

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

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

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**к выполнению курсовой работы по дисциплине
«Теплофизика зданий»**

для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство»,
профиль «Инженерные системы жизнеобеспечения в строительстве»

Казань
2020

УДК 697
ББК 38.762
С14

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

С14 Учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы по дисциплине «Теплофизика зданий» для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Инженерные системы жизнеобеспечения в строительстве» / Р.А. Садыков, Д.В. Крайнов, Г.А. Медведева. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2020. – 51 с.

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

В учебно-методическом пособии приведена методика выполнения курсовой работы по теплотехническому расчету ограждающей конструкции зданий.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов профиля «Инженерные системы жизнеобеспечения в строительстве» направления подготовки 08.03.01 «Строительство».

Табл.12, ил.8, библиогр. 16 наименов.

Рецензент

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой отопления и вентиляции МГСУ, зав. лабораторией строительной теплофизики НИИ строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук

В.Г. Гагарин

УДК 697
ББК 38.762

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2020
© Садыков Р.А., Крайнов Д.В., Медведева Г.А., 2020

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
ЗАДАНИЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ	4
1. РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ОГРАЖДЕНИЯ	10
1.1. Определение нормативных требований	10
1.2. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции	13
1.2.1. Выбор ограждающей конструкции.....	13
1.2.2. Типовая разбивка на элементы	13
1.2.3. Определение удельных геометрических показателей.....	13
1.2.4. Расчет толщины утепляющего слоя	14
1.2.5. Определение удельных потерь теплоты всех элементов	15
1.2.6. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче	16
1.3. Проверка нормативных требований.....	17
Вопросы для самопроверки.....	18
2. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЮ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ.....	19
Вопросы для самопроверки.....	20
3. РАСЧЕТ СТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ОГРАЖДЕНИИ	21
3.1. Расчет стационарного одномерного температурного поля	21
3.1.1. Расчет без учета фильтрации воздуха	21
3.1.2. Расчет с учетом фильтрации воздуха	22
3.2. Расчет стационарного двумерного температурного поля.....	23
Вопросы для самопроверки.....	23
4. РАСЧЕТ ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД.....	24
Вопросы для самопроверки.....	26
5. РАСЧЕТ ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ ..	27
5.1. Проверка внутренней поверхности наружных ограждений на возможность конденсации влаги	27
5.2. Защита от переувлажнения ограждающих конструкций.....	28
5.3. Расчет конденсации влаги в толще ограждения	33
Вопросы для самопроверки.....	36
ПРИЛОЖЕНИЯ	38
ЛИТЕРАТУРА	50

ВВЕДЕНИЕ

Строительная теплофизика рассматривает вопросы теплопередачи, воздухопроницаемости 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 [8-13].

Цель курсовой работы – закрепить и развить знания, полученные студентами при изучении теоретического курса и практических занятий, изучить требования, предъявляемые к ограждающим конструкциям зданий [8], получить навыки решения практических задач строительной теплофизики.

ЗАДАНИЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Выполнить следующие расчеты многослойного наружного ограждения для пятиэтажного жилого здания:

1. Расчет теплового режима
 - 1.1. Определение нормативных требований
 - 1.2. Расчет толщины утепляющего слоя
 - 1.3. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции
 - 1.4. Проверка нормативных требований.
2. Расчет воздухопроницаемости
3. Расчет стационарного температурного поля в ограждении
 - 3.1. Расчет одномерного стационарного температурного поля
 - 3.1.1. Расчет без учета фильтрации воздуха
 - 3.1.2. Расчет с учетом фильтрации воздуха.
 - 3.2. Расчет двумерного стационарного температурного поля
4. Расчет теплоустойчивости
5. Расчет влажностного режима
 - 5.1. Определение температуры точки росы
 - 5.2. Проверка внутренней поверхности наружных ограждений на возможность конденсации влаги в зоне теплопроводного включения
 - 5.3. Проверка нормативных требований по защите от переувлажнения ограждающих конструкций
 - 5.4. Расчет конденсации влаги в толще ограждения.

Варианты заданий приведены в таблице 1 «Район строительства», таблице 2 «Геометрические размеры фасада здания и оконных проемов», таблице 3 «Тип и материалы ограждающей конструкции». Район строительства принимается по двум последним цифрам шифра зачетной книжки, остальные данные – 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.

Конструктивная схема наружного ограждения представлена на рис. 1, схема фасада здания – на рис. 2, размеры оконных проемов – на рис. 3.

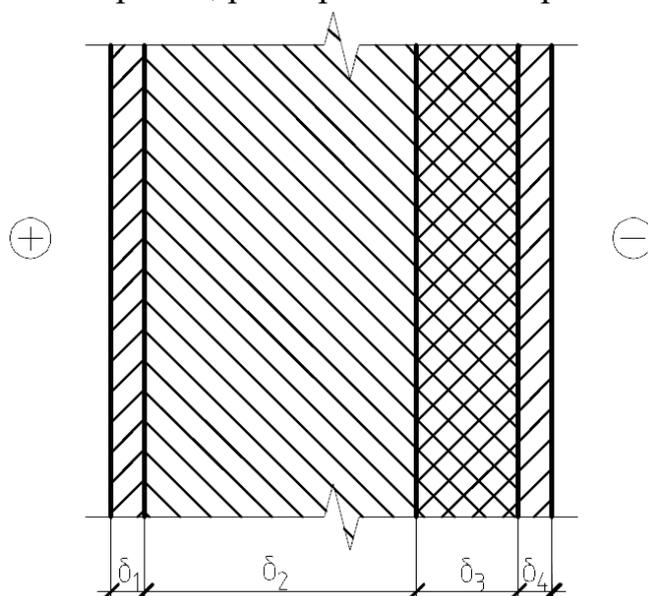


Рис. 1. Конструкция наружного ограждения

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

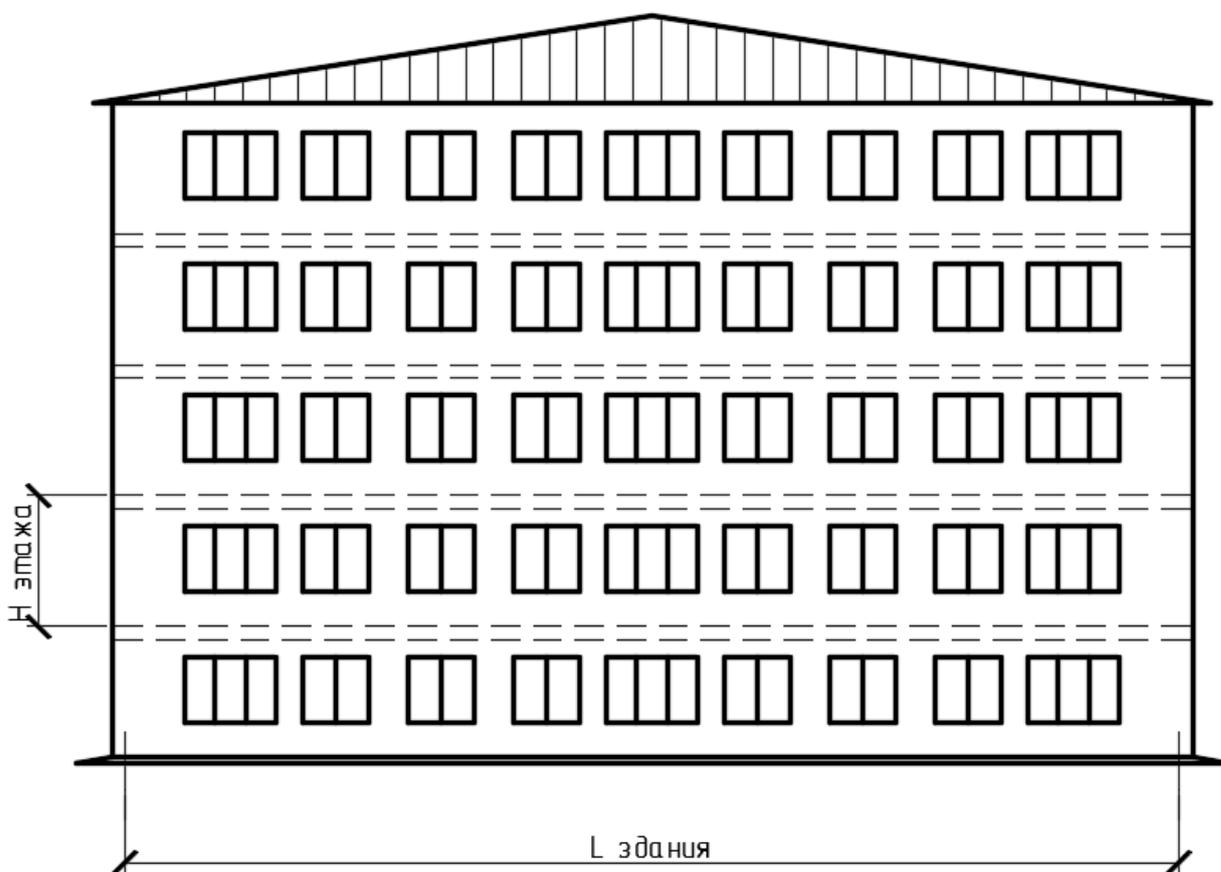


Рис. 2. Схема фасада здания

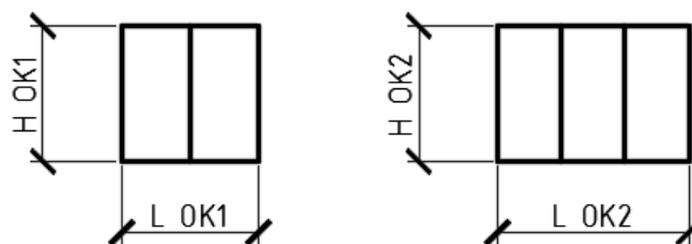


Рис. 3. Размеры оконных проемов

Таблица 2

Геометрические размеры фасада здания и оконных проемов

Последняя цифра шифра	Н этажа, мм	L здания, мм	ОК1		ОК2	
			L, мм	H, мм	L, мм	H, мм
0	2700	19200	900	1200	1800	1200
1	3000	20700	1000	1200	2100	1200
2	3300	21000	1200	1200	1800	1200
3	3000	22800	1350	1200	2100	1200
4	2700	21000	1200	1350	1800	1350
5	3000	22800	1350	1350	2100	1350
6	3300	22800	1500	1350	1800	1350
7	3000	21900	1200	1500	2100	1500
8	2700	21900	1350	1500	1800	1500
9	3000	23700	1500	1500	2100	1500

Таблица 3

Тип и материалы ограждающей конструкции

Последняя цифра шифра	Толщина слоя, м			Номер материала слоя				Тип наружного ограждения*
	δ_1	δ_2	δ_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 3, соответствует номеру материала по приложению 1 или [11, приложение Т]. В этом же приложении находятся теплотехнические показатели строительных материалов в сухом состоянии и их расчетные коэффициенты: влажности w , %; теплопроводности λ , Вт/(м·°С); теплоусвоения s , Вт/(м²·°С) и паропроницаемости μ , 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 [8, 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 [11, п.5.7].

Влажностный режим помещений зданий в холодный период года в зависимости от относительной влажности и температуры внутреннего воздуха следует устанавливать по таблице 4 или [11, таблица 1].

Зоны влажности района строительства следует принимать по карте [11, приложение В].

Таблица 4

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 5.

Таблица 5

Условия эксплуатации ограждающих конструкций

Влажностный режим помещений зданий	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 [11] теплофизические характеристики рекомендуется свести в таблицу 6.

Таблица 6

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 ρ_o , кг/м ³	удельная теплоемкость c_o , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_o , Вт/(м·°С)	влажность w , %	теплопроводность λ , Вт/(м·°С)	теплоусвоение s , Вт/(м ² ·°С)	паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
	1								
	2								
	3								
	4								

В курсовой работе проверяется удовлетворение ограждающей конструкции следующим нормативным требованиям [11]:

- 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.

1. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО 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, 7]. Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции считается основной теплозащитной характеристикой здания, и величина его регламентируется нормами [11].

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

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 проверяется выполнение требований а) и в). Комплексное требование не проверяется.

1.1. Определение нормативных требований

Требования к тепловой защите зданий устанавливаются в следующем порядке.

1) Принимаются средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность отопительного периода, сут/год, по СП 131.13330 [12] для жилых зданий, для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С, а при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых – не более 10 °С.

2) Принимается расчетная температура внутреннего воздуха здания по ГОСТ 30494 [9]: при расчете ограждающих конструкций жилых и общественных зданий по минимальным значениям оптимальной температуры со-

ответствующих зданий по [9], для производственных с сухим и нормальным режимами – по нормам проектирования соответствующих зданий.

3) Рассчитываются градусо-сутки отопительного периода по формуле:

$$ГСОП = (t_g - t_{om}) \cdot z_{om} , \quad (1.1)$$

где t_{om} , z_{om} – средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по [12];

t_g – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая по [9].

4) Находятся базовые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания, R_o^{mp} , (м²·°С)/Вт, по таблице 3 [11] или таблице 7.

5) Находится нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции $R_o^{норм}$, (м²·°С)/Вт, по формуле:

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

где R_o^{mp} – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, (м²·°С)/Вт, следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода, ГСОП, °С·сут/год, региона строительства и определять по [11, таблица 3] или таблице 7.

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 [11]. Значения коэффициента m_p при этом должны быть не менее: 0,63 – для стен, 0,8 – для остальных ограждающих конструкций (кроме светопрозрачных), 1,0 – для светопрозрачных конструкций.

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

$$R_o^{норм} = \frac{(t_g - t_n)}{\Delta t^H \cdot \alpha_g} , \quad (1.3)$$

где t_g – то же, что в формуле (1.1);

t_n – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °С, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [12];

Δt^H – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха t_b и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции – τ_g , °С, принимаемый по [11, таблица 5] или приложению 2;

α_g – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения, Вт/(м²·°С), [11, таблица 4] или приложение 3.

Таблица 7

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 ² ·°С)/Вт, ограждающих конструкций				
		стен	покрытый и пере- крытый над про- ездами	перекрытый 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	0,49	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,63	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,73	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,75	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,77	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
2. Общественные, кроме указанных выше, админи- стративные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым ре- жимом	2000	1,8	2,4	2,0	0,49	0,3
	4000	2,4	3,2	2,7	0,63	0,35
	6000	3,0	4,0	3,4	0,73	0,4
	8000	3,6	4,8	4,1	0,75	0,45
	10000	4,2	5,6	4,8	0,77	0,5
	12000	4,8	6,4	5,5	0,8	0,55
a	-	0,0003	0,0004	0,00035	-	0,000025
b	-	1,2	1,6	1,3	-	0,25

Примечания:

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

где: a , b - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы для соответствующих групп зданий, за исключением графы 6, для группы зданий в поз. 1 и 2.

1.2. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции

Рассматривают два основных случая расчета приведенного сопротивления теплопередаче:

- а) расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с известными характеристиками;
- б) подбор элементов проектируемой конструкции для достижения целевого сопротивления теплопередаче.

Поскольку по заданию толщина утепляющего слоя неизвестна, то в рамках курсовой работы рассматривается второй случай расчета приведенного сопротивления теплопередаче проектируемой конструкции.

Подбор элементов проектируемой ограждающей конструкции для достижения целевого сопротивления теплопередаче проводят в нижеприведенной последовательности.

1.2.1. Выбор ограждающей конструкции

Вид ограждающей конструкции, набор материалов и толщин слоев выбирают по заданию. Определяют условия эксплуатации ограждающей конструкции [11, п. 4.4] и расчетные коэффициенты материалов слоев [11, приложение Т] или приложение 1.

1.2.2. Типовая разбивка на элементы

Выбирают типовую разбивку на элементы, которую корректируют с учетом особенностей ограждающей конструкции. Для стен типовую разбивку следует принимать по [13, приложение А]. В рамках данной курсовой работы рассматриваются следующие элементы конструкции (рис.1):

плоский элемент

- стена по глади

линейные элементы

- сопряжение с плитой перекрытия
- стыки с оконными блоками

точечный элемент

- крепеж утеплителя (тарельчатый анкер).

1.2.3. Определение удельных геометрических показателей

Для каждого элемента находят абсолютный геометрический показатель.

Для приведения теплотерь всех элементов (плоских, линейных и точечных) к 1 м^2 площади фрагмента необходимо абсолютные геометрические характеристики фрагмента ограждения представить в виде удельных геометрических показателей, т.е. соотнесенных с площадью всего фрагмента. Расчет выполняется по формулам (1.9)–(1.11).

Удельный геометрический показатель точечного элемента (крепежа утеплителя) на практике изменяется в пределах от 5 до 12 шт/м^2 .

1.2.4. Расчет толщины утепляющего слоя

Для плоских элементов выбирают толщину утеплителя. Для этого нормируемое сопротивление теплопередаче конструкции умножают на повышающий коэффициент и подбирают конструкцию со значением:

$R_o^{усл} = 1,5R_o^{норм}$ – в том числе для несущей стеновой конструкции с облицовкой из кирпичной кладки;

$R_o^{усл} = 1,3R_o^{норм}$ – в случае, если про конструкцию известно, что она отличается высокой однородностью (в том числе для фасадных систем с тонким штукатурным слоем);

$R_o^{усл} = 1,8R_o^{норм}$ – в случае, если про конструкцию известно, что она отличается низкой однородностью.

Условное сопротивление теплопередаче однородной части (глади) ограждающей конструкции $R_o^{усл}$, (м²·°С)/Вт, определяется по формуле:

$$R_o^{усл} = R_g + R_k + R_n = \frac{1}{\alpha_g} + R_k + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (1.4)$$

где R_g – сопротивление теплоотдаче от внутреннего воздуха (при $t_g > \tau_g$) к внутренней поверхности ограждающей конструкции (или сопротивление тепловосприятию);

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

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

α_g – то же, что в формуле (1.3);

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения, Вт/(м²·°С), [11, таблица 6] или приложение 4.

Для многослойной конструкции R_k определяется по формуле:

$$R_k = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (1.5)$$

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

δ_i – толщина i -го слоя ограждающей конструкции, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности материала i -го слоя ограждения, Вт/(м·°С).

Используя формулу (1.4), получим выражение R_3 для определения предварительной толщины слоя утеплителя δ_{ym} :

$$R_3 = R_o^{усл} - \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_1 + R_2 + R_4 + \frac{1}{\alpha_n} \right), \quad (1.6)$$

$$\delta_{ym} = \delta_3 = \lambda_3 \cdot R_3. \quad (1.7)$$

Вычисленное значение δ_3 должно быть скорректировано в соответствии с требованиями унификации конструкции ограждений, поэтому за δ_3 принимают ближайшее большее стандартное значение.

1.2.5. Определение удельных потерь теплоты всех элементов

Для выбранной толщины утеплителя определяют удельные потери теплоты всех элементов ограждающей конструкции. Источниками получения удельных потерь теплоты служит расчет температурного поля или справочные материалы.

В курсовой работе необходимо использовать справочные материалы в виде таблиц [13, приложение Г]. Номера таблиц и дополнительные характеристики конструкции определяются по последней цифре шифра зачетной книжки согласно таблице 8.

Таблица 8

Неоднородности ограждающей конструкции

Последняя цифра шифра	Тип наружного ограждения*	Таблица в СП 230.1325800.2015		
		Лин.1 (плита)	Лин.2 (окно)	Точ.1 (дюбель)
0	1	Г.13 $d_n=160$	Г.32 $d_p=60$	Г.4 $L_1=0$
1	1	Г.13 $d_n=210$	Г.32 $d_p=60$	Г.4 $L_1=5$
2	2	Г.13 $d_n=160$	Г.32 $d_p=60$	Г.4 $L_1=0$
3	2	Г.13 $d_n=210$	Г.32 $d_p=60$	Г.4 $L_1=5$
4	2	Г.13 $d_n=160$	Г.32 $d_p=80$	Г.4 $L_1=10$
5	2	Г.13 $d_n=210$	Г.32 $d_p=80$	Г.4 $L_1=15$
6	2	Г.13 $d_n=160$	Г.32 $d_p=120$	Г.4 $L_1=20$
7	2	Г.13 $d_n=210$	Г.32 $d_p=120$	Г.4 $L_1=0$
8	3	Г.19 $d_n=160$	Г.33 $d_n=0$	Г.4 $L_1=15$
9	3	Г.19 $d_n=210$	Г.33 $d_n=20$	Г.4 $L_1=20$

* 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.

Справочными материалами для определения удельных потерь теплоты также могут служить данные технических свидетельств или альбомов типовых чертежей, другие официальные результаты расчетов.

1.2.6. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, R_o^{np} , ($\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, рассчитывается по методике [11, приложение Е] с использованием таблиц [13, приложение Г] или результатов расчета температурных полей в специализированном программном обеспечении [16]. Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания следует определять по формуле:

$$R_o^{np} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_i U_i + \sum_{j=1}^m l_j \Psi_j + \sum_{k=1}^r n_k \chi_k}, \quad (1.8)$$

где a_i – удельный геометрический показатель i -го плоского элемента, $\text{м}^2/\text{м}^2$. Равен отношению площади i -го элемента в исследуемой конструкции, A_i , м^2 , к общей площади конструкции, A , м^2 :

$$a_i = \frac{A_i}{A}; \quad (1.9)$$

l_j – удельный геометрический показатель j -го линейного элемента, $\text{м}/\text{м}^2$. Равен отношению суммарной протяженности j -го элемента, L_j , м , к общей площади конструкции, A , м^2 :

$$l_j = \frac{L_j}{A}; \quad (1.10)$$

n_k – удельный геометрический показатель k -го точечного элемента, $1/\text{м}^2$. Равен отношению суммарного количества k -ых элементов в исследуемой конструкции, N_k , к общей площади конструкции, A , м^2 :

$$n_k = \frac{N_k}{A}; \quad (1.11)$$

Ψ_j – удельные потери теплоты через линейную неоднородность j -го вида, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$;

χ_k – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -го вида, $\text{Вт}/\text{°C}$;

U_i – коэффициент теплопередачи однородной i -той части фрагмента теплозащитной оболочки здания (удельные потери теплоты через плоский элемент i -го вида), $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$. Определяется по формуле:

$$U_i = \frac{1}{R_{o,i}^{ysl}}, \quad (1.12)$$

где $R_{o,i}^{ysl}$ – условное сопротивление теплопередаче однородной части ограждающей конструкции, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, определяется по формуле (1.4).

Коэффициент теплотехнической однородности, r , характеризующий эффективность утепления конструкции ($0 \leq r \leq 1$), определяется по формуле:

$$r = \frac{R_o^{np}}{R_o^{ysl}}. \quad (1.13)$$

Результаты расчетов сводят в таблицу 9.

Таблица 9

Геометрические и теплозащитные характеристики элементов

Элемент конструкции		Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через элемент, %
Название элемента	Плоский	$a_1 = \text{м}^2/\text{м}^2$	$U_1 = \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	$U_1 a_1 = \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	
...	
Название элемента	Линейный	$l_1 = \text{м}/\text{м}^2$	$\Psi_1 = \text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	$\Psi_1 l_1 = \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	
...	
Название элемента	Точечный	$n_1 = 1/\text{м}^2$	$\chi_1 = \text{Вт}/^\circ\text{C}$	$\chi_1 n_1 = \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	
...	
Итого				$1/R^{\text{np}} = \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	100%

По таблице 9 и формуле (1.8) проводят расчет приведенного сопротивления теплопередаче.

1.3. Проверка нормативных требований

Поэлементные требования

По результатам расчета проводят проверку полученного значения приведенного сопротивления теплопередаче нормативному требованию. Должно выполняться условие:

$$R_o^{\text{np}} \geq R_o^{\text{норм}} . \quad (1.14)$$

Если условие не выполняется, корректируют конструктивное решение ограждающей конструкции. Корректировка может заключаться как в изменении толщины или типа утеплителя, так и в замене наиболее значимых теплозащитных элементов.

В случае изменения характеристик некоторых элементов ограждающей конструкции (особенно, толщины утеплителя) оценивают необходимость корректировки теплозащитных характеристик остальных элементов. При необходимости пересчитывают характеристики элементов с использованием таблиц [13, приложение Г].

Проводят окончательный расчет приведенного сопротивления теплопередаче. Для этого заново заполняют таблицу 9 и применяют формулу (1.8).

В случае значительных сложностей при подборе характеристик элементов для достижения необходимого значения приведенного сопротивления теплопередаче для расчета $R_o^{\text{норм}}$ используют понижающий коэффициент $m_p=0,63$ (для стен).

Санитарно-гигиеническое требование

Проверка санитарно-гигиенического требования выполняется в разделе 5.1 после определения минимальной температуры на внутренней поверхности ограждения (раздел 3 и) и расчета температуры точки росы (раздел 5.1).

Вопросы для самопроверки

1. Как определить условия эксплуатации ограждающей конструкции?
2. Что такое ГСОП? Формула для расчета. Единица измерения.
3. Какие требования предъявляются к тепловой защите зданий?
4. Последовательность проверки поэлементных требований к тепловой защите здания.
5. Что такое термическое сопротивление слоя, конструкции? Формула для расчета. Единица измерения.
6. Чем сопротивление теплопередаче отличается от термического сопротивления?
7. Что показывает коэффициент теплопроводности? Единица измерения.
8. Что такое коэффициент теплотехнической однородности? В каких пределах он изменяется?

2. 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 [11, таблица 9] или приложению 5;

Δp – 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.

γ_n, γ_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 γ_e) – то же, что в формуле (1.1); наружного (для определения γ_n) – принимается равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 (то же, что в формуле (1.3);

V – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более, принимаемая по [12].

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 [11, 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.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое инфильтрация/эксфильтрация?
2. Зачем необходимо учитывать фильтрацию воздуха через ограждение?
3. Как изменяется поперечная фильтрация воздуха при увеличении высоты здания?
4. Что такое воздухопроницаемость ограждающей конструкции? Единица измерения.
5. Какое требование должно выполняться при проверке ограждения на воздухопроницаемость?
6. Как найти сопротивление воздухопроницанию ограждающей конструкции? Единица измерения.

3. 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.

3.1. Расчет стационарного одномерного температурного поля

3.1.1. Расчет без учета фильтрации воздуха

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

$$t_x = t_{\text{в}} - (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \frac{R_{\text{в}-x}}{R_o} \quad (3.1)$$

или

$$t_x = t_{\text{в}} - qR_{\text{в}-x},$$

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

R_o – общее сопротивление теплопередаче однородной части ограждающей конструкции. Определяется по формуле (1.4);

q – удельный тепловой поток, Вт/м². Определяется по формуле:

$$q = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{R_o}. \quad (3.2)$$

Для построения графика одномерного стационарного поля в ограждении достаточно определить t на поверхностях ограждения и в плоскостях соприкосновения слоев из разного материала (рис. 4).

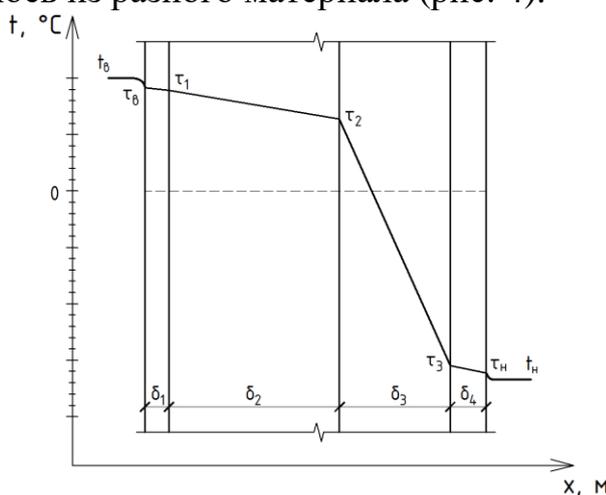


Рис. 4. Примерный график распределения $t(x)$. Здесь $t_{\text{в}}$, $\tau_{\text{в}}$, $\tau_{\text{н}}$, $t_{\text{н}}$ – соответственно, температуры внутри помещения, на внутренней и наружной поверхностях конструкции, наружной окружающей среды

3.1.2. Расчет с учетом фильтрации воздуха

При наличии поперечной фильтрации воздуха в ограждающей конструкции (рис. 5) температура в рассчитываемом сечении определяется по формулам:

при инфильтрации

$$t_x^{инф} = t_в - (t_в - t_н) \frac{e^{0,278c_в GR_{в-x}} - 1}{e^{0,278c_в GR_о} - 1} \cdot \frac{e^{0,278c_в GR_о}}{e^{0,278c_в GR_{в-x}}}, \quad (3.3)$$

при эксфильтрации

$$t_x^{эксф} = t_в - (t_в - t_н) \frac{e^{0,278c_в GR_{в-x}} - 1}{e^{0,278c_в GR_о} - 1}, \quad (3.4)$$

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

$0,278 = 1000/3600$ – переводной коэффициент;

$c_в$ – теплоемкость воздуха, 1 кДж/кг·°С;

G – количество воздуха, проходящего через ограждение, кг/(м²·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 10;

Δp – по формуле (2.2);

R_u – по формуле (2.4).

Таблица 10

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

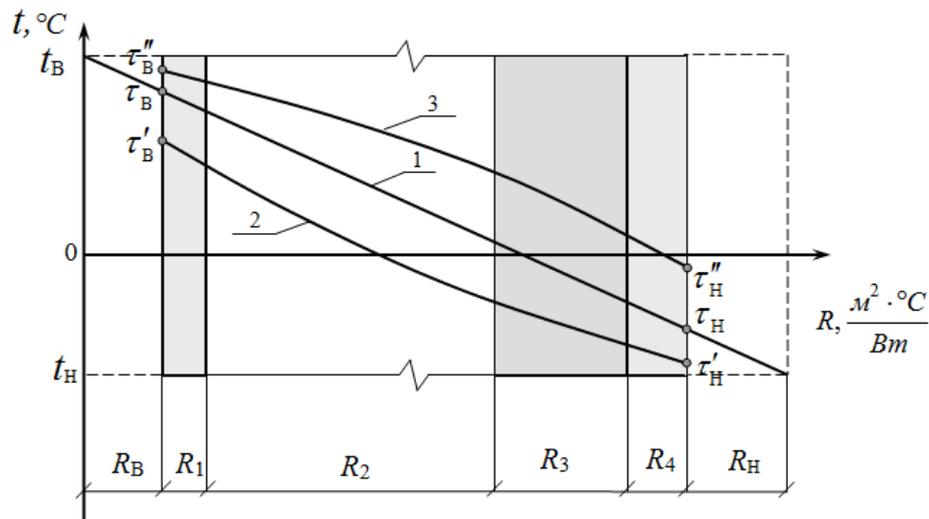


Рис. 5. Примерный график распределения $t(R)$ в конструкции без учета (1) и с учетом воздухопроницаемости:

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

$$\left(R_{\text{в}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}}, R_{\text{н}} = \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, i = 1, 4 \right).$$

3.2. Расчет стационарного двумерного температурного поля

Двумерное стационарное температурное поле неоднородного узла ограждающей конструкции рассчитывается с использованием специализированного программного обеспечения [16] в рамках лабораторных работ по данной дисциплине. Результатом выполнения лабораторной работы является определение минимальной температуры в зоне теплопроводного включения.

Результаты, полученные на лабораторной работе, должны быть включены в курсовую работу.

Вопросы для самопроверки

1. Как изменится температура на внутренней поверхности, если слой изоляции установить не снаружи, а изнутри?
2. Как по температурному полю определить теплоизоляционный слой?
3. Изменяется ли градиент температуры в пределах одного слоя?
4. Равны ли градиенты температуры для разных слоев многослойной ограждающей конструкции?
5. Изменяется ли удельный тепловой поток по толщине однослойной и многослойной ограждающей конструкции?
6. Как должен выглядеть график температуры по толщине стены в масштабе сопротивлений теплопередаче?
7. Как выглядит температурное поле при наличии инфильтрации и эксфильтрации?

4. 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.

Если по заданию к курсовой работе среднемесячная температура наружного воздуха за июль меньше 21°C, то необходимо сделать соответствующий вывод, а расчет теплоустойчивости ограждающей конструкции произвести при температуре, указанной в таблице 11.

Таблица 11

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

Теплоустойчивость – это свойство ограждения сохранять относительное постоянство температуры на внутренней поверхности $\tau_в$ 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:

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

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

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

где t_n – среднемесячная температура наружного воздуха за июль, °C, [12].

Фактическая амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждения определяется по формуле:

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

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

ν – величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции [7].

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, °C, [12, таблица 11];

P – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции [11, приложение И];

$I_{\text{макс}}, I_{\text{ср}}$ – соответственно, максимальное и среднее значения суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), Вт/м², принимаемые согласно [12] или по приложению 7 для наружных стен – как для вертикальных поверхностей западной ориентации и для покрытий – как для горизонтальной поверхности;

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции по летним условиям, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле:

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

где V – минимальная скорость ветра из средних скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которых составляет 16 % и более, принимаемая согласно [12], но не менее 1 м/с.

Величина A_{τ_6} зависит от свойств материала, характеризуемых значениями D, s, R, Y . Величину затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха ν в ограждающей конструкции, состоящей из однородных слоев, следует определять по формуле:

$$\nu = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(s_1 + \alpha_6)(s_2 + Y_1) \dots (s_n + Y_{n-1})(\alpha_n + Y_n)}{(s_1 + Y_1)(s_2 + Y_2) \dots (s_n + Y_n)\alpha_n}, \quad (4.6)$$

$$\nu = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(s_1 + \alpha_6)(\alpha_n + Y_n) \prod_{i=2}^n (s_i + Y_{i-1})}{\alpha_n \prod_{i=1}^n (s_i + Y_i)},$$

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, м²·°C/Вт;

s_1, s_2, \dots, s_n – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C);

α_6 – то же, что в формуле (1.3);

α_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, Вт/(м²·°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 коле-

баний температуры наружного воздуха v в ограждающей конструкции следует определять в соответствии с [8].

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/(м²·°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:

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

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 .

Вопросы для самопроверки

1. В каких случаях выполняется проверка на теплоустойчивость ограждающих конструкций?

2. Какое требование должно выполняться при проверке ограждения на теплоустойчивость?

3. Что показывает коэффициент теплоусвоения материала? Единица измерения.

4. Как определить тепловую инерцию ограждающей конструкции? Единица измерения.

5. Как выглядит схема колебания температуры в толще ограждения?

5. РАСЧЕТ ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

5.1. Проверка внутренней поверхности наружных ограждений на возможность конденсации влаги

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

Расчет

1) Определяется температура внутренней поверхности t_{en} для однородной конструкции (см. раздел 3.1.1):

$$t_{en} = t_e - (t_e - t_n) \frac{R_e}{R_o}. \quad (5.1)$$

2) Температура на внутренней поверхности ограждающей конструкции в зоне теплотехнической неоднородности $t_{en}^{неод}$ определяется по результатам расчета двумерного температурного поля с использованием специального программного обеспечения [16]. Расчет выполняется в рамках раздела 3.2.

3) Температура точки росы t_p для данного состояния внутреннего воздуха t_e определяется по формуле [7] или по приложению 8:

$$t_p = -\frac{5330}{\ln \frac{e_e}{1,84 \cdot 10^{11}}} - 273, \quad (5.2)$$

где e_e – парциальное давление (действительная упругость) водяных паров воздуха в помещении, Па. Определяется по формуле:

$$e_e = \frac{\varphi_e \cdot E_e}{100}, \quad (5.3)$$

где φ_e – относительная влажность воздуха в помещении, %, для жилых помещений принимается 55 %;

E_e – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре воздуха в помещении. В зависимости от точности может определяться по аппроксимационным формулам [4]. В частности, при температуре от минус 40 до плюс 45°С E находится по приложению 8 или формуле:

$$E = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273+t}\right). \quad (5.4)$$

Алгоритм определения температуры точки росы для случая $t_e=20$ °С и $\varphi_e=50$ % с использованием формул (5.2)–(5.4) представлен на рис. 6.

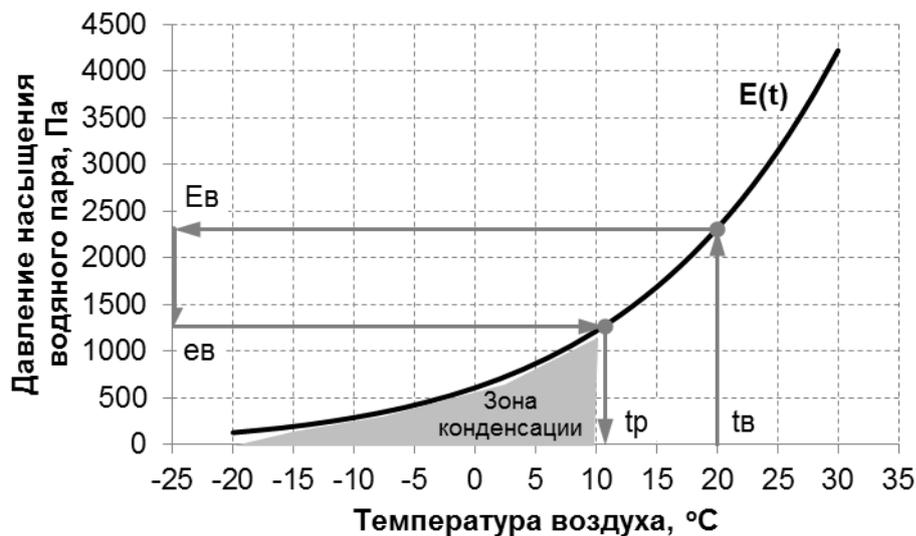


Рис. 6. Схема определения температуры точки росы

4) Выполняется проверка санитарно-гигиенического требования к ограждающей конструкции, для чего сравниваются t_{en} и $t_{en}^{неод}$ с t_p .

В случае, когда $t_{en} > t_p$ и $t_{en}^{неод} > t_p$, конденсации на внутренней поверхности ограждения не будет. Санитарно-гигиеническое требование выполняется.

Если же $t_{en} < t_p$ или $t_{en}^{неод} < t_p$, то возможно выпадение конденсата. В случае, когда $t_{en} < t_p$, необходимо увеличение общего сопротивления теплопередаче однородной части (глади) ограждающей конструкции R_o . При $t_{en}^{неод} < t_p$ как правило, требуется модернизация рассматриваемого конструктивного узла. Для снижения температуры точки росы должна быть предусмотрена вентиляция помещения с целью регулирования влажности внутреннего воздуха.

5.2. 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.

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

5.2.1. Сопротивление паропроницанию R_n , $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}$, ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения (ПМУ), определяемой в соответствии с п.5.2.2), должно быть не менее наибольшего из следующих требуемых сопротивлений паропроницанию:

а) требуемого сопротивления паропроницанию R_{n1}^{mp} , (м²·ч·Па)/мг (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации), определяемого по формуле:

$$R_{n1}^{тр} = \frac{(e_в - E) \cdot R_{nn}}{E - e_n}; \quad (5.5)$$

б) требуемого сопротивления паропроницанию R_{n2}^{mp} (м²·ч·Па)/мг (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха), определяемого по формуле:

$$R_{n2}^{тр} = \frac{0,0024 \cdot z_o \cdot (e_в - E_o)}{\rho_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{cp} + \eta}, \quad (5.6)$$

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

где $E_в$ – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре внутреннего воздуха помещения $t_в$, определяемое согласно п.5.2.3;

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

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

$$E = \frac{E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3}{12}, \quad (5.7)$$

где E_1, E_2, E_3 – парциальные давления насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения (определяется согласно 5.2.2), соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, Па, определяемые по формуле (5.4) или по приложению 8, при температуре в плоскости максимального увлажнения при средней температуре наружного воздуха соответствующего периода;

z_1, z_2, z_3 – продолжительность зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, мес, определяемая по [12] с учетом следующих условий:

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

б) к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус 5 до 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 $e_в$ – не ниже

среднего парциального давления водяного пара наружного воздуха за этот период.

$R_{n.n}$ – сопротивление паропрооницанию, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью максимального увлажнения;

e_n – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период, Па [12];

z_o – продолжительность периода влагонакопления, сут, принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха [12];

E_o – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, Па, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода влагонакопления z_o по формуле (5.4) или по приложению 8;

ρ_w – плотность материала увлажняемого слоя, $\text{кг}/\text{м}^3$;

δ_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;

Δw – предельно допустимое приращение влажности в материале увлажняемого слоя, % по массе, за период влагонакопления z_o , принимаемое по [11, таблица 10].

В случае, когда плоскость максимального увлажнения приходится на стык между двумя слоями, $\rho_w \delta_w \Delta w$ в формуле (5.6) принимается равной сумме $(\rho_{w1} \delta_{w1} \Delta w_1 + \rho_{w2} \delta_{w2} \Delta w_2)$, где δ_{w1} и δ_{w2} соответствуют половинам толщин стыкующихся слоев.

η – коэффициент, определяемый по формуле:

$$\eta = \frac{0,0024(E_o - e_{n.omp})z_o}{R_{n.n}}, \quad (5.8)$$

где $e_{n.omp}$ – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, Па [12].

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

Для каждого слоя многослойной конструкции по формуле (5.9) вычисляется значение комплекса $f_i(t_{m.y})$, характеризующего температуру в плоскости максимального увлажнения:

$$f_i(t_{m.y}) = 5330 \frac{R_{o.n}(t_{\theta} - t_{n.omp})}{R_o^{усл}(e_{\theta} - e_{n.omp})} \cdot \frac{\mu_i}{\lambda_i}, \quad (5.9)$$

где $R_{o.n}$ – общее сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, определяемое согласно п.5.2.3;

$R_o^{усл}$ – условное сопротивление теплопередаче однородной многослойной ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, определяемое по формуле (1.4);

$t_{н.отр}$ – средняя температура наружного воздуха для периода с отрицательными среднемесячными температурами, °С;

e_e – то же, что и в формуле (5.5);

$e_{н.отр}$ – то же что и в формуле (5.8);

λ_i, μ_i – расчетные коэффициенты теплопроводности, Вт/(м·°С) и паропроницаемости, мг/(м·ч·Па), материала соответствующего слоя.

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

Определяются температуры на границах слоев, t_x , полученные расчетом по формуле (3.1) при средней температуре наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами.

Составляется таблица 12, 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 12

Определение плоскости максимального увлажнения

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

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, делается вывод о наличии в данном слое плоскости максимального увлажнения и определяется координата плоскости – $x_{м.у}$ (в предположении линейного распределения температуры внутри слоя).

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 λ_{ym} , μ_{ym} – расчетные коэффициенты теплопроводности, Вт/(м·°С), и паропроницаемости, мг/м·ч·Па, материала теплоизоляционного слоя.

5.2.3. Сопротивление паропроницанию R_{ni} , м²·ч·Па/мг, однослойной или отдельного слоя многослойной ограждающей конструкции определяется по формуле:

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

где δ_i – толщина слоя ограждающей конструкции, м;

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

Сопротивление паропроницанию R_{no} , (м²·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_{no} , (м²·ч·Па)/мг, листовых материалов и тонких слоев пароизоляции следует принимать по [11, 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.

4) Температуру t_x , °С, 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.

5.3. 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 паропрооницанию R_n (рис. 7).

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

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

Значение e_n принимается по [12, таблица 7.1] как среднее за соответствующий период года, e_e – вычисляется по (5.3). Упругость водяного пара в любом сечении ограждения e_x находится по формуле:

$$e_x = e_e - (e_e - e_n) \frac{R_{ne-x}}{R_{no}}, \quad (5.13)$$

где R_{ne-x} – сумма сопротивлений паропрооницанию слоев ограждения от внутренней поверхности до рассматриваемого сечения x .

Упругость водяного пара на внутренней e_{ce} и наружной e_{cn} поверхностях ограждения можно принять равными e_e и e_n соответственно. Далее эти точки соединяются на графике $e(R_n)$ прямой штриховой линией (рис. 7). Для графика $e(x)$ строится ломаная линия, т.к. для каждого характерного сечения ограждающей конструкции находится свое значение e_i .

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

$$t_x = t_e - (t_e - t_n^{cp}) \frac{R_{e-x}}{R_o}, \quad (5.14)$$

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

По вычисленным температурам по формуле (5.4) 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 $e_{ce} - e_{cn}$ не пересекается с кривой $E(R_n)$, то конденсации влаги в ограждении не будет (рис. 7).

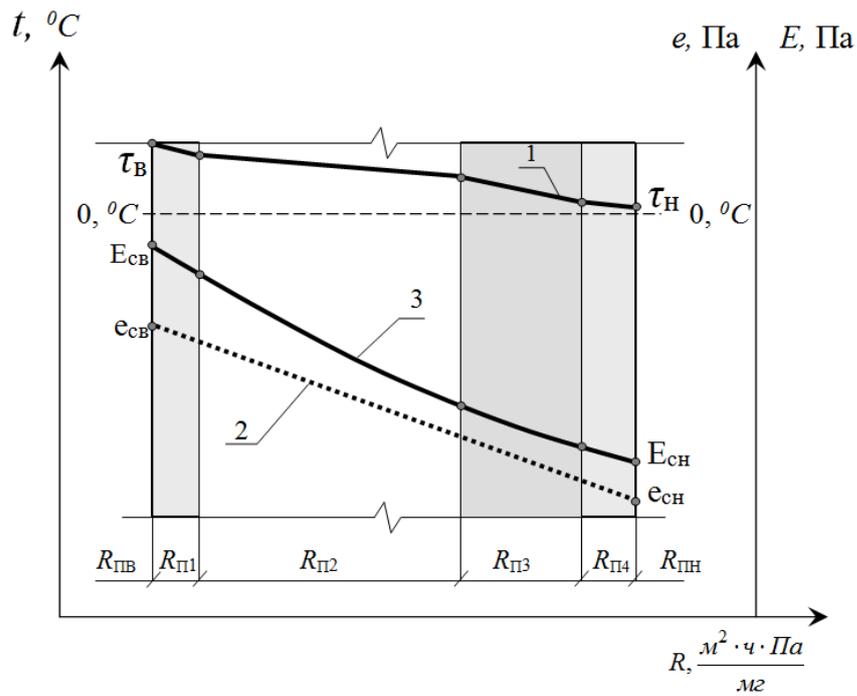


Рис. 7. Примерные графики $\tau(x)$ – (1), $e(R_n)$ – (2) и $E(R_n)$ – (3) ограждающей конструкции при отсутствии выпадения конденсата

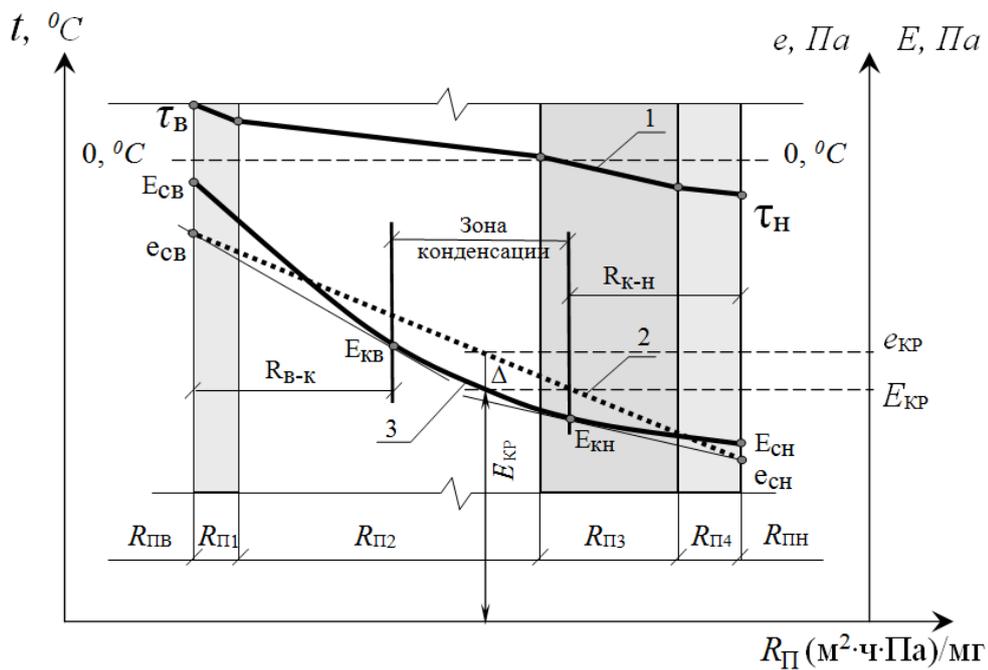


Рис. 8. Примерные графики изменения $\tau(x)$ – (1), $e(R_n)$ – (2) и $E(R_n)$ – (3) ограждающей конструкции при выпадении конденсата, Δ – максимальное отклонение значения $e(R_n)$ и $E(R_n)$ в зоне конденсации ($\Delta = \max|e_{кр} - E_{кр}|$) определяет критическое сечение, по которому находят точки $e_{кр}$ и $E_{кр}$).

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/м²·ч), поступающего к зоне конденсации из помещения, вычисляется по формуле:

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

где $\sum_{i=1}^{\kappa} R_{в-i}$ – 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:

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

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

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

$$\text{при } E_{кн} > e_{сн} \quad j_{к} = j_{m1} - j_{m2}, \quad (5.17)$$

$$\text{при } E_{кн} < e_{сн} \quad j_{к} = j_{m1} + j_{m2}. \quad (5.18)$$

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 $E_{к}$ при соответствующей средней температуре теплого периода года ($t_n^{cp} > 0^{\circ}\text{C}$). Величины j_{m1} и j_{m2} для периода просыхания определяются по формулам (5.15) – (5.16) и означают, соответственно, удельное количество влаги, удаляемой в сторону помещения и по направлению к наружной поверхности, т.к. $E_{к} > E_{кв} > e_{св} > e_{в}$ и $E_{к} > E_{кн} > e_{сн} > e_{н}$.

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} :

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

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

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

При $e_в > E_к > e_н$ высыхание будет идти только по направлению к наружной поверхности ограждения и $j_{выс} = j_{m2} - j_{m1}$.

При $e_в < E_к < e_н$ высыхание будет идти только по направлению к внутренней поверхности ограждения и $j_{выс} = j_{m1} - j_{m2}$.

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

Соотношение удельных потоков $j_к / j_{выс}$ 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.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое относительная влажность воздуха? Формула. Единица измерения.
2. Что такое температура точки росы? Как ее определить?
3. Как изменится относительная влажность при изменении температуры воздуха?
4. Как изменится температура точки росы при увеличении температуры воздуха при постоянной $\phi_в$?
5. Как изменится температура точки росы при понижении $\phi_в$ при постоянной температуре воздуха?
6. Что такое паропроницаемость?
7. Что показывает коэффициент паропроницаемости? Единица измерения.
8. Как найти сопротивление паропроницаемости? Единица измерения.

9. Какое требование должно выполняться для защиты ограждающих конструкций от переувлажнения?
10. Какие требуемые сопротивления паропроницаемости вам известны?
11. Последовательность расчета конденсации влаги в толще ограждения.
12. Как определить зону конденсации в ограждении?
13. Как определить количество конденсируемой влаги в ограждении за зимний период?
14. Как определить количество удаляемой влаги из ограждения за летний период?
15. Какое условие при расчете конденсации влаги в толще ограждения должно выполняться?
16. Каким образом можно уменьшить/исключить конденсацию влаги в ограждении?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Теплотехнические показатели строительных материалов и изделий

Материал (номер соответствует прил.Т СП 50.13330.2012)	Характеристики материала в сухом состоянии			Расчетные характеристики материала (при условиях эксплуатации конструкции А или Б)						
	плотность ρ_o , кг/м ³	удельная теплоемкость c_o , кДж/(кг·°С)	теплопроводности λ_o , Вт/(м·°С)	Влажность w , %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		тепло- усвоение s , Вт/(м ² ·°С)		паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
				А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Теплоизоляционные материалы										
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
Конструкционные и конструкционно-теплоизоляционные материалы										
<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

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
Конструкционные материалы										
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 λ , ρ_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 Δt^H , °С, для		
	наружных стен	покрытий и чердачных перекрытий	перекрытий над проездами, под- валами и подпо- льями
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 ³) 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 ² ·°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, $\alpha_{н},$ Вт/(м ² ·°С)
1. Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной зоне	23
2. Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом, перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной 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 ² ·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_u , (м ² ·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 в четверть	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

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 ³	250 - 400	53 - 80
1100 - 1300 кг/м ³	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 (м²·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 ²	
		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°C

$t, ^\circ\text{C}$	$E, \text{Па}$								
0,0	611	-5,4	412	-10,6	277	-16	181	-23	101
-0,2	602	-5,6	406	-10,8	273	-16,2	178	-23,5	97
-0,4	593	-5,8	400	-11	269	-16,4	175	-24	93
-0,6	585	-6	394	-11,2	265	-16,6	172	-24,5	89
-0,8	577	-6,2	388	-11,4	261	-16,8	170	-25	85
-1,0	568	-6,4	382	-11,6	257	-17	167	-25,5	82
-1,2	560	-6,6	376	-11,8	253	-17,2	164	-26	78
-1,4	552	-6,8	371	-12	249	-17,4	162	-26,5	75
-1,6	544	-7	365	-12,2	245	-17,6	159	-27	72
-1,8	536	-7,2	360	-12,4	241	-17,8	156	-27,5	69
-2,0	529	-7,4	354	-12,6	237	-18	154	-28	66
-2,2	521	-7,6	349	-12,8	234	-18,2	151	-28,5	63
-2,4	513	-7,8	344	-13	230	-18,4	149	-29	60
-2,6	506	-8	339	-13,2	226	-18,6	146	-29,5	57
-2,8	499	-8,2	334	-13,4	223	-18,8	144	-29,8	56
-3,0	491	-8,4	329	-13,6	219	-19	142	-30	55
-3,2	484	-8,6	324	-13,8	216	-19,2	139	-31	50
-3,4	477	-8,8	319	-14	213	-19,4	137	-32	46
-3,6	470	-9	314	-14,2	209	-19,6	135	-33	42
-3,8	463	-9,2	309	-14,4	206	-19,8	133	-34	38
-4,0	457	-9,4	304	-14,6	203	-19,9	132	-35	35
-4,2	450	-9,6	300	-14,8	199	-20	130	-36	31
-4,4	443	-9,8	295	-15	196	-20,5	125	-37	29
-4,6	437	-9,9	293	-15,2	193	-21	120	-38	26
-4,8	431	-10	291	-15,4	190	-21,5	115	-39	24
-5,0	424	-10,2	286	-15,6	187	-22	110	-40	21
-5,2	418	-10,4	282	-15,8	184	-22,5	106	-41	19

б) для температур от 0 до 50 °С

Температура, <i>t</i> , °С	<i>E</i> , Па					
	Десятые доли градуса					
	0,0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8
0	611	619	628	633	637	646
1	656	665	675	679	684	694
2	704	714	724	729	734	744
3	755	766	776	782	787	798
4	809	821	832	838	844	856
5	867	879	892	898	904	916
6	929	942	955	961	968	981
7	995	1008	1022	1029	1036	1050
8	1064	1079	1094	1101	1108	1123
9	1139	1154	1169	1177	1185	1201
10	1217	1233	1250	1258	1267	1284
11	1301	1318	1335	1344	1353	1371
12	1389	1407	1426	1435	1445	1464
13	1483	1502	1522	1532	1542	1562
14	1583	1603	1624	1634	1645	1666
15	1688	1710	1732	1743	1754	1777
16	1800	1823	1846	1858	1870	1894
17	1918	1942	1967	1979	1992	2017
18	2043	2069	2095	2108	2121	2148
19	2175	2202	2230	2244	2258	2286
20	2315	2344	2373	2388	2402	2432
21	2463	2493	2524	2540	2555	2587
22	2619	2651	2683	2700	2716	2750
23	2783	2817	2852	2869	2887	2922
24	2957	2993	3030	3048	3066	3103
25	3141	3179	3217	3237	3256	3295

Температура, <i>t</i> , °С	<i>E</i> , Па					
	Десятые доли градуса					
	0,0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8
26	3335	3375	3415	3435	3456	3497
27	3539	3581	3623	3645	3667	3710
28	3754	3798	3843	3866	3889	3934
29	3981	4027	4075	4098	4122	4171
30	4219	4269	4318	4343	4369	4419
31	4471	4523	4575	4601	4628	4681
32	4735	4790	4845	4873	4901	4957
33	5014	5071	5129	5158	5187	5247
34	5306	5367	5427	5458	5489	5551
35	5614	5677	5741	5774	5806	5871
36	5937	6004	6071	6105	6139	6208
37	6277	6347	6418	6453	6489	6561
38	6634	6707	6781	6819	6856	6932
39	7008	7086	7163	7203	7242	7321
40	7402	7482	7564	7605	7647	7730
41	7814	7899	7985	8028	8071	8159
42	8247	8336	8426	8471	8516	8608
43	8700	8794	8888	8935	8983	9079
44	9176	9274	9372	9422	9472	9572
45	9674	9776	9880	9932	9984	10090
46	10196	10303	10411	10466	10521	10631
47	10742	10855	10968	11025	11083	11198
48	11314	11432	11551	11610	11670	11791
49	11913	12036	12160	12223	12286	12412
50	12540	12668	12798	12864	12929	13061

ЛИТЕРАТУРА

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) – 3-е изд.– С-Пб.: Издательство «АВОК Северо-Запад», 2006. – 400 с., ил.
2. Богословский В.Н. Тепловой режим здания.– М.: Стройиздат, 1979. – 248 с., ил.
3. Ильинский В.М. Строительная теплофизика (ограждающие конструкции и микроклимат зданий): Уч. пособие для инж.-строит. вузов.– М.: Высш. школа, 1974. – 320 с., ил.
4. Садыков Р.А. Процессы переноса при кратковременном контакте фаз.– Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2004. – 176 с., ил.
5. Садыков Р.А. Тепломассоперенос в процессах вакуумной сушки и аппаратурное оформление технологии сушки лабильных биопрепаратов: диссертация д.техн.наук.– Казань: 1990, 517 с.
6. Ушков Ф.В. Теплопередача ограждающих конструкций при фильтрации воздуха.– М.: Стройиздат, 1969. – 144 с., ил.
7. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий.– М.: Изд. АВОК-ПРЕСС, 2006. – 251 с.
8. ГОСТ 26253-2014. Здания и сооружения. Метод определения теплоустойчивости ограждающих конструкций.
9. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
10. ГОСТ 31167-2009. Здания и сооружения. Методы определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций в натуральных условиях.
11. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с изменением № 1).
12. СП 131.13330.2012. Строительная климатология.
13. СП 230.1325800.2015. Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей.
14. СП 345.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты.
15. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика. (пер. с нем. под ред. и с доп. А.К. Соловьева).– М.: Техносфера, 2005. – 480 с.
16. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Руководство пользователя.– СПб.: ПК TOP, 2009. – 339 с.

Садыков Ренат Ахатович
Крайнов Дмитрий Владимирович
Медведева Галина Александровна

Учебно-методическое пособие
к выполнению курсовой работы по дисциплине
«Теплофизика зданий»
для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль
«Инженерные системы жизнеобеспечения в строительстве»

Издательство

Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать

Заказ №

Тираж 50 экз.

Печать ризографическая

Бумага офсетная № I

Формат 60 x 84/16

Усл. печ. л. 3,2

Уч.-изд. л. 3,2

Отпечатано в полиграфическом секторе
Издательства КГАСУ.
420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1.