e_{сн}$

$$j_k = j_{m1} + j_{m2}. \quad (5.18)$$

Рассмотренный метод расчета влажностного режима ограждения позволяет рассчитать также скорость просыхания (сушки) ограждения после прекращения в нем конденсации пара в период с положительными температурами наружного воздуха. Упругость водяного пара в этом случае принимается равной значению  $E_k$  при соответствующей средней температуре теплового периода года ( $t_n^{cp} > 0^\circ\text{C}$ ). Величины  $j_{m1}$  и  $j_{m2}$  для периода просыхания определяются по формулам (5.15) и (5.16) и означают соответственно удельное количество влаги, удаляемой в сторону помещения и по направлению к наружной поверхности, т. к.  $E_k > E_{кв} > e_{св} > e_v$  и  $E_k > E_{кн} > e_{сн} > e_n$ .

Таким образом, процесс просыхания будет идти в обоих направлениях, однако необходимо учесть, что в формуле (5.15)  $e_{св}$  и  $E_{кв}$  поменяются местами, а удельный массовый поток высыхания  $j_{выс}$  ограждающей конструкции будет равен сумме потоков  $j_{m1}$  и  $j_{m2}$ :

$$j_{выс} = j_{m1} + j_{m2}, \quad (5.19)$$

$$j_{m1} = \frac{|E_{кв} - e_{св}|}{\sum_{i=1}^k R_{нв-k}}, \quad (5.20)$$

$$j_{m2} = \frac{|E_{кн} - e_{сн}|}{\sum_{\kappa=1}^n R_{нк-n}}. \quad (5.21)$$

При  $e_v > E_k > e_n$  высыхание будет идти только по направлению к наружной поверхности ограждения и  $j_{выс} = j_{m2} - j_{m1}$ .

При  $e_v < E_k < e_n$  высыхание будет идти только по направлению к внутренней поверхности ограждения и  $j_{выс} = j_{m1} - j_{m2}$ .

Если  $0 \leq j_k / j_{выс} \leq 1$ , то годовой баланс влаги в ограждении будет нормальным, если же  $j_k / j_{выс} > 1$ , то в ограждении необходимо предусмотреть дополнительный пароизоляционный слой, устанавливаемый обычно с внутренней стороны ограждающей конструкции.

Соотношение удельных потоков  $j_k / j_{выс}$  фактически выражает соотношение удельных скоростей процессов сорбции и десорбции влаги (сушки) в ограждающей конструкции. Период конденсации влаги в ограждении вычисляется при температуре  $t_n^{cp} < 0^\circ\text{C}$ . Зная скорости и периоды конденсации и удаления влаги (при  $t_n^{cp} > 0^\circ\text{C}$ ), можно просчитать количество влаги, содержащейся в ограждающей конструкции, и требуемый период времени для ее удаления.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

### Теплотехнические показатели строительных материалов и изделий

Материал (номер соответствует прил.Т СП 50.13330.2012)	Характеристики материала в сухом состо- янии			Расчетные характеристики материала (при условиях эксплуатации конструкции А или Б)						
	плотность $\rho_o$ , кг/м <sup>3</sup>	удельная теплоемкость $c_o$ , кДж/(кг·°С)	теплопроводности $\lambda_o$ , Вт/(м·°С)	Влажность $w$ , %		теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м·°С)		тепло- усвоение $s$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)		паропроницаемость $\mu$ , мг/(м·ч·Па)
				А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Теплоизоляционные материалы</b>										
8. Плиты из пенополистирола	25 - 30	1,34	0,036	2	10	0,038	0,044	0,34	0,41	0,05
17. Пенополиуретан	80	1,47	0,041	2	5	0,042	0,05	0,62	0,70	0,05
27. Плиты минераловатные из каменного волокна	80 - 125	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,53	0,59	0,32
28. То же	40 - 60	0,84	0,035	2	5	0,041	0,044	0,37	0,41	0,35
31. Плиты из стеклянного штапельного волокна	75	0,84	0,04	2	5	0,042	0,047	0,46	0,52	0,5
32. То же	60	0,84	0,038	2	5	0,04	0,045	0,4	0,45	0,51
<b>Конструкционные и конструкционно-теплоизоляционные материалы</b>										
<i>Бетоны на искусственных пористых заполнителях</i>										
108. Керамзитобетон на ке- рамзитовом песке	1200	0,84	0,36	5	10	0,44	0,52	6,36	7,57	0,11
109. То же	1000	0,84	0,27	5	10	0,33	0,41	5,03	6,13	0,14
<i>Бетоны особо легкие на пористых заполнителях и ячеистые</i>										
156. Полистиролбетон на портландцементе	600	1,06	0,145	4	8	0,175	0,20	3,07	3,49	0,068
171. Газо- и пенобетон на це- ментном вяжущем	600	0,84	0,14	8	12	0,22	0,26	3,36	3,91	0,17
172. То же	400	0,84	0,11	8	12	0,14	0,15	2,19	2,42	0,23

продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Кирпичная кладка из сплошного кирпича</i>										
180. Глиняного обыкновенного на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,56	1	2	0,7	0,81	9,2	10,12	0,11
181. Глиняного обыкновенного на цементно-шлаковом растворе	1700	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,76	8,64	9,7	0,12
182. Глиняного обыкновенного на цементно-перлитовом растворе	1600	0,88	0,47	2	4	0,58	0,7	8,08	9,23	0,15
183. Силикатного на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,7	2	4	0,76	0,87	9,77	10,9	0,11
<i>Кирпичная кладка из пустотного кирпича</i>										
188. Керамического пустотного на цементно-песчаном растворе	1400	0,88	0,41	1	2	0,52	0,58	7,01	7,56	0,16
<b>Конструкционные материалы</b>										
201. Раствор цементно-песчаный	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,6	11,09	0,09
202. Раствор сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,7	0,87	8,95	10,42	0,098
203. Раствор известково-песчаный	1600	0,84	0,47	2	4	0,7	0,81	8,69	9,76	0,12

**Примечания:**

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  $\lambda$ ,  $\rho_0$ ,  $c_0$ ,  $w$  принимают по соответствующим графам настоящего приложения.
2. Характеристики материалов в сухом состоянии приведены при массовом отношении влаги в материале  $w$ , %, равном нулю.

**Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции**

Здания и помещения	Нормируемый температурный перепад $\Delta t^H$ , °С, для		
	наружных стен	покрытий и чердачных перекрытий	перекрытий над проездами, подвалами и подпольями
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	4,0	3,0	2,0
2. Общественные, кроме указанных в п.1, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	4,5	4,0	2,5
3. Производственные с сухим и нормальным режимами	$t_e - t_p^*$ , но не более 7	$0,8(t_e - t_p)$ , но не более 6	2,5
4. Производственные и другие помещения с влажным или мокрым режимами	$t_e - t_p$	$0,8(t_e - t_p)$	2,5
5. Производственные здания со значительными избытками явной теплоты (более 23 Вт/м <sup>3</sup> ) и расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха не более 50 %	12	12	2,5

$t_p^*$  – температура точки росы, °С, при расчетной температуре и относительной влажности внутреннего воздуха.

**Коэффициенты теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции**

Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи, $\alpha_в,$ 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

**Примечание**

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha_в$  внутренней поверхности ограждающих конструкций животноводческих и птицеводческих зданий следует принимать в соответствии с СП 106.13330.

**Коэффициенты теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции**

Наружная поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи для зимних условий, $\alpha_n$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1. Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне	23
2. Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом, перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-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 и техническими, подпольями, не вентилируемых наружным воздухом	6

### Нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций

Внутренняя поверхность ограждения	Поперечная воздухопроницаемость, $G_n$ , кг/(м <sup>2</sup> ·ч) не более
1. Наружные стены, перекрытия и покрытия жилых, общественных, административных и бытовых зданий и помещений	0,5
2. Наружные стены, перекрытия и покрытия производственных зданий и помещений	1,0
3. Стыки между панелями наружных стен: а) жилых зданий б) производственных зданий	0,5* 1,0*
4. Входные двери в квартиры	1,5
5. Входные двери в жилые, общественные и бытовые здания	7,0
6. Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений с деревянными переплетами; окна и фонари производственных зданий с кондиционированием воздуха	6,0
7. Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений с пластмассовыми или алюминиевыми переплетами	5,0
8. Окна, двери и ворота производственных зданий	8,0
9. Фонари производственных зданий	10,0
10. Окна и фонари производственных зданий с кондиционированием воздуха	6,0

\* в кг/(м·ч).

## Сопrotивление воздухопроницанию слоев конструкций

Материалы и конструкции	Толщина слоя, мм	Сопrotивление воздухопроницанию $R_{и}$ , (м <sup>2</sup> ·ч·Па)/кг
1	2	3
1. Бетон сплошной (без швов)	100	20000
2. Газосиликат сплошной (без швов)	140	21
3. Известняк-ракушечник	500	6
4. Картон строительный (без швов)	1,3	64
5. Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной в один кирпич и более	250 и более	18
6. Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе толщиной в полкирпича	120	1
7. Кладка кирпича керамического пустотного на цементно-песчаном растворе толщиной в полкирпича	-	2
8. Кладка из легкобетонных камней на цементно-песчаном растворе	400	13
9. Листы асбестоцементные с заделкой швов	6	200
10. Обои бумажные обычные	-	20
11. Обшивка из обрезных досок, соединенных впритык или вчетверть	20 - 25	0,1
12. Обшивка из обрезных досок, соединенных в шпунт	20 - 25	1,5
13. Обшивка из досок двойная с прокладкой между обшивками строительной бумаги	50	100
14. Обшивка из фибролита или из древесно-волокнистых бесцементных мягких плит с заделкой швов	15 - 70	2,5
15. Обшивка из фибролита или из древесно-волокнистых бесцементных мягких плит без заделки швов	15 - 70	0,5

## Продолжение приложения 6

1	2	3
16. Обшивка из жестких древесно-волоконистых листов с заделкой швов	10	3,3
17. Обшивка из гипсовой сухой штукатурки с заделкой швов	10	20
18. Пенобетон автоклавный (без швов)	100	2000
19. Пенобетон неавтоклавный (без швов)	100	200
20. Пенополистирол	50 - 100	80
21. Пеностекло сплошное (без швов)	120	Более 2000
22. Плиты минераловатные жесткие	50	2
23. Рубероид	1,5	Воздухонепроницаем
24. Голь	1,5	490
25. Фанера клееная (без швов)	3 - 4	2900
26. Шлакобетон сплошной (без швов)	100	14
27. Штукатурка		
цементно-песчаным раствором по каменной или кирпичной кладке	15	373
известковая по каменной или кирпичной кладке	15	142
известково-гипсовая по дереву (по драни)	20	17
28. Керамзитобетон плотностью		
1000 кг/м <sup>3</sup>	250 - 400	53 - 80
1100 - 1300 кг/м <sup>3</sup>	250 - 450	390 - 590

**Примечания**

1. Для кладки из кирпича и камней с расшивкой швов на наружной поверхности приведенное в настоящей таблице сопротивление воздухопроницанию следует увеличивать на 20 (м<sup>2</sup>·ч·Па)/кг.
2. Сопротивление воздухопроницанию воздушных прослоек и слоев ограждающих конструкций из сыпучих (шлака, керамзита, пемзы и т.п.), рыхлых и волокнистых (минеральной ваты, соломы, стружки и т.п.) материалов следует принимать равным нулю независимо от толщины слоя.
3. Для материалов и конструкций, не указанных в настоящей таблице, сопротивление воздухопроницанию следует определять экспериментально.

**Максимальные и средние значения суммарной солнечной радиации  
(прямая и рассеянная) при ясном небе в июле**

Градусы с.ш.	Ориентация поверхности	Суммарная солнечная радиация, Вт/м <sup>2</sup>	
		максимальная $I_{\max}$	средняя $I_{cp}$
36	Горизонтальная	1000	344
	Западная	712	162
38	Горизонтальная	942	334
	Западная	721	163
40	Горизонтальная	928	333
	Западная	740	169
42	Горизонтальная	915	334
	Западная	748	175
44	Горизонтальная	894	331
	Западная	756	180
46	Горизонтальная	880	329
	Западная	752	182
48	Горизонтальная	866	328
	Западная	764	184
50	Горизонтальная	859	328
	Западная	774	187
52	Горизонтальная	852	329
	Западная	781	194
54	Горизонтальная	838	329
	Западная	788	200
56	Горизонтальная	817	327
	Западная	786	201

**Значения парциального давления насыщенного водяного пара,  $E$ ,  
при нормальном барометрическом давлении**

а) для температур от 0 до минус 41 °С (над льдом)

$t, ^\circ\text{C}$	$E, \text{Па}$								
<b>0,0</b>	610	<b>-5,4</b>	388	<b>-10,6</b>	245	<b>-16,0</b>	151	<b>-23,0</b>	77
<b>-0,2</b>	601	<b>-5,6</b>	381	<b>-10,8</b>	240	<b>-16,2</b>	148	<b>-23,5</b>	73
<b>-0,4</b>	591	<b>-5,8</b>	376	<b>-11,0</b>	235	<b>-16,4</b>	145	<b>-24,0</b>	69
<b>-0,6</b>	581	<b>-6,0</b>	368	<b>-11,2</b>	232	<b>-16,6</b>	142	<b>-24,5</b>	65
<b>-0,8</b>	573	<b>-6,2</b>	363	<b>-11,4</b>	229	<b>-16,8</b>	140	<b>-25,0</b>	62
<b>-1,0</b>	562	<b>-6,4</b>	356	<b>-11,6</b>	225	<b>-17,0</b>	137	<b>-25,5</b>	59
<b>-1,2</b>	553	<b>-6,6</b>	351	<b>-11,8</b>	221	<b>-17,2</b>	135	<b>-26,0</b>	56
<b>-1,4</b>	544	<b>-6,8</b>	344	<b>-12,0</b>	217	<b>-17,4</b>	132	<b>-26,5</b>	54
<b>-1,6</b>	534	<b>-7,0</b>	340	<b>-12,2</b>	213	<b>-17,6</b>	130	<b>-27,0</b>	51
<b>-1,8</b>	526	<b>-7,2</b>	332	<b>-12,4</b>	209	<b>-17,8</b>	127	<b>-27,5</b>	49
<b>-2,0</b>	517	<b>-7,4</b>	327	<b>-12,6</b>	206	<b>-18,0</b>	125	<b>-28,0</b>	47
<b>-2,2</b>	509	<b>-7,6</b>	321	<b>-12,8</b>	203	<b>-18,2</b>	123	<b>-28,5</b>	44
<b>-2,4</b>	500	<b>-7,8</b>	315	<b>-13,0</b>	199	<b>-18,4</b>	120	<b>-29,0</b>	41
<b>-2,6</b>	492	<b>-8,0</b>	309	<b>-13,2</b>	195	<b>-18,6</b>	118	<b>-29,5</b>	39
<b>-2,8</b>	484	<b>-8,2</b>	304	<b>-13,4</b>	191	<b>-18,8</b>	115	<b>-29,8</b>	38
<b>-3,0</b>	476	<b>-8,4</b>	299	<b>-13,6</b>	187	<b>-19,0</b>	113	<b>-30,0</b>	37
<b>-3,2</b>	468	<b>-8,6</b>	293	<b>-13,8</b>	184	<b>-19,2</b>	111	<b>-31,0</b>	36
<b>-3,4</b>	460	<b>-8,8</b>	289	<b>-14,0</b>	181	<b>-19,4</b>	109	<b>-32,0</b>	30
<b>-3,6</b>	452	<b>-9,0</b>	284	<b>-14,2</b>	178	<b>-19,6</b>	107	<b>-33,0</b>	27
<b>-3,8</b>	444	<b>-9,2</b>	279	<b>-14,4</b>	175	<b>-19,8</b>	105	<b>-34,0</b>	25
<b>-4,0</b>	436	<b>-9,4</b>	273	<b>-14,6</b>	172	<b>-19,9</b>	104	<b>-35,0</b>	22
<b>-4,2</b>	428	<b>-9,6</b>	268	<b>-14,8</b>	169	<b>-20,0</b>	103	<b>-36,0</b>	20
<b>-4,4</b>	423	<b>-9,8</b>	264	<b>-15,0</b>	165	<b>-20,5</b>	98	<b>-37,0</b>	18
<b>-4,6</b>	415	<b>-9,9</b>	262	<b>-15,2</b>	162	<b>-21,0</b>	93	<b>-38,0</b>	16
<b>-4,8</b>	408	<b>-10,0</b>	260	<b>-15,4</b>	159	<b>-21,5</b>	89	<b>-39,0</b>	14
<b>-5,0</b>	401	<b>-10,2</b>	255	<b>-15,6</b>	156	<b>-22,0</b>	85	<b>-40,0</b>	12
<b>-5,2</b>	396	<b>-10,4</b>	251	<b>-15,8</b>	153	<b>-22,5</b>	81	<b>-41,0</b>	11

б) для температур от 0 до 50 °С (над водой)

Температура, <i>t</i> , °С	<i>E</i> , Па					
	Десятые доли градуса					
	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>
<b>0</b>	610	620	629	633	639	648
<b>1</b>	657	666	676	681	685	696
<b>2</b>	705	716	726	732	737	748
<b>3</b>	758	769	799	785	791	802
<b>4</b>	818	825	836	842	848	860
<b>5</b>	872	885	897	904	909	922
<b>6</b>	934	948	961	968	974	938
<b>7</b>	1001	1016	1029	1037	1044	1053
<b>8</b>	1073	1088	1102	1109	1117	1132
<b>9</b>	1148	1164	1181	1188	1196	1212
<b>10</b>	1228	1244	1261	1269	1278	1294
<b>11</b>	1312	1330	1348	1357	1365	1384
<b>12</b>	1402	1421	1440	1449	1458	1478
<b>13</b>	1497	1517	1537	1542	1557	1577
<b>14</b>	1585	1618	1640	1650	1661	1682
<b>15</b>	1705	1726	1749	1761	1772	1794
<b>16</b>	1817	1841	1865	1877	1889	1913
<b>17</b>	1937	1962	1986	2000	2011	2037
<b>18</b>	2063	2089	2115	2129	2142	2169
<b>19</b>	2197	2225	2251	2266	2281	2309
<b>20</b>	2338	2366	2395	2411	2426	2455
<b>21</b>	2486	2517	2547	2563	2579	2611
<b>22</b>	2643	2675	2709	2725	2742	2775
<b>23</b>	2809	2842	2877	2894	2913	2947
<b>24</b>	2983	3019	3055	3074	3093	3130
<b>25</b>	3167	3205	3243	3262	3282	3320

Температура, <i>t</i> , °С	<i>E</i> , Па					
	Десятые доли градуса					
	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>
<b>26</b>	3360	3400	3440	3460	3482	3527
<b>27</b>	3564	3607	3648	3671	3692	3735
<b>28</b>	3779	3823	3868	3890	3912	3959
<b>29</b>	4004	4051	4099	4122	4146	4086
<b>30</b>	4242	4291	4340	4366	4390	4440
<b>31</b>	4492	4543	4595	4622	4647	4700
<b>32</b>	4750	4810	4860	4890	4910	4970
<b>33</b>	5030	5090	5140	5170	5200	5260
<b>34</b>	5320	5380	5440	5470	5500	5560
<b>35</b>	5620	5680	5750	5780	5810	5880
<b>36</b>	5940	6010	6070	6110	6190	6210
<b>37</b>	6270	6340	6410	6450	6480	6550
<b>38</b>	6620	6700	6770	6800	6840	6920
<b>39</b>	6990	7070	7140	7180	7220	7300
<b>40</b>	7370	7450	7530	7570	7610	7690
<b>41</b>	7770	7860	7940	7980	8030	8110
<b>42</b>	8200	8280	8370	8410	8460	8550
<b>43</b>	8640	8730	8820	8850	8910	9010
<b>44</b>	9100	9190	9280	9340	9360	9480
<b>45</b>	9580	9680	9780	9830	9880	9980
<b>46</b>	10080	10190	10290	10340	10400	10500
<b>47</b>	10610	10720	10830	10880	10940	11050
<b>48</b>	11160	11270	11390	11450	11500	11620
<b>49</b>	11730	11850	11970	12303	12090	12210
<b>50</b>	12330					

## ЛИТЕРАТУРА

1. В.Н. Богословский. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) – 3-е изд. С-Пб.: Издательство «АВОК Северо-Запад», 2006. – 400 с., ил.
2. В.Н. Богословский. Тепловой режим здания. М.: Стройиздат, 1979. – 248 с., ил.
3. В.М. Ильинский. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий): Уч. пособие для инж.-строит. вузов. М.: Высш. школа, 1974. – 320 с., ил.
4. Ф.В. Ушков. Теплопередача ограждающих конструкций при фильтрации воздуха. М.: Стройиздат, 1969. – 144 с., ил.
5. К.Ф. Фокин. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: изд. АВОК-ПРЕСС, 2006. – 251 с.
6. ГОСТ 26253 «Здания и сооружения. Метод определения теплоустойчивости ограждающих конструкций».
7. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».
8. ГОСТ 31167-2009 «Здания и сооружения. Методы определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций в натуральных условиях».
9. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».
10. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».
11. СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей».
12. В. Блази. Справочник проектировщика. Строительная физика. (пер. с нем. под ред. и с доп. А.К. Соловьева). М.: Техносфера, 2005. – 480 с.

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению курсовой работы по теплотехническому расчету  
ограждающей конструкции

по дисциплине БЗ.В1 «Теплофизика зданий»  
для студентов направления подготовки 270800 «Строительство»  
профиля «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Составители: Садыков Ренат Ахатович  
Крайнов Дмитрий Владимирович  
Медведева Галина Александровна

Редактор: Рябенкова Г.А.

Редакционно-издательский отдел  
Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать

Заказ №

Тираж 100 экз.

Печать ризографическая

Бумага офсетная № I

Формат 60 x 84/16

Усл. печ. л. 1,875

Уч.-изд. л. 1,875

---

Издательство КГАСУ  
420043, Казань, Зелёная, 1.