



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный  
технический университет**

---

---

**Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»**

# **СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА**

**Методические указания  
к курсовой работе**

**Минск  
БНТУ  
2012**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

## СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

Методические указания к курсовой работе  
для студентов специальности 1-70 04 02  
«Теплогазоснабжение, вентиляция  
и охрана воздушного бассейна»

Минск  
БНТУ  
2012

УДК 697.133:378.147.091.313 (075.8)

ББК 38.113я7

С86

**С о с т а в и т е л ь**

*А. С. Шибeko*

**Р е ц е н з е н т ы :**

*О. Н. Лешкевич, А. В. Щербач*

Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Строительная теплофизика» предназначены для студентов заочной формы обучения специальности 1-70 04 02 «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» и составлены с использованием действующих нормативно-правовых актов и учебной литературы.

Приведены варианты заданий курсовой работы, изложена последовательность выполнения курсовой работы с примерами расчётов.

Настоящие указания могут быть использованы при выполнении курсовой работы по строительной теплофизике студентами дневной формы обучения.

© Белорусский национальный  
технический университет, 2012

### Задание на курсовую работу

Целью курсовой работы является практическое закрепление теоретических знаний, полученных при изучении дисциплины «Строительная теплофизика» на примере выявления тепловлажностных качеств наружной стены и перекрытия или совмещённого покрытия, а также теплотехнических характеристик окон. Курсовая работа состоит из следующих разделов:

- 1) исходные данные к работе;
- 2) выбор расчётных параметров внутреннего и наружного воздуха;
- 3) принятие сопротивления теплопередаче ограждений и определение толщины теплоизоляционного слоя с последующим уточнением действительного сопротивления теплопередаче;
- 4) расчёт минимальной температуры внутренней поверхности стены при заданном показателе неравномерности ( $m = 0,1$ ) теплоотдачи системы отопления;
- 5) теплотехнический расчёт оконного заполнения;
- 6) расчёт сопротивления паропрооницанию ограждений;
- 7) построение графиков тепловлажностного режима ограждений (с уточнением величины действительного сопротивления паропрооницанию);
- 8) заключение.

Для студентов задания разбиты на варианты в зависимости от порядкового номера по списку. Исходные данные к курсовой работе в зависимости от варианта приведены в табл. 1. Конструкция стен в зависимости от варианта представлена на рис. 1, конструкция перекрытий или совмещённых покрытий – на рис. 2. Материалы конструктивных слоёв наружных стен приведены в табл. 2, перекрытий и совмещённых покрытий – в табл. 3, вариант утеплителя – в табл. 4. Основные характеристики материалов приведены в табл. А.1 [1] и в приложении А данных методических указаний.

Исходные данные к расчёту оконного заполнения приведены на рис. 3, а также в табл. 5 и 6. Ориентировочные значения сопротивления теплопередаче материалов коробок и створок, а также стеклопакетов приведены в приложениях Б и В.

## Варианты заданий

Вариант	Назначение здания	Вариант		Местонахождение здания	Этажность
		наружной стены	перекрытия или совмещённого покрытия		
1	2	3	4	5	6
1	Жилой дом	1	Е	Витебск	9
2	Общежитие	2	Д	Брест	8
3	Больница	3	Г	Гродно	7
4	Библиотека	4	В	Гомель	6
5	Администрация	5	Б	Могилёв	5
6	Детский сад	6	А	Минск	4
7	Поликлиника	6	Е	Сенно	4
8	Школа	5	Д	Кобрин	5
9	Жилой дом	4	Г	Лида	6
10	Жилой дом	3	В	Речица	7
11	Суд	2	Б	Быхов	8
12	Прокуратура	1	А	Борисов	9
13	Колледж	1	Д	Мосты	9
14	Проектный институт	2	Е	Рогачёв	8
15	Администрация	3	А	Кричев	7
16	Исполком	4	Б	Вилейка	6
17	Детская поликлиника	5	В	Орша	5
18	Детские ясли	6	Г	Барановичи	4
19	Жилой дом	6	Б	Волковыск	4
20	Общежитие	5	А	Мозырь	5
21	Институт	4	Е	Глубокое	6
22	Банк	3	Д	Каменец	7
23	Жилой дом	2	Г	Слуцк	8

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
24	Гостиница	1	В	Костюковичи	9
25	Общежитие	1	Б	Речица	9
26	Техникум	2	В	Поставы	8
27	Административный корпус	3	Е	Пуховичи	7
28	Военкомат	4	А	Лунинец	6
29	Торговый комплекс	5	Г	Ошмяны	5
30	Школа-интернат	6	Д	Бобруйск	4

Таблица 2

## Материалы слоёв наружных стен

Вариант стены	Вариант задания	Наименование, плотность и толщина материала слоя номер		
		1	3	4
1	1	Железобетон ( $\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 90 \text{ мм}$	Железобетон ( $\rho_3 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 80 \text{ мм}$	—
	12	Аглопоритобетон ( $\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 110 \text{ мм}$	Аглопоритобетон ( $\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 50 \text{ мм}$	
	13	Керамзитобетон ( $\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 100 \text{ мм}$	Керамзитобетон ( $\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 60 \text{ мм}$	
	24	Керамзитобетон ( $\rho_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 140 \text{ мм}$	Керамзитобетон ( $\rho_3 = 1400 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 80 \text{ мм}$	
	25	Железобетон ( $\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 110 \text{ мм}$	Железобетон ( $\rho_3 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 90 \text{ мм}$	

Вариант стены	Вариант задания	Наименование, плотность и толщина материала слоя номер		
		1	3	4
2	2	Кирпич сплошной глиняный обыкновенный ( $\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$	Кирпич сплошной глиняный обыкновенный ( $\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 120 \text{ мм}$	Цементно-песчаная штукатурка ( $\rho_4 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_4 = 10 \text{ мм}$
	11	Кирпич пустотный керамический ( $\rho_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$	Кирпич пустотный керамический ( $\rho_3 = 1400 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 120 \text{ мм}$	
	14	Кирпич сплошной глиняный обыкновенный ( $\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$	Кирпич силикатный ( $\rho_3 = 1900 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 120 \text{ мм}$	
	23	Кирпич силикатный ( $\rho_1 = 1700 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$	Кирпич силикатный ( $\rho_3 = 1700 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 120 \text{ мм}$	
	26	Кирпич сплошной глиняный обыкновенный ( $\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$	Кирпич силикатный ( $\rho_3 = 1600 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 120 \text{ мм}$	
3	3	Кирпич сплошной глиняный обыкновенный ( $\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 380 \text{ мм}$	Цементно-песчаная штукатурка ( $\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 10 \text{ мм}$	Гипсокартонные плиты ( $\rho_4 = 1000 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_4 = 10 \text{ мм}$
	10	Камень силикатный ( $\rho_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 380 \text{ мм}$		

Вариант стены	Вариант задания	Наименование, плотность и толщина материала слоя номер		
		1	3	4
3	15	Камень керамический 18-щелевой ( $\rho_1 = 1600 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 380 \text{ мм}$	Цементно-песчаная штукатурка ( $\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 10 \text{ мм}$	Гипсокартонные плиты ( $\rho_4 = 1000 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_4 = 10 \text{ мм}$
	22	Кирпич керамический пустотный ( $\rho_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 380 \text{ мм}$		
	27	Кирпич пустотный силикатный утолщённый ( $\rho_1 = 1600 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 380 \text{ мм}$		
4	4	Железобетон ( $\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 140 \text{ мм}$	Цементно-песчаная штукатурка ( $\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 10 \text{ мм}$	—
	9	Железобетон ( $\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 160 \text{ мм}$		
	16	Железобетон ( $\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 180 \text{ мм}$		
	21	Железобетон ( $\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 200 \text{ мм}$		
	28	Железобетон ( $\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 160 \text{ мм}$		
5	5	Керамзитобетон ( $\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 200 \text{ мм}$	Цементно-песчаная штукатурка ( $\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 10 \text{ мм}$	—



Вариант стены	Вариант задания	Наименование, плотность и толщина материала слоя номер		
		1	3	4
5	8	Кирпич сплошной глиняный обыкновенный ( $\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$	Цементно-песчаная штукатурка ( $\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 10 \text{ мм}$	—
	17	Железобетон ( $\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 200 \text{ мм}$		
	20	Кирпич пустотный силикатный утолщенный ( $\rho_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$		
	29	Аглопоритобетон ( $\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 200 \text{ мм}$		
6	6	Железобетон ( $\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 180 \text{ мм}$	Гипсокартонные плиты ( $\rho_3 = 1000 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_3 = 10 \text{ мм}$	Цементно-песчаная штукатурка ( $\rho_4 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_4 = 10 \text{ мм}$
	7	Железобетон ( $\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 180 \text{ мм}$		
	18	Железобетон ( $\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 200 \text{ мм}$		
	19	Железобетон ( $\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 200 \text{ мм}$		
	30	Железобетон ( $\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$		

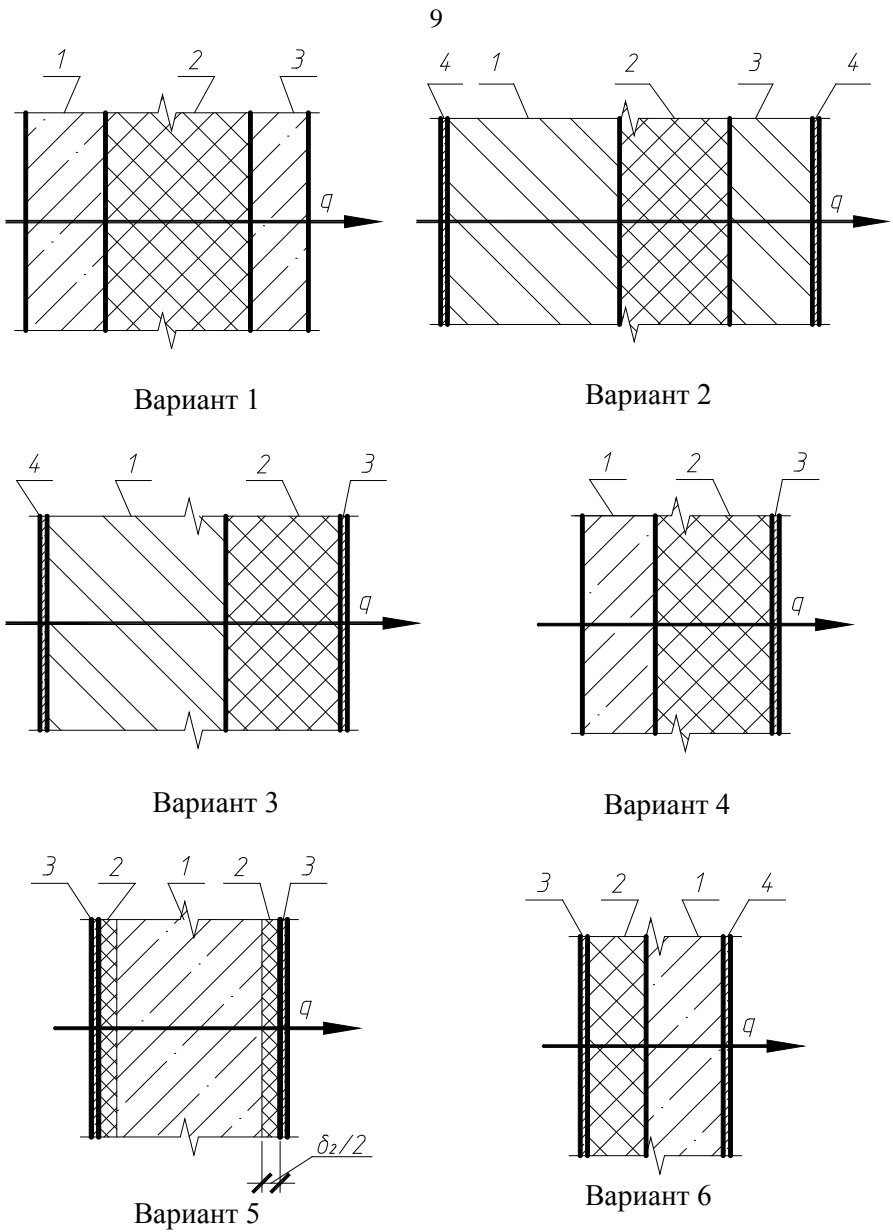
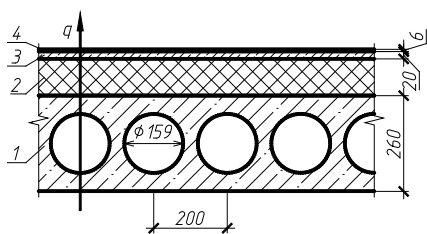


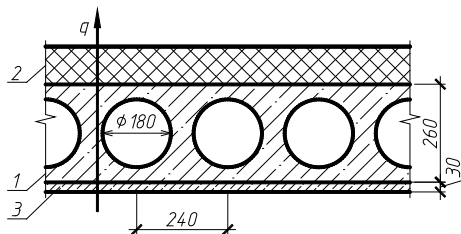
Рис. 1. Варианты конструкции наружных стен

### Материалы перекрытий и совмещённых покрытий

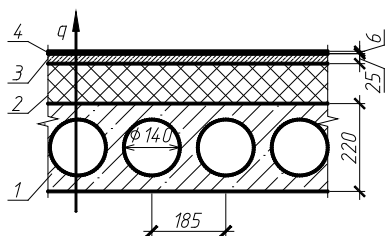
Вариант перекрытия или совмещённого покрытия	Варианты заданий	Наименование конструкции	Наименование материала слоя номер		
			1	3	4
А	6, 12, 18, 24, 30	Совмещённое покрытие	Многопустотная железобетонная плита	Цементно-песчаная стяжка	Рубероид
Б	5, 11, 17, 23, 29	Чердачное перекрытие с кровлей из рулонных материалов		Затирка из сложного раствора	–
В	4, 10, 16, 22, 28	Совмещённое покрытие		Цементно-песчаная стяжка	Рубероид
Г	3, 9, 15, 21, 27	Перекрытие над неотапливаемым подвалом, имеющим световые проёмы в стенах		Еловые лаги	Еловые доски
Д	2, 8, 14, 20, 26	Чердачное перекрытие с кровлей из штучных материалов		Затирка из сложного раствора	–
Е	1, 7, 13, 19, 25	Перекрытие над неотапливаемым техническим подпольем, расположенным ниже уровня земли		Цементно-песчаная стяжка	Линолеум



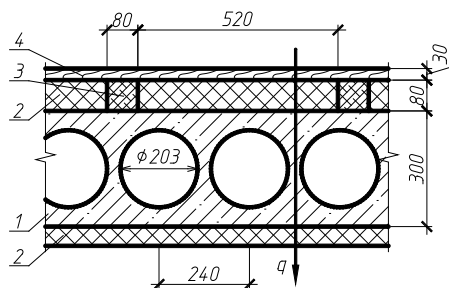
Вариант А



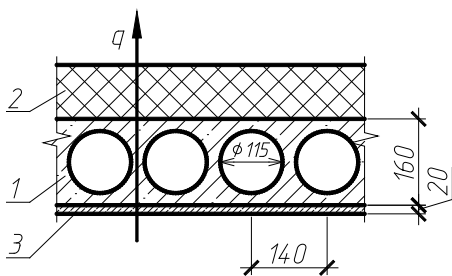
Вариант Б



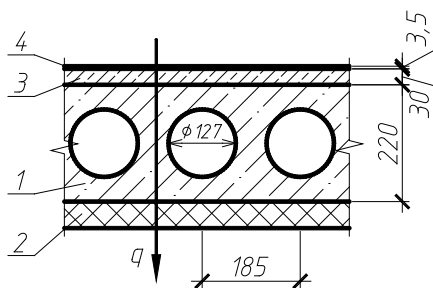
Вариант В



Вариант Г



Вариант Д



Вариант Е

Рис. 2. Варианты конструкции перекрытий  
или совмещённых покрытий

### Материалы утеплителя

Вариант задания	Материал утеплителя и его плотность
1	Плиты пенополистирольные ( $\rho_2 = 15 \text{ кг/м}^3$ )
2	Маты минераловатные прошивные ( $\rho_2 = 125 \text{ кг/м}^3$ )
3	Плиты пенополистирольные ( $\rho_2 = 25 \text{ кг/м}^3$ )
4	Плиты пенополистирольные ( $\rho_2 = 15 \text{ кг/м}^3$ )
5	Маты минераловатные прошивные ( $\rho_2 = 50 \text{ кг/м}^3$ )
6	Плиты пенополистирольные ( $\rho_2 = 25 \text{ кг/м}^3$ )
7	Маты минераловатные прошивные $\rho_2 = 75 \text{ кг/м}^3$
8	Плиты минераловатные полужёсткие на синтетическом связующем ( $\rho_2 = 200 \text{ кг/м}^3$ )
9	Плиты минераловатные жёсткие на синтетическом связующем ( $\rho_2 = 175 \text{ кг/м}^3$ )
10	Маты минераловатные прошивные ( $\rho_2 = 75 \text{ кг/м}^3$ )
11	Плиты пенополистирольные ( $\rho_2 = 25 \text{ кг/м}^3$ )
12	Плиты пенополистирольные ( $\rho_2 = 35 \text{ кг/м}^3$ )
13	Плиты минераловатные полужёсткие на синтетическом связующем ( $\rho_2 = 75 \text{ кг/м}^3$ )
14	Плиты минераловатные жёсткие на синтетическом связующем ( $\rho_2 = 250 \text{ кг/м}^3$ )
15	Плиты минераловатные жёсткие на синтетическом связующем ( $\rho_2 = 200 \text{ кг/м}^3$ )
16	Плиты минераловатные жёсткие на синтетическом связующем ( $\rho_2 = 250 \text{ кг/м}^3$ )
17	Плиты минераловатные мягкие на синтетическом связующем ( $\rho_2 = 75 \text{ кг/м}^3$ )
18	Плиты минераловатные жёсткие на синтетическом связующем ( $\rho_2 = 200 \text{ кг/м}^3$ )
19	Плиты пенополистирольные ( $\rho_2 = 35 \text{ кг/м}^3$ )
20	Маты минераловатные прошивные ( $\rho_2 = 100 \text{ кг/м}^3$ )
21	Плиты пенополистирольные ( $\rho_2 = 50 \text{ кг/м}^3$ )
22	Плиты пенополистирольные ( $\rho_2 = 35 \text{ кг/м}^3$ )
23	Маты минераловатные прошивные ( $\rho_2 = 100 \text{ кг/м}^3$ )
24	Маты минераловатные прошивные ( $\rho_2 = 75 \text{ кг/м}^3$ )

<b>Вариант задания</b>	<b>Материал утеплителя и его плотность</b>
25	Плиты пенополистирольные ( $\rho_2 = 50 \text{ кг/м}^3$ )
26	Маты минераловатные прошивные ( $\rho_2 = 50 \text{ кг/м}^3$ )
27	Маты минераловатные прошивные ( $\rho_2 = 100 \text{ кг/м}^3$ )
28	Маты минераловатные прошивные ( $\rho_2 = 125 \text{ кг/м}^3$ )
29	Плиты минераловатные полужёсткие на синтетическом связующем ( $\rho_2 = 125 \text{ кг/м}^3$ )
30	Маты минераловатные прошивные ( $\rho_2 = 100 \text{ кг/м}^3$ )

Таблица 5

**Данные к расчёту оконного заполнения**

<b>Вариант задания</b>	<b>Вариант окна</b>	<b>Материал коробок и створок</b>	<b>Марка стеклопакета</b>
1	I	«Aluplast» Ideal 6000	4-Ar8-4И-Ar8-И4
2	II		
3	I	«Aluplast» Ideal 8000	4-12-4И-12-И4
4	II		
5	I	«Lg» L-700	4-14-4И-14-И4
6	II		
7	I	КВЕ 88 мм	4-Ar12-4-Ar12-И4
8	II		
9	I	«Montblanc» Nord 70	4-Ar12-4И-Ar12-И4
10	II		
11	I	«Plafen» S-line	4-Ar14-4И-Ar14-И4
12	II		
13	I	«Salamander» bluEvolution	4-Ar12-4-Ar12-И4
14	II		
15	I	«Veka» Alphaline	4-Ar10-4-Ar10-И4
16	II		
17	I	«Veka» Softline XXL	4-Ar8-4И-Ar8-И4
18	II		
19	I	«Veka» Topline Plus	4-10-4И-10-И4
20	II		

Окончание табл. 5

Вариант задания	Вариант окна	Материал коробок и створок	Марка стеклопакета
21	I	«Veka» Alphaline	4-Ar12-4-Ar12-И4
22	II		
23	I	«Montblanc» Nord 70	4-Ar10-4И-Ar10-И4
24	II		
25	I	КВЕ 88 мм	4-Ar12-4-Ar12-И4
26	II		
27	I	«Aluplast» Ideal 6000	4-14-4И-14-И4
28	II		
29	I	«Veka» Topline Plus	4-Ar10-4-Ar10-И4
30	II		

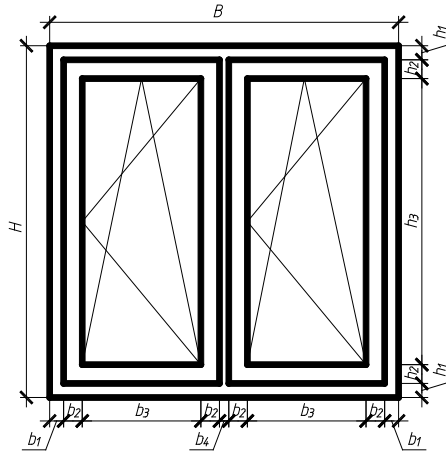
Таблица 6

## Размеры окон для расчёта

Вариант задания	Размеры, мм						
	окна		коробки		створки	остекления	импоста
	$H$	$B$	$b_1$ ( $h_1$ )	$b_1'$ ( $h_1'$ )	$b_2$ ( $h_2$ )	$b_3$	$b_4$
1	1500	1500	40	–	70	560	20
2	1420	1360	40	70	80	460	60
3	1650	1500	40	–	80	550	0
4	1450	1150	40	70	80	360	50
5	1460	1320	50	–	70	460	20
6	1460	1470	45	70	80	440	45
7	1500	1320	50	–	80	435	30
8	1500	1320	40	65	75	450	55
9	1420	1350	40	–	80	460	30
10	1550	1170	40	70	80	270	60
11	1440	1180	40	–	75	385	30
12	1460	1400	40	60	80	500	40
13	1440	1320	40	–	75	460	20

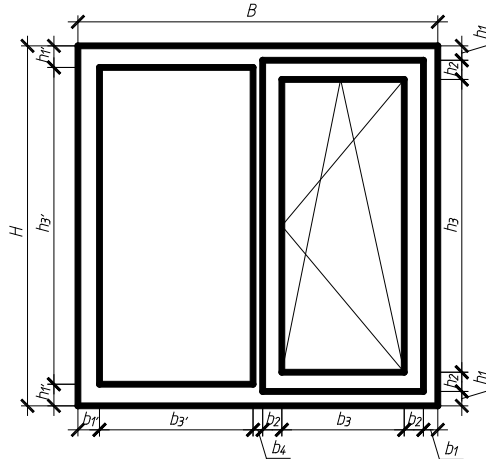
Вариант задания	Размеры, мм						
	окна		коробки		створки	остекления	импоста
	$H$	$B$	$b_1$ ( $h_1$ )	$b_1'$ ( $h_1'$ )	$b_2$ ( $h_2$ )	$b_3$	$b_4$
14	1400	1170	40	60	70	440	50
15	1500	1350	50	–	75	460	30
16	1430	1320	40	70	75	500	60
17	1470	1330	40	–	70	485	0
18	1750	1310	35	70	80	425	60
19	1460	1170	45	–	70	390	20
20	1460	1320	30	60	80	450	60
21	1460	1470	30	–	65	575	0
22	1350	1500	30	60	80	545	50
23	1460	1320	40	–	80	450	20
24	1460	1320	40	75	75	510	35
25	1460	1460	40	–	75	430	20
26	1500	1500	35	60	80	520	55
27	1500	1200	50	–	80	390	0
28	1410	1310	40	60	75	440	60
29	1450	1350	40	–	75	470	30
30	1430	1170	40	65	80	350	50





### Вариант I

$B$  ( $H$ ) – ширина (высота) окна;  $b_1$  ( $h_1$ ) – ширина (высота) коробки;  
 $b_2$  ( $h_2$ ) – ширина (высота) створки;  $b_3$  ( $h_3$ ) – ширина (высота) остекления (стеклопакета);  $b_4$  ( $h_4$ ) – ширина (высота) импоста



### Вариант II

$b_1'$  ( $h_1'$ ) – ширина (высота) коробки глухой части окна;  
 $b_3'$  ( $h_3'$ ) – ширина (высота) остекления (стеклопакета) глухой части окна

Рис. 3. Варианты конструкции окон

## **Методические указания к выполнению курсовой работы**

### **1 Общие указания**

К выполнению курсовой работы следуют приступать только после изучения соответствующего раздела курса строительной теплофизики.

Работа состоит из расчётно-пояснительной записки и графиков температур и тепловлажностного режима.

Расчётно-пояснительная записка на листах белой бумаги формата А4 с соблюдением стандартных полей: левое – 30 мм, правое – не менее 8 мм, верхнее и нижнее – не менее 20 мм. При выполнении записки на компьютере необходимо руководствоваться ЕСКД [2].

Записка составляется подробно с приведением и расшифровкой всех расчётных формул и размерностей со ссылкой на литературные источники и справочные данные.

Типовые разрезы выполняются с помощью САПР или карандашом без масштаба непосредственно на листах расчётно-пояснительной записки с указанием названия и толщины материала слоя.

Графики распределения температур и тепловлажностного режима выполняются или с помощью САПР, или вручную на листах миллиметровой бумаги формата А4, причём графики вставляются по тексту записки или выносятся в приложения.

Титульный лист выполняется по форме, которая приведена на рис. 4.

### **2 Порядок выполнения работы**

В начале расчётно-пояснительной записки на отдельной странице даётся оглавление. Затем даются общие сведения: цели и задачи выполнения курсовой работы, сведения о здании (тип, месторасположение и этажность), вариант стены, совмещённого покрытия (или перекрытия) и окна.

Ì è í è ñòáðñòáí í áðàçí ááí è ý Ðáñí óáèèèè Ááèáðóñíí  
 Ááèí ðóññèè è í àòèí í áèñíí ù é ðáóí è -áñèè è óí è ááðñè ðáò  
 Óáèóèúòáò ýí áðááòè -áñèí áí ñòðí è ðáèúñòáá  
 Èáò ááðà «Òáí èí áàçí ñí ááæáí è á è ááí ðè è ýòè ý»

È ÓÏÑÍ ÁÀß ÐÀÁÍ ÒÀ  
 Óáí èí ðáóí è -áñèè è ðáñ-, ð í áðóáí ù ð í áðáæááí è é çááí è ý

Áúí í èí èè: ñòáááí ò áð. 3104\_\_ ÓÝÑ  
 È ááí í á È ááí È ááí í áè -  
 Ø è ð ð \_\_\_\_\_

Ì ðèí ýè:

Ì è í ñè 20\_\_

Рис. 4. Образец выполнения титульного листа

## 2.1 Выбор расчётных параметров наружного и внутреннего воздуха

Расчётные параметры наружного воздуха выбираются согласно табл. 4.3, 4.4 и 4.5 [1] или из [3] и сводятся в таблицу. Пример оформления таблицы для жилого здания, расположенного в городе Сенно (Витебская область), приведён в табл. 7.

Таблица 7

### Расчётные параметры наружного воздуха

Наименование параметра	Единица измерения	Значение	Источник
Температура наиболее холодных суток обеспеченностью $0,98 t_n^{0,98}$	°C	-37	[1], табл. 4.3
Температура наиболее холодных суток обеспеченностью $0,92 t_n^{0,92}$	°C	-31	[1], табл. 4.3
Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью $0,92 t_n^5$	°C	-25	[1], табл. 4.3
Максимальная из средних скоростей ветра по румбам в январе $v_{cp}$	м/с	5,4	[1], табл. 4.5
Средняя температура за отопительный период $t_{н.от.}$	°C	-2,0	[1], табл. 4.4
Средняя относительная влажность за отопительный период $\varphi_{н.от.}$	%	83	[3], табл. 3.1

Расчётные параметры внутреннего воздуха (температура и относительная влажность) для расчёта наружных ограждающих конструкций принимаются согласно табл. 4.1 [1] в зависимости от назначения здания и сводятся в таблицу, где также приводится расчётный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности рассчитываемых ограждающих

конструкций согласно табл. 5.5 [1]. Наряду с этим делается вывод о режиме помещений и об условиях эксплуатации ограждений в соответствии с табл. 4.2 [1]. Пример оформления таблицы для жилого здания, расположенного в городе Сенно, приведён в табл. 8.

Таблица 8

### Расчётные параметры внутреннего воздуха

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Расчётная температура внутреннего воздуха помещений здания $t_{в}$	°C	18
Расчётная относительная влажность внутреннего воздуха помещений $\varphi_{в}$	%	55
Расчётный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности стены $\Delta t_{в}^c$	°C	6
Расчётный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности совмещённого покрытия $\Delta t_{в}^n$	°C	4

Согласно табл. 4.2 [1] при данных расчётных условиях в помещениях жилого здания ( $t_{в} = 18$  °C и  $\varphi_{в} = 55\%$ ) влажностный режим помещений – нормальный, а условия эксплуатации наружных ограждающих конструкций – Б.

## 2.2 Принятие сопротивлений теплопередаче и определение толщин теплоизоляционных слоёв

Согласно п. 5.1 [1] сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций  $R_T$ , м<sup>2</sup>·°C/Вт, за исключением наружных дверей, ворот и ограждающих конструкций помещений с избытками явной теплоты, следует принимать не менее нормативного сопротивления теплопередаче  $R_{T,норм}$ , указанного в табл. 5.1 [1]. Поэтому, задаваясь сначала нормативным сопротивлением тепло-

передаче  $R_{T,НОРМ}$ , следует найти неизвестную толщину слоя утеплителя  $\delta_2$ , а затем уточнить значение сопротивления теплопередаче.

Рассмотрим расчёт наружной стены и совмещённого покрытия.

### 1. Наружная стена.

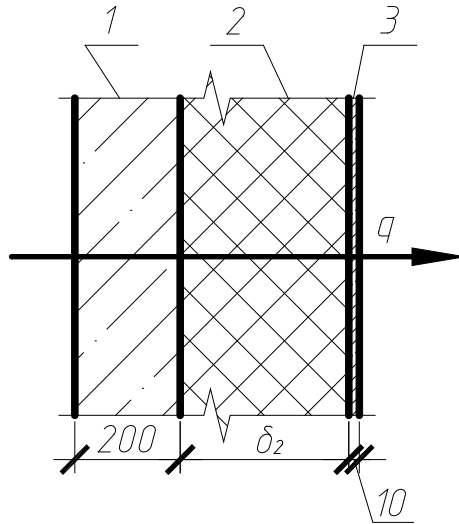


Рис. 5. Конструкция наружной стены

Примем следующие конструктивные слои (рис. 5):

1 – железобетонная плита толщиной  $\delta_1 = 200$  мм;

2 – слой утеплителя из пенополистирольных плит толщиной  $\delta_2$  и плотностью  $\rho_2 = 25$  кг/м<sup>3</sup>;

3 – защитно-отделочная цементно-песчаная штукатурка толщиной  $\delta_3 = 10$  мм;

Из табл. А.1 [1] найдём необходимые для данного и последующего расчётов данные об используемых материалах – коэффициент теплопроводности, теплоусвоения и паропроницаемости – и сведём их в таблицу.

Сопротивление теплопередаче для данной стены  $R_T$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт, будет рассчитываться по выражению



$$\delta_2 = 0,052 \cdot \left( 3,2 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,2}{2,04} - \frac{0,01}{0,93} - \frac{1}{23} \right) = 0,153 \text{ м.}$$

Принимаем  $\delta_2 = 0,16$  м и рассчитываем действительное сопротивление теплопередаче стены по формуле (1).

$$R_{\text{нб}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{0,16}{0,052} + \frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,34 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

## 2. Совмещённое покрытие.

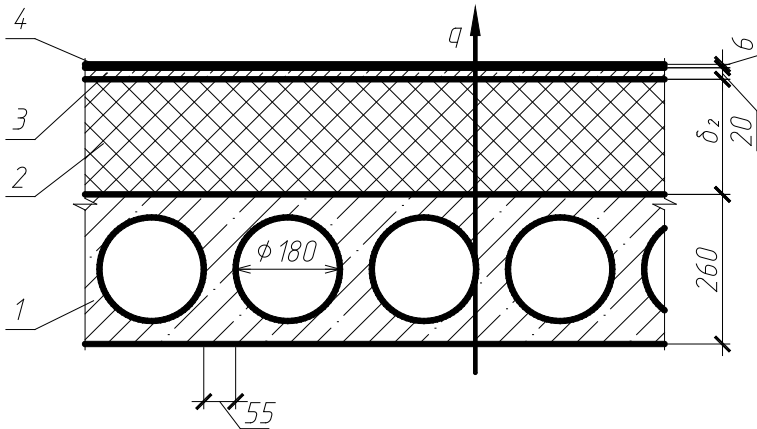


Рис. 6. Конструкция совмещённого покрытия

Примем следующие конструктивные слои (рис. 6):

1 – железобетонная многослойная плита покрытия толщиной  $\delta_1 = 260$  мм;

2 – слой утеплителя из пенополистирольных плит толщиной  $\delta_2$  и плотностью  $\rho_2 = 25$  кг/м<sup>3</sup>;

3 – цементно-песчаная стяжка толщиной  $\delta_3 = 20$  мм;

4 – четыре слоя рубероида толщиной  $\delta_4 = 6$  мм.

Аналогично расчёту стены, из табл. А.1 [1] находим для расчётов данные о материалах и сводим их в таблицу.



## Характеристики материалов совмещённого покрытия

Наименование материала	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Расчётные коэффициенты (при условиях эксплуатации Б)		
		теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°С)	теплоусвоения $s$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	паропроницаемости $\mu$ , мг/(м·ч·Па)
Железобетон	2500	2,04	19,70	0,03
Пенополистирол	25	0,052	0,39	0,05
Цементно-песчаный раствор	1800	0,93	11,09	0,09
Рубероид (4 слоя)	600	0,17	3,53	$R_{\Pi} = 4,4$ м <sup>2</sup> ·ч·Па/мг

Как видно, железобетонная плита является термически неоднородной конструкцией. Ввиду этого предварительно необходимо найти её приведённое термическое сопротивление. Расчёт проводится в следующей последовательности:

а) Выделяем характерное сечение (заштриховано на рис. 7, а). Для облегчения расчётов заменим окружность равным по площади квадратом (исходя из соотношения  $F_{\text{окр}} = F_{\text{кв}}$ ) со стороны

$$\dot{a} = \frac{d}{2} \sqrt{\pi}, \quad (3)$$

и вычертим расчётное характерное сечение (рис. 7, б).

В нашем случае

$$\dot{a} = \frac{180}{2} \sqrt{3,14} \approx 160 \text{ мм.}$$

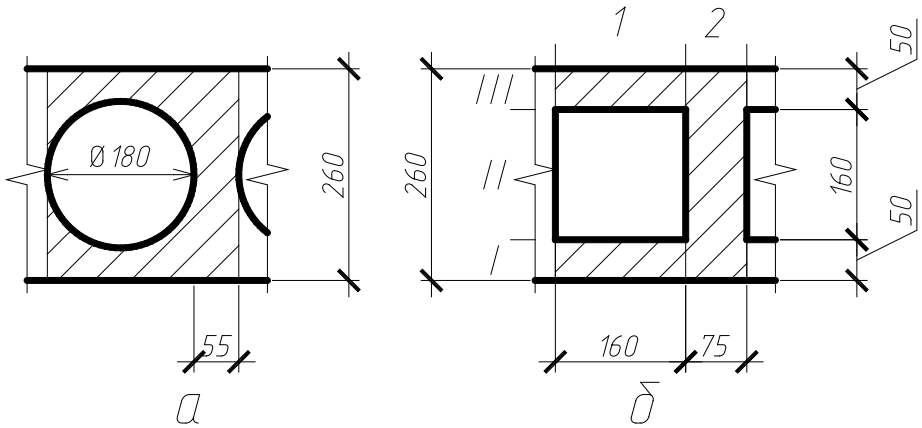


Рис. 7. Характерное и расчётное сечение

б) Плоскостями, параллельными тепловому потоку, разбиваем на однородные зоны, которые могут быть однородными (из одного материала) и неоднородными, и вычисляем термическое сопротивление по формуле

$$R_{\square} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{R_i}}, \quad (4)$$

где  $F_i$  – площадь отдельных участков,  $\text{м}^2$ ;

$R_i$  – термическое сопротивление данных участков,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ :

– для однородных участков:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}; \quad (5)$$

– для неоднородных

$$R_t = \sum_{k=1}^m R_k . \quad (6)$$

Для приведённой конструкции: участок 1 – неоднородный, его сопротивление будет складываться из термического сопротивления железобетона суммарной толщиной  $\delta_1 = 50 + 50 = 100$  мм и термического сопротивления воздушной прослойки. Так как прослойка расположена со стороны помещения и перед утеплителем, то температура в ней будет положительной. Согласно табл. Б.1 [1] её термическое сопротивление будет равно  $R_{в.п.} = 0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ . В соответствии с формулой (6)

$$R_1 = 0,15 + \frac{0,1}{2,04} = 0,199 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Участок 2 – однородный, его термическое сопротивление вычисляем по формуле (5):

$$R_2 = \frac{0,26}{2,04} = 0,127 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Термическое сопротивление параллельно тепловому потоку:

$$R_{\square} = \frac{0,235 \cdot 0,26}{\frac{0,16 \cdot 0,26}{0,199} + \frac{0,075 \cdot 0,26}{0,127}} = \frac{0,235}{\frac{0,16}{0,199} + \frac{0,075}{0,127}} = 0,169 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

в) Плоскостями, перпендикулярными тепловому потоку, разбиваем на однородные зоны, которые могут быть однородными (из одного материала) и неоднородными. Термическое сопротивление однородных слоёв вычисляется по формуле (5), неоднородных – по формуле (4). Для приведённой конструкции

$$R_{\perp} = R_I + R_{II} + R_{III} .$$

Очевидно, что термическое сопротивление слоёв I и III одинаково и равно

$$R_I = R_{III} = \frac{0,05}{2,04} = 0,025 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Слой II – неоднородный. Разобьём его на два участка: II' – воздушная прослойка с сопротивлением  $R_{II'} = 0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ , II'' – железобетон с термическим сопротивлением

$$R_{II''} = \frac{0,16}{2,04} = 0,078 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_{II} = \frac{0,235 \cdot 0,16}{\frac{0,16 \cdot 0,16}{0,15} + \frac{0,075 \cdot 0,16}{0,078}} = \frac{0,235}{\frac{0,16}{0,15} + \frac{0,075}{0,078}} = 0,116 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_{\perp} = 0,025 + 0,116 + 0,025 = 0,166 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

г) Проверим, превышает ли  $R_{\square}$  на 25 %  $R_{\perp}$  :

$$\frac{0,169 - 0,166}{0,166} \cdot 100 \% = 1,8 \%$$

д) Так как  $R_{\square}$  не превышает  $R_{\perp}$  на 25 %, то термическое сопротивление ограждения вычисляется по формуле

$$R_{\text{ге}} = \frac{R_{\square} + 2R_{\perp}}{3}; \quad (7)$$

$$R_{\text{ге}} = \frac{0,169 + 2 \cdot 0,166}{3} = 0,167 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Из табл. 5.1 [1]  $R_{\text{Т.НОРМ}} = 6,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

Тогда для данного покрытия имеем (с учётом  $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  и  $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ )

$$\delta_2 = 0,052 \cdot \left( 6,0 - \frac{1}{8,7} - 0,167 - \frac{0,02}{0,93} - \frac{0,006}{0,17} - \frac{1}{23} \right) = 0,292 \text{ м.}$$

Принимаем  $\delta_2 = 0,30 \text{ м}$  и рассчитываем действительное сопротивление теплопередаче совмещённого покрытия:

$$R_i = \frac{1}{8,7} + 0,167 + \frac{0,30}{0,052} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,006}{0,17} + \frac{1}{23} = 6,15 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

### 2.3 Расчёт минимальной температуры внутренней поверхности стены

Минимальная температура внутренней поверхности стены  $t_{в.п \text{ min}}$ , °C, определённая по формуле (8), не должна быть ниже температуры точки росы при расчётных значениях температуры и относительной влажности внутреннего воздуха:

$$t_{\text{á.í min}} = t_{\text{á}} - \frac{\left( \frac{1}{\alpha_{\text{á}}} + \frac{m}{Y_{\text{á}}} \right) \cdot (t_{\text{á}} - t_{\text{í}})}{R_{\text{CT}}}; \quad (8)$$

где  $t_b$ ,  $t_n$  и  $\alpha_b$  – определённые в п. 2.2 величины;

$t_{\text{á}}$  – расчётная зимняя температура воздуха, °C, принимаемая в зависимости от тепловой инерции стены;

$m$  – коэффициент неравномерности теплоотдачи системы отопления, принимаемый по табл. 6.1 [1];

$Y_b$  – коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности стены, Вт/(м<sup>2</sup>·°C), определяемый по пунктам 6.4–6.7 [1].

Определяем тепловую инерцию стены по формуле

$$D = \sum_{i=1}^n R_i \cdot s_i = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \cdot s_i ; \quad (9)$$

$$D = \frac{0,2}{2,04} \cdot 19,7 + \frac{0,16}{0,052} \cdot 0,39 + \frac{0,01}{0,93} \cdot 11,09 =$$

$$= 1,93 + 1,20 + 0,12 = 3,25.$$

Так как  $D_1 = 1,93 > 1$ , то коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности принимаем равным коэффициенту теплоусвоения железобетона, т. е.

$$Y_B = s_1 ; \quad (10)$$

$$Y_{\bar{a}} = 19,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Так как  $D = 3,25 \in (1,5; 4]$ , то в соответствии с табл. 5.2 [1] принимаем за расчётную температуру наиболее холодных суток обеспеченностью  $0,92$   $t_H^{0,92} = -31$  °C.

При центральном водяном отоплении  $m = 0,1$ .

Тогда минимальная температура внутренней поверхности стены составит

$$t_{\bar{a}, \bar{i} \min} = 18 - \frac{\left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,1}{19,7} \right) \cdot (18 - (-31))}{3,34} = 16,2 \text{ °C}.$$

По  $h - d$  диаграмме находим, что при  $t_B = 18$  °C и  $\varphi_B = 55$  % температура точки росы составляет  $t_p = 8,8$  °C.

Так как  $t_{B, \Pi \min} > t_p$ , значит условие выполняется.

## 2.4 Теплотехнический расчёт оконного заполнения

Окно – элемент стеновой или кровельной конструкции, предназначенный для сообщения внутренних помещений с окружающим пространством, естественного освещения помещений, их вентиляции, защиты от атмосферных, шумовых воздействий и состоящий

из оконного проёма с откосами, оконного блока, системы уплотнения монтажных швов, подоконной доски, деталей слива и облицовок. Оконный блок (рис. 8) состоит из:

1) непрозрачной части, включающей в себя:

– коробку – сборочную единицу оконного блока, предназначенную для навески створок, неподвижно закрепляемую к стенкам оконного проёма;

– створку – сборочную единицу оконного блока со светопрозрачным заполнением и соединённую с коробкой, как правило, посредством шарнирной или скользящей связи. На рис. 8 линии 6 и 7 показывают направление открывания створок: линия 6 – распашное открывание (вокруг вертикальной оси), линия 7 – откидное открывание (вокруг нижней горизонтальной оси);

– импост – средний брусок коробки, служащий для притвора створок и навески створок в трёхстворчатых (и более) окнах;

2) светопрозрачного заполнения – заполнения из прозрачного листового стекла или стеклопакета.

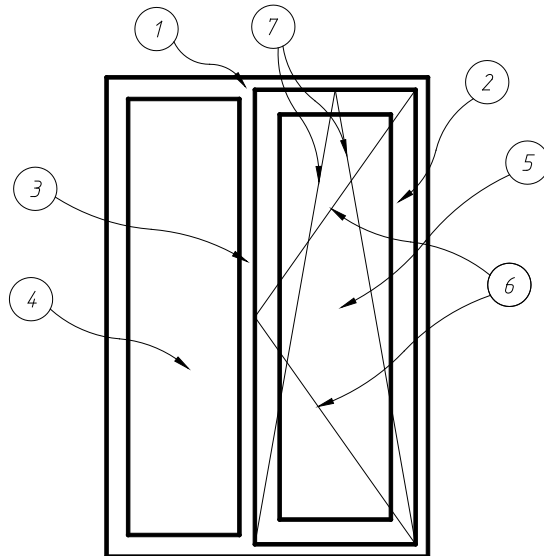


Рис. 8. Детали конструкции оконного блока

1 – коробка; 2 – поворотнo-откидная створка; 3 – импост;  
4, 5 – светопрозрачные заполнения соответственно глухой и поворотнo-откидной створки; 6, 7 – линии, показывающие направление открывания створки

Стеклопакет (рис. 9) – это соединённые между собой с помощью рамки листы стекла, образующие герметичные камеры, заполненные осушённым воздухом или инертными газами (аргон, криптон и др.). Для изготовления стеклопакетов применяются разнообразные виды стекла: листовое, многослойное, солнцезащитное, энергосберегающее с твёрдым и мягким покрытием и др.

В настоящее время в рамках увеличения теплозащитных свойств наружных ограждений и окон в частности, на первый план выходит использование в стеклопакетах энергосберегающих стёкол с низкоэмиссионным мягким селективным покрытием (И-стёкол), которые имеют малый коэффициент эмиссии (излучательной способности, т.е. имеют способность отражать длинноволновое тепловое излучение в сторону их излучения), что благотворно сказывается как в холодный период (низкоэмиссионным стеклом отражается, например, внутрь помещения тепло от отопительных приборов), так и в тёплый период года (энергосберегающее покрытие отражает тепловую энергию в длинноволновом диапазоне наружу).

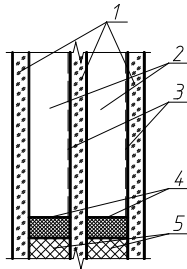


Рис. 9. Конструкция двухкамерного энергосберегающего стеклопакета:

1 – стёкла; 2 – межстекольное пространство; 3 – рекомендуемое расположение низкоэмиссионного покрытия; 4 – дистанционная рамка; 5 – герметик

Выпускаемые в настоящее время в Республике Беларусь окна должны соответствовать требованиям СТБ 939–93 «Окна и балконные двери для зданий и сооружений. Общие технические условия» [5] по теплофизическим и механическим параметрам, среди которых присутствуют сопротивление теплопередаче и сопротивление воздухопроницанию. Окна изначально комплектуются как



минимум двумя рядами уплотняющих прокладок из эластомерных материалов, которые обеспечивают плотное прилегание створки к коробке. Поэтому при получении сертификата соответствия окна должны пройти обязательные испытания, в результате которых получают графические зависимости объёмного и массового расхода воздуха через  $1 \text{ м}^2$  поверхности образца при различных перепадах давления. Основным признаком классификации является объёмное воздухопроницание через  $1 \text{ м}^2$  поверхности образца при перепаде давления на его поверхностях  $\Delta p = 100 \text{ Па}$ . При этом для каждого класса устанавливаются границы по сопротивлению воздухопроницанию. Классификация окон по сопротивлению воздухопроницанию согласно [5] приведена в табл. 11.

Таблица 11

**Классификация окон по воздухопроницанию [5]**

<b>Класс</b>	<b>Контрольная воздухопроницаемость при <math>\Delta p = 100 \text{ Па}</math>, <math>\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)</math></b>	<b>Сопротивление воздухопроницанию <math>R_v</math>, <math>\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{кг}</math></b>
А	до 3	свыше 1,299
Б	от 3 до 9	от 0,433 до 1,299
В	от 9 до 17	от 0,229 до 0,433
Г	от 17 до 27	от 0,114 до 0,229
Д	от 27 до 50	от 0,078 до 0,144

В данной курсовой работе необходимо:

а) в соответствии с заданной конструкцией непрозрачной и светопрозрачной части оконного блока и соответствующими величинами приведённого сопротивления теплопередаче рассчитать приведённое сопротивление теплопередаче оконного блока;

б) определить расчётную разность давления воздуха на наружной и внутренней поверхностях оконного блока для всех этажей здания;

в) рассчитать требуемое сопротивление воздухопроницанию окон, расположенных на разных этажах здания;

г) определить классы по воздухопроницанию окон, устанавливаемых на каждом этаже.

В качестве примера рассчитаем окно, установленное в 9-этажном жилом здании из предыдущих примеров.

Конструкция окна приведена на рис. 10. Материал непрозрачной части – поливинилхлоридный 5-камерный профиль «Века» системы Softline XXL, заполнение створок – двухкамерный энергосберегающий стеклопакет марки 4-12-4И-12-И4.

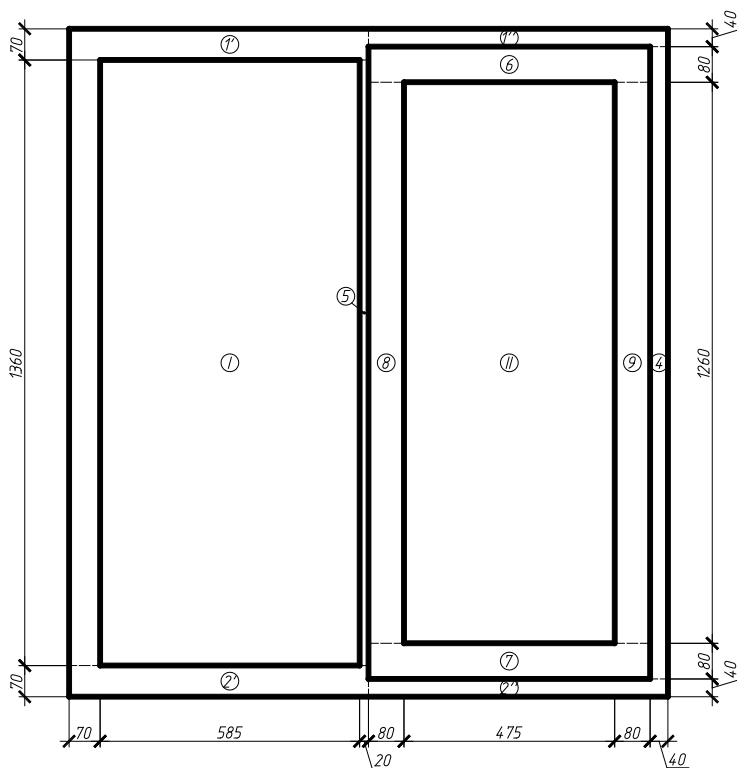


Рис. 10. Конструкция окна

### 1. Расчёт сопротивления теплопередаче.

Сопротивление теплопередаче оконного заполнения  $R_{ок}$ ,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , должно быть не менее нормативного сопротивления теплопередаче  $R_{Т.НОРМ}$ , указанного в табл. 5.1 [1]. Для жилого здания имеем  $R_{Т.НОРМ} = 1,0 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ .

Для определения приведённого сопротивления теплопередаче окон воспользуемся формулой

$$R = \frac{F_{i\dot{e}}}{\frac{F_{f\dot{a}r\dot{o}}}{R_{f\dot{a}r\dot{o}}} + \frac{F_{n\dot{a}}}{R_{n\dot{a}}}}, \quad (11)$$

где  $F_{непр}$  и  $F_{св}$  – суммарная площадь, соответственно, непрозрачной и светопрозрачной части окна, м<sup>2</sup>;

$R_{непр}$  и  $R_{св}$  – приведённое сопротивление теплопередаче непрозрачной и светопрозрачной части соответственно, м<sup>2</sup>·°C/Вт.

Из приложений Б и В имеем, что  $R_{непр} = 1,00$  м<sup>2</sup>·°C/Вт и  $R_{св} = 1,09$  м<sup>2</sup>·°C/Вт. Для удобства сведём расчёт в табл. 12.

Таблица 12

### Расчёт приведённого сопротивления теплопередаче окна

Номер зоны	Ширина $b$ , м	Высота $h$ , м	Площадь $F$ , м <sup>2</sup>	$R$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт	$F/R$ , Вт/°C
1'	0,675	0,07	0,04725		
1''	0,675	0,04	0,027		
2'	0,675	0,07	0,04725		
2''	0,675	0,04	0,027		
3	0,07	1,36	0,0952		
4	0,04	1,42	0,0568		
5	0,02	1,36	0,0272		
6	0,635	0,08	0,0508		
7	0,635	0,08	0,0508		
8	0,08	1,26	0,1008		
9	0,08	1,26	0,1008		
Итого по непрозрачной части			<b>0,6309</b>	<b><math>R_{непр} = 1,00</math></b>	<b>0,6309</b>
I	0,585	1,36	0,7956		
II	0,475	1,26	0,5985		
Итого по светопрозрачной части			<b>1,3941</b>	<b><math>R_{св} = 1,09</math></b>	<b>1,2790</b>
Итого по окну			<b>2,025</b>	<b><math>R_{ок} = 1,06</math></b>	<b>1,9099</b>

Так как  $R_{ок} > R_{Т.НОРМ}$ , значит, данная конструкция окна удовлетворяет требованиям [1] по сопротивлению теплопередаче.

## 2. Расчёт сопротивления воздухопроницанию окна.

Сопротивление воздухопроницанию окон  $R_{в}$ ,  $м^2 \cdot ч \cdot Па/кг$ , устанавливаемых в жилых и общественных зданиях, должно быть равно требуемому сопротивлению воздухопроницанию  $R_{в.тр}$ , определяемому согласно выражению (12) с допустимым отклонением не более 20 %:

$$R_{а.до} = \frac{0,216 \Delta p^{2/3}}{G_{г.н.н}}, \quad (12)$$

где  $G_{НОРМ}$  – нормативная воздухопроницаемость ограждения,  $кг/(м^2 \cdot ч)$ , принимаемая по табл. 8.1 [1] и равная для окон жилых зданий  $G_{НОРМ} = 10,0 кг/(м^2 \cdot ч)$ ;

$\Delta p$  – расчётная разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждения, Па, рассчитываемая по формуле:

$$\Delta p = H \cdot (\gamma_i - \gamma_a) + 0,5 \cdot \rho_i \cdot v_{в0}^2 \cdot (\tilde{n}_i - \tilde{n}_i) \cdot k_i, \quad (13)$$

где  $H$  – расчётная высота от центра рассчитываемого окна до устья вытяжной шахты, м;

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

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}, \quad (14)$$

где  $t$  – расчётная температура воздуха, °С, внутреннего – согласно табл. 8, наружного – средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 (табл. 7);

$\rho_n$  – плотность наружного воздуха,  $кг/м^3$ , определяемая по формуле

$$\rho_i = \frac{\gamma_i}{9,8}, \quad (15)$$

где  $v_{\text{ср}}$  – максимальная из средних скоростей ветра по румбам в январе, м/с;

$c_n$  и  $c_{\text{п}}$  – аэродинамические коэффициенты, соответственно, наветренной и подветренной поверхностей ограждения, принимаемые согласно приложению 4 [4];

$k_i$  – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте, принимаемый по табл. 6 [4].

Для рассчитываемого окна при  $t_{\text{в}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{н}}^5 = -25 \text{ }^\circ\text{C}$  имеем:

$$\gamma_i = \frac{3463}{273 - 25} = 13,96 \text{ Н/м}^3;$$

$$\gamma_{\text{а}} = \frac{3463}{273 + 18} = 11,90 \text{ Н/м}^3;$$

$$\rho_i = \frac{13,96}{9,8} = 1,42 \text{ кг/м}^3.$$

Из приложения 4 [4] принимаем для отдельно стоящих плоских сплошных вертикальных конструкций  $c_n = +0,8$  и  $c_{\text{п}} = -0,6$ .

Расчётную высоту от центра окна до устья вытяжной шахты и коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте, принимаем исходя из размеров, приведённых на рис. 11.

Расчёты по определению требуемого сопротивления воздухопроницанию сведём в табл. 13.

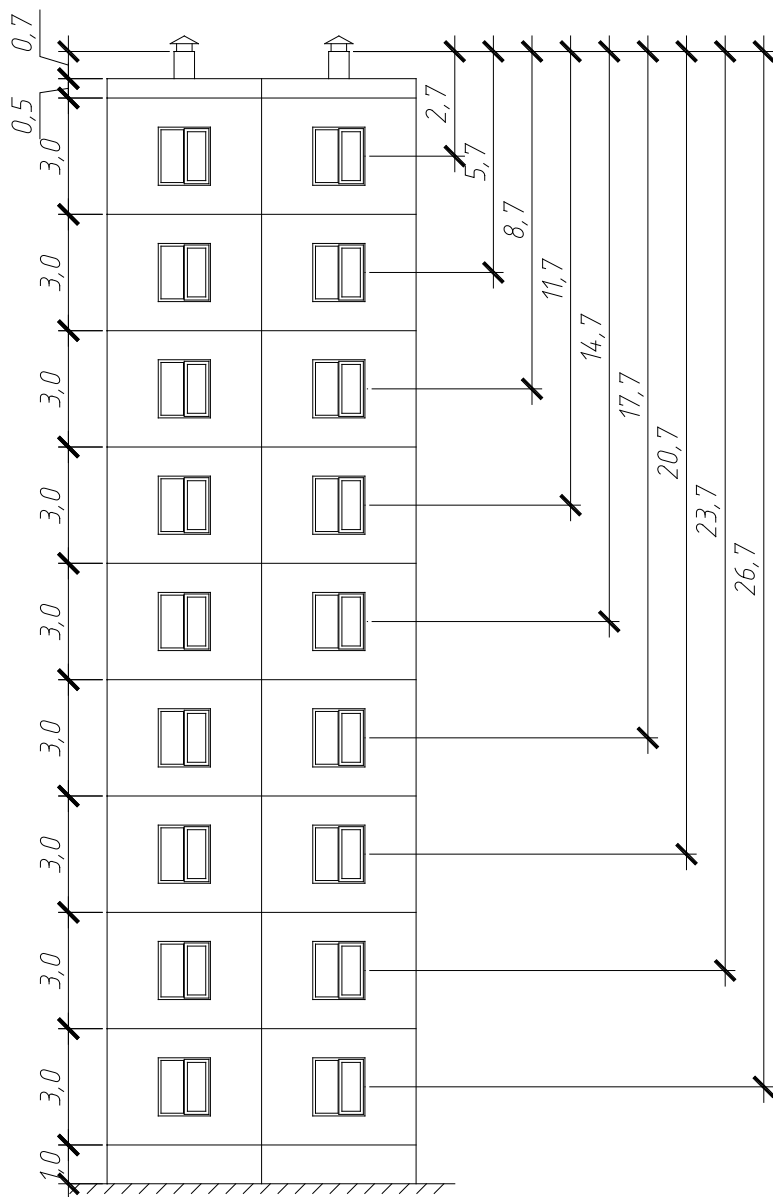


Рис. 11. Фасад здания

## Расчёт требуемого сопротивления воздухопроницанию окон

Этаж	$H, \text{ м}$	$\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}, \text{ Н/м}^3$	$\rho_{\text{н}}, \text{ кг/м}^3$	$v_{\text{ср}}, \text{ м/с}$	$c_{\text{н}} - c_{\text{в}}$	$k_i$	$\Delta p, \text{ Па}$	$G_{\text{норм}}, \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{ч)}$	$R_{\text{в.тр}}, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$
1	26,7	2,06	1,42	5,4	1,4	0,500	69,49	10	0,365
2	23,7					0,515	63,75		0,345
3	20,7					0,605	60,18		0,332
4	17,7					0,665	55,74		0,315
5	14,7					0,695	50,43		0,295
6	11,7					0,725	45,12		0,274
7	8,7					0,856	42,73		0,264
8	5,7					0,894	37,65		0,243
9	2,7					0,931	32,55		0,220

Сопротивление воздухопроницанию окон, устанавливаемых в данном здании, может составлять от 80 % до 120 % от требуемого, т. е. для каждого окна существует диапазон значений сопротивления воздухопроницанию. Классы устанавливаемых окон по воздухопроницанию выбираются исходя из значений сопротивления воздухопроницанию на границах класса. Данные об устанавливаемых в рассчитываемом здании окнах сведены в табл. 14.

**Сопrotивление воздухопроницанию  
и классы устанавливаемых окон**

<b>Этаж</b>	<b>Требуемое сопротивление воздухопроницанию <math>R_{в,тр}</math>, м<sup>2</sup>·ч·Па/кг</b>	<b>Сопrotивление воздухопроницанию окон <math>R_{в}</math>, м<sup>2</sup>·ч·Па/кг</b>	<b>Классы окон по воздухопроницанию</b>
1	0,365	0,292–0,438	<b>Б</b> (при сопротивлении воздухопроницанию 0,433–0,438 м <sup>2</sup> ·ч·Па/кг); <b>В</b> (при сопротивлении воздухопроницанию 0,292–0,433 м <sup>2</sup> ·ч·Па/кг)
2	0,345	0,276–0,414	<b>В</b>
3	0,332	0,266–0,398	<b>В</b>
4	0,315	0,252–0,378	<b>В</b>
5	0,295	0,236 – 0,329	<b>В</b>
6	0,274	0,219–0,329	<b>В</b> (при сопротивлении воздухопроницанию 0,229–0,329 м <sup>2</sup> ·ч·Па/кг); <b>Г</b> (при сопротивлении воздухопроницанию 0,219–0,229 м <sup>2</sup> ·ч·Па/кг)
7	0,264	0,211–0,317	<b>В</b> (при сопротивлении воздухопроницанию 0,229–0,317 м <sup>2</sup> ·ч·Па/кг); <b>Г</b> (при сопротивлении воздухопроницанию 0,211–0,229 м <sup>2</sup> ·ч·Па/кг)



Этаж	Требуемое сопротивление воздухопроницанию $R_{в,тр}$ , $м^2 \cdot ч \cdot Па/кг$	Сопротивление воздухопроницанию окон $R_{в,}$ , $м^2 \cdot ч \cdot Па/кг$	Классы окон по воздухопроницанию
8	0,243	0,194–0,292	<b>В</b> (при сопротивлении воздухопроницанию 0,229–0,292 $м^2 \cdot ч \cdot Па/кг$ ); <b>Г</b> (при сопротивлении воздухопроницанию 0,194–0,229 $м^2 \cdot ч \cdot Па/кг$ )
9	0,220	0,176–0,264	<b>В</b> (при сопротивлении воздухопроницанию 0,229–0,264 $м^2 \cdot ч \cdot Па/кг$ ); <b>Г</b> (при сопротивлении воздухопроницанию 0,176–0,229 $м^2 \cdot ч \cdot Па/кг$ )

### 2.5 Расчёт тепловлажностного режима наружных ограждений

Расчёт тепловлажностного режима наружного ограждения выполняется по методу К. Ф. Фокина [6] в следующей последовательности.

1. Построение графика распределения температур.

Температуру на границе каждого слоя ограждения определяется по формуле:

$$t_n = t_{\text{в}} - q \cdot \left( \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_i \right), \quad (16)$$

где  $q$  – средний за отопительный период тепловой поток через ограждение, Вт/м<sup>2</sup>, рассчитываемый по выражению:

$$q = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н.от}}}{R}, \quad (17)$$

где  $t_{\text{н.от}}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С;

$R$  – действительное сопротивление теплопередаче ограждения, м<sup>2</sup>·°С/Вт, определённое в п. 2.2.

$\sum_{i=1}^n R_i$  – термическое сопротивление ограждения от внутренней поверхности до рассматриваемой плоскости, м<sup>2</sup>·°С/Вт.

Затем необходимо вычертить ограждающую конструкцию в масштабе. С левой стороны в масштабе 1:1 строится шкала температур. В рассматриваемых плоскостях откладываем рассчитанные значения температур и соединяем их ломаной линией. Эта линия и будет график распределения температур в ограждении.

2. Построение кривой распределения максимальных парциальных давлений.

По полученным в предыдущем пункте температурам находим из табл. Е.1 [1] максимальные парциальные давления водяного пара. В толще утеплителя с целью лучшей детализации кривой необходимо выбрать две дополнительных точки.

Затем с левой стороны от шкалы температур в масштабе 1:100 строится шкала давлений. В рассматриваемых плоскостях откладываем полученные значения максимальных парциальных давлений и соединяем их кривой. Данная кривая является графиком распреде-

ления максимальных парциальных давлений водяного пара в ограждении.

3. Построение графика распределения парциальных давлений водяного пара.

Парциальное давление водяного пара влажного воздуха в рассматриваемом сечении ограждения, Па, можно определить по выражению

$$e_k = e_a - P \cdot \sum_{i=1}^k R_{i1}, \quad (18)$$

где  $e_b$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, рассчитываемое по формуле

$$e_a = 0,01 \cdot \varphi_a \cdot \dot{A}_a, \quad (19)$$

где  $\varphi_b$  – расчётная относительная влажность внутреннего воздуха, %, определённая в п. 2.1;

$E_b$  – максимальное парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчётной его температуре;

$P$  – средний за отопительный период диффундирующего в ограждении водяного пара, кг/(м<sup>2</sup>·ч), рассчитываемый по формуле

$$D = \frac{e_a - e_{i.i\dot{o}}}{R_i}, \quad (20)$$

где  $e_{н.от}$  – среднее за отопительный период парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, рассчитываемое по выражению

$$e_i = 0,01 \cdot \varphi_{i.i\dot{o}} \cdot \dot{A}_{i.i\dot{o}}, \quad (21)$$

где  $\varphi_{н.от}$  – расчётная относительная влажность наружного воздуха, %, определённая в п. 2.1;

$E_{н.от}$  – максимальное парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, при средней температуре за отопительный период;

$R_n$  – сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ , определяемое по формуле

$$R_n = \sum_{i=1}^n R_{\gamma i} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i}, \quad (22)$$

где  $\delta_i$  – толщина  $i$ -того слоя, м;

$\mu_i$  – коэффициент паропрооницаемости  $i$ -того слоя,  $\text{мг} / (\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ , принимаемый в соответствии с табл. А.1 [1];

$\sum_{i=1}^k R_{\gamma i}$  – сопротивление паропрооницанию слоёв ограждения от внутренней поверхности до рассматриваемой плоскости,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ .

Следует учитывать, что сопротивление паропрооницанию воздушных прослоек в ограждениях вне зависимости от толщины и расположения принимается равным нулю.

Полученные значения откладываются в соответствующих плоскостях ограждения. Соединяя линией полученные значения, получаем график распределения парциальных давлений водяного пара в ограждении.

Возможны три случая:

а) линия парциальных давлений лежит ниже линии максимальных парциальных давлений по всему сечению – конденсация отсутствует;

б) линия парциальных давлений пересекается с линией максимальных парциальных давлений в двух точках – конденсация происходит в области между точками пересечения;

в) линия парциальных давлений пересекается с линией максимальных парциальных давлений в одной точке и лежит ниже её – конденсация происходит в области между точкой пересечения и наружной поверхностью.

#### 4. Определение границ зоны конденсации.

Для построения линии падения парциального давления водяного пара в ограждении при конденсации в ней влаги проводим из точек

$e_b$  и  $e_n$ , соответствующих парциальным давлениям внутренней и наружной поверхностях ограждения, прямые, касательные к линии максимальных парциальных давлений  $E$ . Таким образом, между точками касания к графику максимальных парциальных давлений  $E_i$  и  $E_j$  и будет искомая зона реальной конденсации и график падения парциальных давлений в ограждении будет идти по линии  $e_b E_i E_j e_n$ .

5. Расчёт сопротивления паропрооницанию ограждающей конструкции.

Сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации  $R_{в.п.}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ , должно быть не менее требуемого сопротивления паропрооницанию  $R_{п.тр.}$ , определяемого по формуле:

$$R_{i.д.д} = R_{i.f} \cdot \frac{\dot{a}_a - \dot{A}_e}{\dot{A}_e - \dot{a}_{i.f.д}}, \quad (23)$$

где  $R_{п.н}$  – сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции в пределах от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности рассматриваемого ограждения,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ , определяемое по формуле (22);

$E_k$  – максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации, Па, при температуре в плоскости возможной конденсации  $t_k$ , °C, определяемой по формуле (16).

Плоскость возможной конденсации многослойной конструкции совпадает с поверхностью теплоизоляционного слоя, ближайшей к наружной поверхности ограждающей конструкции.

Если  $R_{в.п} > R_{п.тр.}$ , то устройство пароизоляции не требуется, если же  $R_{в.п} < R_{п.тр.}$ , то пароизоляция необходима.

6. Расчёт действительного сопротивления паропрооницанию и построение уточнённых графиков тепловлажностного режима ограждения.

При устройстве пароизоляции, например, из полиэтиленовой плёнки, изменяется распределение парциальных давлений водяного пара в ограждении. Для этого необходимо заново рассчитать сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции  $R_{п.}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ , по формуле (22) и построить уточнённый график распределения парциальных давлений. Перерасчёт температур, а след-

ственно, и максимальных парциальных давлений водяного пара, можно не проводить, так как ввиду малой толщины пароизоляция почти не влияет на сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции.

Рассмотрим в качестве примера построение графиков тепловлажностного режима наружной стены и совмещённого покрытия для рассматриваемого ранее жилого здания.

### 1. Наружная стена.

Из табл. 7 и 8 имеем:  $t_{н.от} = -2,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_{н.от} = 83 \text{ } \%$ ,  $t_{в} = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_{в} = 55 \text{ } \%$ .

Из п. 2.2 сопротивление теплопередаче наружной стены  $R_c = 3,34 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Средний за отопительный период тепловой поток через наружную стену

$$q = \frac{18 - (-2)}{3,34} = 5,99 \text{ Вт/м}^2.$$

Обозначим температуру на внутренней поверхности стены  $t_1$ ; на поверхности утеплителя, соприкасающейся с железобетоном,  $t_2$ ; на поверхности утеплителя, на которую нанесена штукатурка,  $t_3$  и на наружной поверхности стены  $t_4$ .

Рассчитаем данные температуры по формуле (16):

$$t_1 = 18 - 5,99 \cdot \frac{1}{8,7} = 17,3 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_2 = 18 - 5,99 \cdot \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{2,04} \right) = 16,7 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_3 = 18 - 5,99 \cdot \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{0,16}{0,052} \right) = -1,7 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_4 = 18 - 5,99 \cdot \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{0,16}{0,052} + \frac{0,01}{0,93} \right) = -1,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

По полученным значениям строим график распределения температур в ограждении (рис. 12, линия  $t$ ).

По табл. Е.1 [1] находим значения максимальных парциальных давлений водяного пара при температурах внутреннего и наружного воздуха и температурах в плоскостях стены (с двумя дополнительными точками – 10 °С и 0 °С) и сводим в таблицу.

Таблица 15

**Значения максимальных парциальных давлений  
в плоскостях наружной стены**

Температура $t$ , °С	Максимальное парциальное давление водяного пара $E$ , Па
18,0	2064
17,3	1975,1
16,7	1901
10,0	1228
0,0	611
-1,7	530,8
-1,8	526,2
-2,0	517

По полученным значениям строим график распределения максимальных парциальных давлений водяного пара в стене (рис. 12, линия  $E$ ).

Для нахождения парциальных давлений водяного пара найдём парциальные давления водяных паров внутреннего и наружного воздуха по формулам (19) и (21), а также сопротивление паропроницанию наружной стены по формуле (22).

$$\dot{a}_a = 0,01 \cdot 55 \cdot 2064 = 1135,2 \text{ Па};$$

$$\dot{a}_{i,0} = 0,01 \cdot 83 \cdot 517 = 429,1 \text{ Па};$$

$$R_i = \frac{0,2}{0,03} + \frac{0,16}{0,05} + \frac{0,01}{0,09} = 9,98 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}.$$

Тогда средний за отопительный период поток диффундирующего в наружной стене водяного пара

$$\dot{D} = \frac{1135,2 - 429,1}{9,98} = 70,75 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Рассчитаем парциальные давления водяного пара в плоскостях, принятых для нахождения температур, по формуле (18):

$$\dot{a}_1 = \dot{a}_a = 1135,2 \text{ Па};$$

$$\dot{a}_2 = 1135,2 - 70,75 \cdot \frac{0,2}{0,03} = 663,5 \text{ Па};$$

$$\dot{a}_3 = 1135,2 - 70,75 \cdot \left( \frac{0,2}{0,03} + \frac{0,16}{0,05} \right) = 437,1 \text{ Па};$$

$$\dot{a}_4 = \dot{a}_{i,\delta} = 429,1 \text{ Па}.$$

По полученным значениям строим график распределения парциальных давлений водяного пара в наружной стене (рис. 12, линия *e*).

Рассчитаем требуемое сопротивление паропроницанию. Сопротивление паропроницанию наружной стены в пределах от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности стены

$$R_{i,f} = \frac{0,01}{0,09} = 0,11 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}.$$

Для плоскости возможной конденсации  $E_k = 530,8 \text{ Па}$ . Тогда

$$R_{i,\delta\delta} = 0,11 \cdot \frac{1135,2 - 530,8}{530,8 - 429,1} = 0,65 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}.$$

Сопротивление паропроницанию наружной стены в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации:



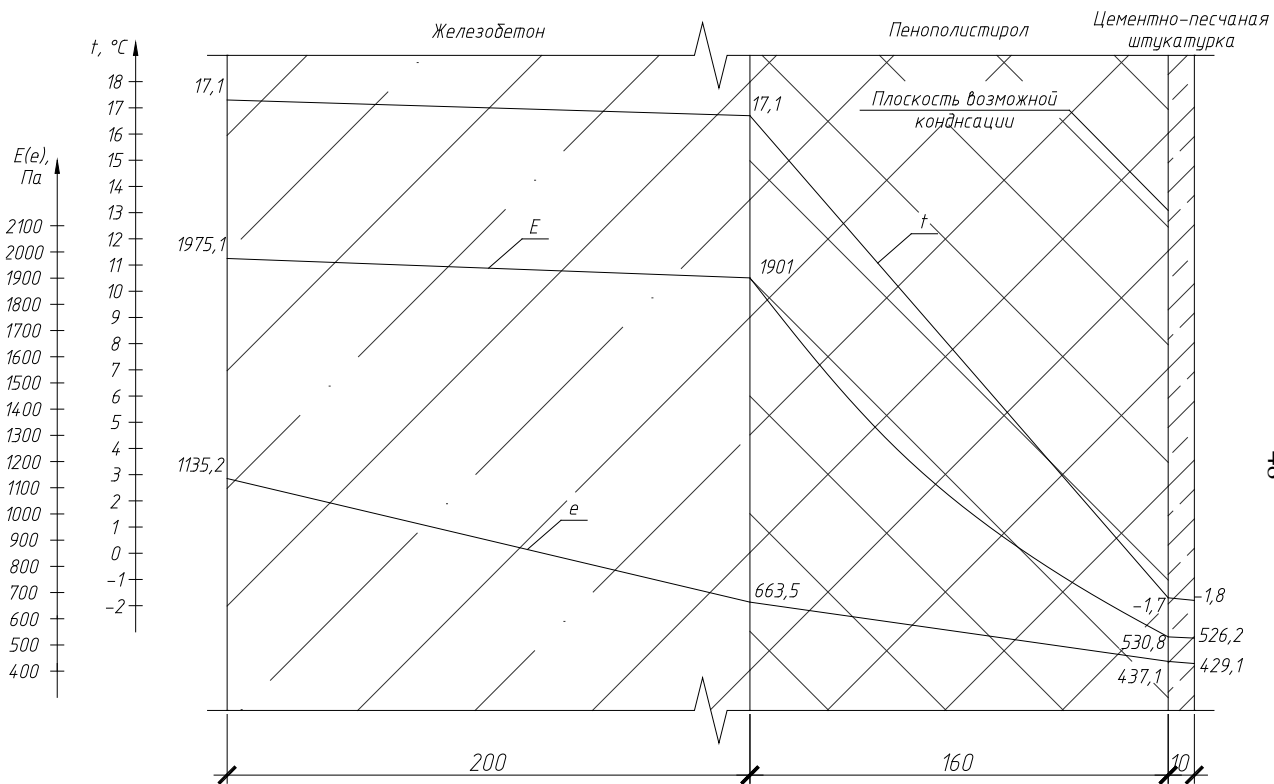


Рис. 12. Графики тепловлажностного режима наружной стены

$$R_{a,i} = \frac{0,2}{0,03} + \frac{0,16}{0,05} = 9,87 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}.$$

Так как  $R_{в.п} > R_{п.тр}$ , то устройство пароизоляции не требуется.

## 2. Совмещённое покрытие

Средний за отопительный период тепловой поток через совмещённое покрытие

$$q = \frac{18 - (-2)}{6,15} = 3,25 \text{ Вт/м}^2.$$

Обозначим температуру на внутренней поверхности покрытия  $t_1$ ; на поверхности утеплителя, соприкасающейся с железобетонной плитой,  $t_2$ ; на поверхности утеплителя, соприкасающейся с цементно-песчаной стяжкой,  $t_3$ , на поверхности стяжки, соприкасающейся с рубероидом,  $t_4$ , и на наружной поверхности покрытия  $t_5$ .

Рассчитаем данные температуры:

$$t_1 = 18 - 3,25 \cdot \frac{1}{8,7} = 17,6 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_2 = 18 - 3,25 \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 0,167 \right) = 17,1 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_3 = 18 - 3,25 \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 0,167 + \frac{0,3}{0,052} \right) = -1,67 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_4 = 18 - 3,25 \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 0,167 + \frac{0,3}{0,052} + \frac{0,02}{0,93} \right) = -1,74 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_5 = 18 - 3,25 \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 0,167 + \frac{0,3}{0,052} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,006}{0,17} \right) = -1,9 \text{ }^\circ\text{C}.$$

По полученным значениям строим график распределения температур в ограждении (рис. 13, линия  $t$ ).

По табл. Е.1 [1] находим значения максимальных парциальных давлений водяного пара при температурах внутреннего и наружного воздуха и температурах в плоскостях совмещённого покрытия (с двумя дополнительными точками – 10 °С и 0 °С) и сводим в таблицу.

Таблица 16

**Значения максимальных парциальных давлений  
в плоскостях совмещённого покрытия**

Температура $t$ , °С	Максимальное парциальное давление водяного пара $E$ , Па
18,0	2064
17,6	2013,2
17,1	1949,7
10,0	1228
0,0	611
-1,67	532,2
-1,74	529
-1,9	521,6
-2,0	517

По полученным значениям строим график распределения максимальных парциальных давлений водяного пара в совмещённом покрытии (рис. 13, линия  $E$ ).

Найдём сопротивление паропрооницанию совмещённого покрытия. Так как железобетонная плита имеет воздушные прослойки, то её сопротивление паропрооницанию:

$$R_{\text{в.р.}} = \frac{R_{\text{п1}} \cdot F_1 + R_2 \cdot F_2}{F_1 + F_2}, \quad (24)$$

где  $R_{\text{п1}}$  и  $R_{\text{п2}}$  – сопротивление паропрооницанию,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ , определённые по сечениям 1 и 2 на рис. 7;

$F_1$  и  $F_2$  – площади сечений 1 и 2 соответственно,  $\text{м}^2$ .

Для сечения 1

$$R_{\gamma 1} = \frac{0,05}{0,03} + 0 + \frac{0,05}{0,03} = 3,33 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}.$$

Для сечения 2

$$R_{\gamma 1} = \frac{0,26}{0,03} = 8,67 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}.$$

Тогда

$$R_{\gamma \text{ экв}} = \frac{3,33 \cdot 0,16 \cdot 0,26 + 8,67 \cdot 0,075 \cdot 0,26}{0,26 \cdot 0,235} = \frac{3,33 \cdot 0,16 + 8,67 \cdot 0,075}{0,235} = 5,03 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}.$$

Сопротивление паропроницанию совмещённого покрытия

$$R_{\gamma} = 5,03 + \frac{0,3}{0,05} + \frac{0,02}{0,09} + 4,4 = 15,65 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}.$$

Тогда средний за отопительный период поток диффундирующего в совмещённом покрытии водяного пара

$$D = \frac{1135,2 - 429,1}{15,65} = 45,11 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Рассчитаем парциальные давления водяного пара в плоскостях покрытия, принятых для нахождения температур:

$$\dot{a}_1 = \dot{a}_4 = 1135,2 \text{ Па};$$

$$\dot{a}_2 = 1135,2 - 45,11 \cdot 5,03 = 908,3 \text{ Па};$$

$$\dot{a}_3 = 1135,2 - 45,11 \cdot \left( 5,03 + \frac{0,3}{0,05} \right) = 637,6 \text{ Па};$$

$$\dot{a}_4 = 1135,2 - 45,11 \cdot \left( 5,03 + \frac{0,3}{0,05} + \frac{0,02}{0,09} \right) = 627,6 \text{ Па};$$

$$\dot{a}_5 = \dot{a}_{i,\delta} = 429,1 \text{ Па}.$$

По полученным значениям строим график распределения парциальных давлений водяного пара в совмещённом покрытии (рис. 13, линия  $e$ ).

Рассчитаем требуемое сопротивление паропроницанию. Сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции в пределах от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности ограждения

$$R_{i,i} = \frac{0,02}{0,09} + 4,4 = 4,62 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}.$$

Для плоскости возможной конденсации  $E_k = 532,2$  Па. Тогда

$$R_{i,\delta\delta} = 4,62 \cdot \frac{1135,2 - 532,2}{532,2 - 429,1} = 27,02 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}.$$

Сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации

$$R_{a,i} = 5,03 + \frac{0,3}{0,05} = 11,03 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}.$$

Так как  $R_{в.п} < R_{п.тр}$ , то требуется устройство пароизоляции. В качестве пароизоляции используем полиэтиленовую плёнку с  $R_{п.пл} = 7,3 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$ . Количество слоёв найдём по формуле

$$n = \frac{R_{i,\delta\delta} - R_{a,i}}{R_{i,i\delta}}, \quad (25)$$

$$n = \frac{27,02 - 11,03}{7,3} = 3 \text{ слоя.}$$

Тогда уточнённое сопротивление паропроницанию совмещённого покрытия

$$R_{\text{п}} = 5,03 + 7,3 \cdot 3 + \frac{0,3}{0,05} + \frac{0,02}{0,09} + 4,4 = 37,55 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}.$$

Пересчитаем парциальные давления водяного пара в плоскостях покрытия:

$$D = \frac{1135,2 - 429,1}{37,55} = 18,80 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

$$\dot{a}_1 = \dot{a}_a = 1135,2 \text{ Па};$$

$$\dot{a}_2 = 1135,2 - 18,8 \cdot 5,03 = 1040,6 \text{ Па};$$

$$\dot{a}_2' = 1135,2 - 18,8 \cdot (5,03 + 7,3 \cdot 3) = 628,9 \text{ Па};$$

$$\dot{a}_3 = 1135,2 - 18,8 \cdot \left( 5,03 + 7,3 \cdot 3 + \frac{0,3}{0,05} \right) = 516,1 \text{ Па};$$

$$\dot{a}_4 = 1135,2 - 18,8 \cdot \left( 5,03 + 7,3 \cdot 3 + \frac{0,3}{0,05} + \frac{0,02}{0,09} \right) = 511,9 \text{ Па};$$

$$\dot{a}_5 = \dot{a}_{\text{в.д.}} = 429,1 \text{ Па}.$$

Используя рассчитанные ранние значения температур и максимальных парциальных давлений водяного пара и по полученным значениям парциальных давлений водяного пара в совмещённом покрытии, строим уточнённые графики тепловлажностного режима (рис. 14).

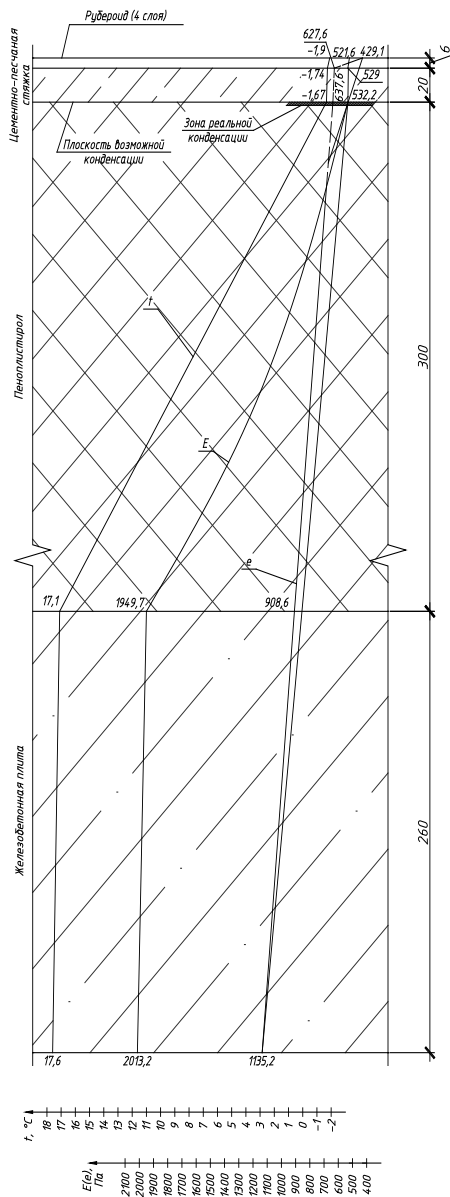


Рис. 13. Графики тепловлажностного режима совмещённого покрытия

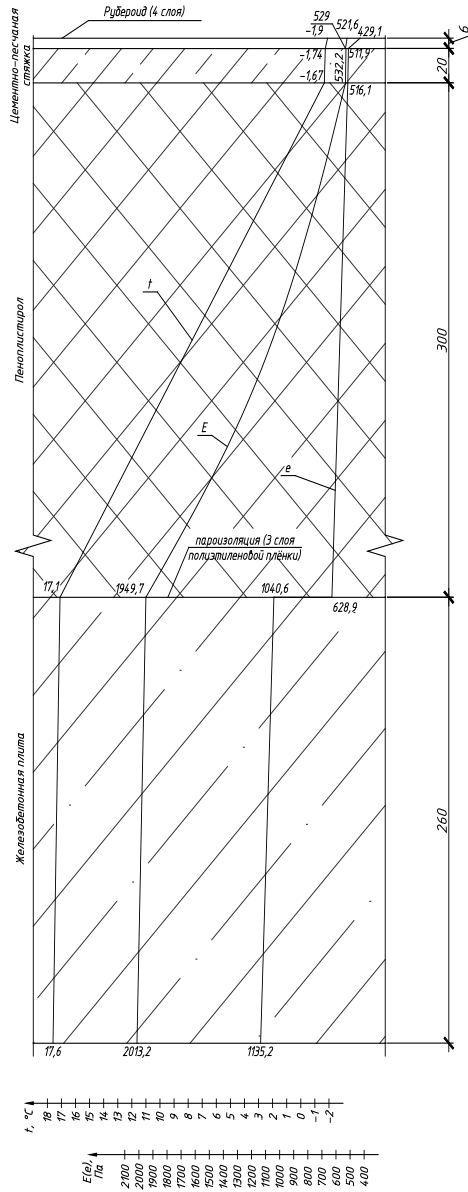


Рис. 14. Уточнённые графики тепловлажностного режима совмещённого покрытия



## 2.6 Заключение

В данном разделе даётся обобщение выполненных расчётов и перечень принятых характеристик ограждающих конструкций. На примере рассчитываемого в данных указаниях 9-этажного жилого дома, расположенного в г. Сенно (Витебская область), принятые характеристики ограждений имеют вид.

Наружная стена – железобетонная монолитная (толщина железобетона 200 мм) с утеплителем из пенополистирольных плит (плотность 25 кг/м<sup>3</sup>, толщина 160 мм), оштукатуренная с наружной стороны (толщина штукатурки 10 мм). Действительное сопротивление теплопередаче наружной стены  $R_{СТ} = 3,34 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Минимальная температура внутренней поверхности при центральном водяном отоплении  $t_{в.п \text{ min}} = 16,2 \text{ °C}$ .

Совмещённое покрытие состоит из железобетонной многослойной плиты (толщина 260 мм) с утеплителем из пенополистирольных плит (плотность 25 кг/м<sup>3</sup>, толщина 300 мм), цементно-песчаной стяжки (толщина 20 мм) и гидроизоляции, выполненной из рубероида, уложенного в 4 слоя. С целью недопущения конденсации водяных паров в толще утеплителя предусмотрено устройство пароизоляции – 3 слоя полиэтиленовой плёнки. Действительное сопротивление теплопередаче совмещённого покрытия составляет  $R_{П} = 6,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Окна выполнены из 5-камерного поливинилхлоридного профиля «Veka» системы Softline XXL с остеклением из двухкамерного энергосберегающего стеклопакета марки 4-12-4И-12-И4. Приведённое сопротивление теплопередаче окна составляет  $R_{ок} = 1,06 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Окна на 1 этаже относятся к классам Б или В, на 2–5 этажах – только к классу В и на 6–9 этажах – к классам В и Г по воздухопроницанию.

## Литература

1. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-2.04-43–2006 (02250). – Минск, 2007. – 35 с.
2. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам : ГОСТ 2.105–95. – Минск, 1996. – 40 с.
3. Строительная климатология : СНБ 2.04.02–2000. – Минск, 2001. – 40 с.
4. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07–85. – Минск, 2005. – 37 с.
5. Окна и балконные двери для зданий и сооружений. Общие технические условия : СТБ 939–93. – Минск, 1994. – 36 с.
6. Фокин, К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин ; под ред. Ю. А. Табунщикова, В. Г. Гагарина. – 5-е изд., испр. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Теплофизические характеристики некоторых строительных материалов

Материал	Характеристики материала в сухом состоянии			Расчётное массовое от- ношение влаги в мате- риале W, % (при усло- виях эксплуатации)		Расчётные коэффициенты (при условиях эксплуатации)				
	плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	удельная теплоём- кость $c$ , кДж/(кг·°C)	коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°C)			Теплопроводно- сти $\lambda$ , Вт/(м·°C)		теплоусвоения $s$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C) (при периоде колебаний $T = 24$ ч)		Паропроницаемо- сти $\mu$ , мг/(м·ч·Па)
						А	Б	А	Б	А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>I Бетоны</b>										
1 Железобетон	2500	0,84	1,69	1	3	1,92	2,04	17,98	19,70	0,03
2 Аглопоритобетон	1800	0,84	0,70	5	8	0,85	0,93	10,82	11,98	0,075
3 Керамзитобетон	1800	0,84	0,66	5	10	0,80	0,92	10,50	12,33	0,09
4 То же	1400	0,84	0,47	5	10	0,56	0,65	7,75	9,14	0,098
<b>II Кирпичная кладка</b>										
<b>А Кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе</b>										
5 Глиняного обыкновенного	1800	0,88	0,56	1	2	0,70	0,81	9,20	10,12	0,11

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
6 Силикатного	1900	0,88	0,97	2	4	1,18	1,40	10,38	11,52	0,09
7 То же	1700	0,88	0,66	2	4	0,87	1,07	9,16	10,29	0,115
8 »	1600	0,88	0,57	2	4	0,69	0,81	8,59	9,79	0,12
<b>Б Кладка из кирпича и камней пустотных на цементно-песчаном растворе</b>										
9 Керамического плотностью брутто 1400 кг/м <sup>3</sup>	1600	0,88	0,47	1	2	0,63	0,78	7,91	8,48	0,14
10 Камней керамических 18-щелевых плотностью 1600 кг/м <sup>3</sup>	1700	0,88	0,47	1	2	0,575	0,630	8,72	9,58	0,15
11 Кирпича силикатного утолщённого	1600	0,88	0,77	2	4	1,03	1,28	8,83	9,91	0,12
12 Камней силикатных	1400	0,88	0,65	2	4	0,79	0,93	7,93	9,01	0,14
<b>III Отделочные материалы</b>										
13 Цементно-песчаный раствор	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,60	11,09	0,09
14 Плиты из гипса	1000	0,84	0,23	4	6	0,29	0,35	4,62	5,28	0,11
<b>IV Теплоизоляционные материалы</b>										
<b>А Минеральная вата</b>										
15 Маты минераловатные прошивные	125	0,84	0,044	0,6	2,0	0,046	0,051	0,60	0,66	0,56
16 То же	100	0,84	0,043	0,6	2,0	0,045	0,048	0,53	0,57	0,58
17 »	75	0,84	0,042	0,6	2,0	0,043	0,046	0,45	0,48	0,59

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
18 Маты минераловатные прошивные	50	0,84	0,041	0,6	2,0	0,042	0,045	0,36	0,39	0,61
19 Плиты мягкие, полужёсткие и жёсткие минераловатные на синтетическом связующем	250	0,84	0,057	0,6	2,0	0,061	0,069	0,98	1,08	0,45
20 То же	200	0,84	0,054	0,6	2,0	0,057	0,064	0,85	0,93	0,49
21 »	175	0,84	0,051	0,6	2,0	0,053	0,059	0,76	0,83	0,51
19 Плиты мягкие, полужёсткие и жёсткие минераловатные на синтетическом связующем	125	0,84	0,048	0,6	2,0	0,050	0,054	0,63	0,67	0,53
23 То же	75	0,84	0,045	0,6	2,0	0,047	0,051	0,47	0,51	0,57
<b>Б Пенополистирол</b>										
24 Плиты пенополистирольные	50	1,34	0,041	2	10	0,043	0,052	0,46	0,55	0,05
25 То же	35	1,34	0,038	2	10	0,041	0,050	0,40	0,48	0,05
26 »	25	1,34	0,041	2	10	0,043	0,052	0,33	0,39	0,05
27 »	15	1,34	0,043	2	10	0,045	0,054	0,25	0,30	0,05

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Сопротивление теплопередаче ПВХ профилей (согласно данным производителей)

Марка профиля	Профильная система	Количество камер	Приведённое сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$
«Aluplast»	Ideal 8000	6	1,00
	Ideal 6000	6	0,91
«Lg»	L-700	5	0,91
КВЕ	88 мм (без усиленного вкладыша)	5	1,05
«Montblanc»	Nord 70 (без усиленного вкладыша)	5	0,82
«Plafen»	S-line (без усиленного вкладыша)	5	0,87
«Salamander»	bluEvolution (стандартное армирование)	6	1,00
«Veka»	Alphaline	6	1,25
	Softline XXL	5	1,00
	Topline Plus	4	1,34

**ПРИЛОЖЕНИЕ В****Сопротивление теплопередаче стеклопакетов  
(согласно данным производителей)**

<b>Марка стеклопакета</b>	<b>Толщина стеклопакета <math>\delta</math>, мм</b>	<b>Приведённое сопротивление теплопередаче, <math>\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}</math></b>
4-Ar8-И4-Ar8-И4	28	1,09
4-10-4И-10-И4	32	0,95
4-Ar10-4-Ar10-И4	32	0,92
4-Ar10-4И-Ar10-И4	32	1,28
4-12-4И-12-И4	36	1,09
4-Ar12-4-Ar12-И4	36	0,98
4-Ar12-4И-Ar12-И4	36	1,45
4-14-4И-14-И4	40	1,16
4-Ar14-4-Ar14-И4	40	0,98
4-Ar14-4И-Ar14-И4	40	1,49



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Задание на курсовую работу .....	3
Методические указания к выполнению курсовой работы.....	17
1 Общие указания .....	17
2 Порядок выполнения работы .....	17
2.1 Выбор расчётных параметров наружного и внутреннего воздуха.....	19
2.2 Принятие сопротивлений теплопередаче и определение толщин теплоизоляционных слоёв .....	20
2.3 Расчёт минимальной температуры внутренней поверхности стены .....	28
2.4 Теплотехнический расчёт оконного заполнения.....	29
2.5 Расчёт тепловлажностного режима наружных ограждений.....	40
2.6 Заключение .....	56
Литература .....	57
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	58
Приложение А .....	59
Приложение Б .....	62
Приложение В.....	63

Учебное издание

## **СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА**

Методические указания к курсовой работе  
для студентов специальности 1-70 04 02  
«Теплогасоснабжение, вентиляция  
и охрана воздушного бассейна»

Составитель

**ШИБЕКО** Александр Сергеевич

Подписано в печать 04.10.2012. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 3,78. Уч.-изд. л. 2,95. Тираж 100. Заказ 771.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.