

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

А. С. Шибeko

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

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

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области строительства и архитектуры*

Минск
БНТУ
2018

УДК 697.133:378.147.091.313 (075.8)

ББК 38.113я7

Ш55

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра «Энергетика» Белорусского государственного
аграрного технического университета
(зав. кафедрой, канд. техн. наук, доцент *В. А. Коротинский*);

зав. сектором РУП «Институт БелНИИС» *Д. А. Сокольчик*

Шибeko, А. С.

Ш55 Строительная теплофизика : пособие к курсовой работе для студентов специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» / А. С. Шибeko. – Минск: БНТУ, 2018. – 114 с.

ISBN 978-985-550-837-4.

Пособие к курсовой работе по дисциплине «Строительная теплофизика» предназначено для студентов очной и заочной форм обучения специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна», является переизданием пособия, выпущенного в 2012 г., и составлено с использованием действующих нормативно-правовых актов и учебной литературы.

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

Пособие может быть использовано при выполнении курсовых проектов и работ по дисциплинам «Отопление», «Вентиляция», «Инженерные сети и оборудование», «Теплогазоснабжение и вентиляция», «Теплоснабжение и вентиляция», а также при дипломном проектировании.

УДК 697.133:378.147.091.313 (075.8)

ББК 38.113я7

ISBN 978-985-550-837-4

© Шибeko А. С., 2018

© Белорусский национальный
технический университет, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Целью курсовой работы является практическое закрепление теоретических знаний, полученных при изучении дисциплины «Строительная теплофизика», на примере выявления теплотехнических качеств следующих ограждающих конструкций:

- 1) наружной стены;
- 2) совмещенного покрытия, чердачного перекрытия или перекрытия над проездом;
- 3) перекрытия над техническим подпольем;
- 4) заполнения световых проемов.

Курсовая работа состоит из следующих разделов:

- 1) выбора исходных данных к работе;
- 2) выбора расчетных параметров внутреннего и наружного воздуха;
- 3) принятия сопротивлений теплопередаче ограждения и определения толщин теплоизоляционных слоев с последующим уточнением действительного сопротивления теплопередаче;
- 4) расчета минимальной температуры внутренней поверхности наружной стены при заданном показателе неравномерности теплоотдачи приборов системы отопления ($m = 0,1$);
- 5) теплотехнического расчета оконного заполнения;
- 6) расчета сопротивления паропрооницанию наружной стены и совмещенного покрытия, чердачного перекрытия или перекрытия над проездом;
- 7) построения графиков тепловлажностного режима наружной стены и совмещенного покрытия (чердачного перекрытия или перекрытия над проездом) по методу К. Ф. Фокина (с уточнением величины действительного сопротивления теплопередаче и сопротивления паропрооницанию);
- 8) расчета действительной температуры в техническом подполье;
- 9) заключения.

1. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Для каждого из студентов задание является комбинацией нескольких исходных данных:

Жилое – Г1 – 5 – С13 – П1 – ПТП19 – У8 – О8,

где **Жилое** – назначение здания;

Г1 – вариант района строительства в соответствии с табл. 1.1;

5 – этажность здания;

С13 – вариант конструкции наружной стены согласно табл. 1.2 и рис. 1.1;

П1 – вариант конструкции совмещенного покрытия, чердачного перекрытия или перекрытия над проездом по табл. 1.3 и рис. 1.2;

ПТП19 – вариант конструкции перекрытия над техническим подпольем в соответствии с табл. 1.4–1.6 и рис. 1.3;

У8 – вариант материала утеплителя согласно табл. 1.7;

О8 – вариант конструкции оконного заполнения в соответствии с табл. 1.8, табл. 1.9 и рис. 1.4.

Расчетные параметры внутреннего воздуха выдаются студенту руководителем курсовой работы.

Таблица 1.1

Место строительства здания

Вариант	Местонахождение здания	Вариант	Местонахождение здания	Вариант	Местонахождение здания
Г1	Барановичи	Г40	Зельва	Г79	Новогрудок
Г2	Барань	Г41	Иваново	Г80	Орша
Г3	Бельничичи	Г42	Ивацевичи	Г81	Осиповичи
Г4	Береза	Г43	Ивьё	Г82	Островец
Г5	Березино	Г44	Калинковичи	Г83	Ошмяны
Г6	Берестовица	Г45	Каменец	Г84	Петриков
Г7	Бешенковичи	Г46	Кировск	Г85	Пинск

Окончание табл. 1.1

Вариант	Местонахождение здания	Вариант	Местонахождение здания	Вариант	Местонахождение здания
Г8	Бобруйск	Г47	Клецк	Г86	Полоцк
Г9	Борисов	Г48	Климовичи	Г87	Поставы
Г10	Брагин	Г49	Кличев	Г88	Пружаны
Г11	Браслав	Г50	Кобрин	Г89	Речица
Г12	Брест	Г51	Копыль	Г90	Рогачев
Г13	Буда-Кошелево	Г52	Кореличи	Г91	Россоны
Г14	Быхов	Г53	Корма	Г92	Светлогорск
Г15	Верхнедвинск	Г54	Костюковичи	Г93	Свислочь
Г16	Ветка	Г55	Краснополье	Г94	Скидель
Г17	Вилейка	Г56	Кричев	Г95	Славгород
Г18	Витебск	Г57	Крупки	Г96	Слоним
Г19	Волковыск	Г58	Лельчицы	Г97	Слуцк
Г20	Воложин	Г59	Лепель	Г98	Смолевичи
Г21	Ганцевичи	Г60	Лида	Г99	Сморгонь
Г22	Глубокое	Г61	Лиозно	Г100	Солигорск
Г23	Глуск	Г62	Логойск	Г101	Старые Дороги
Г24	Гомель	Г63	Лоев	Г102	Столбцы
Г25	Горки	Г64	Лунинец	Г103	Столин
Г26	Городок	Г65	Любань	Г104	Толочин
Г27	Гродно	Г66	Ляховичи	Г105	Узда
Г28	Дзержинск	Г67	Малорита	Г106	Ушачи
Г29	Добруш	Г68	Марьина Горка	Г107	Хойники
Г30	Докшицы	Г69	Минск	Г108	Хотимск
Г31	Дрогичин	Г70	Миоры	Г109	Чаусы
Г32	Дубровно	Г71	Могилев	Г110	Чашники
Г33	Дятлово	Г72	Мозырь	Г111	Червень
Г34	Ельск	Г73	Молодечно	Г112	Чериков
Г35	Жабинка	Г74	Мосты	Г113	Чечерск
Г36	Житковичи	Г75	Мстиславль	Г114	Шарковщина
Г37	Жлобин	Г76	Мядель	Г115	Шклов
Г38	Жодино	Г77	Наровля	Г116	Шумилино
Г39	Заславль	Г78	Несвиж	Г117	Щучин

Таблица 1.2

Наименование материалов слоев наружных стен

Вариант задания	Вариант конструкции стены по рис. 1.1	Наименование, плотность и толщина материала слоя номер		
		1	3	4
C1	а	Железобетон ($\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 90 \text{ мм}$	Железобетон ($\rho_3 = 2500 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 80 \text{ мм}$	-
C2		Аглопоритобетон ($\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 110 \text{ мм}$	Аглопоритобетон ($\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 50 \text{ мм}$	
C3		Керамзитобетон ($\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 100 \text{ мм}$	Керамзитобетон ($\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 60 \text{ мм}$	
C4		Керамзитобетон ($\rho_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 140 \text{ мм}$	Керамзитобетон ($\rho_3 = 1400 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 80 \text{ мм}$	
C5		Аглопоритобетон ($\rho_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 110 \text{ мм}$	Аглопоритобетон ($\rho_3 = 1400 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 90 \text{ мм}$	
C6	б	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 ($\rho_4 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_4 = 10 \text{ мм}$
C7		Кирпич пустотный керамический ($\rho_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$	Кирпич пустотный керамический ($\rho_3 = 1400 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 120 \text{ мм}$	
C8		Кирпич сплошной глиняный обыкновенный ($\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$	Кирпич силикатный ($\rho_3 = 1900 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 120 \text{ мм}$	
C9		Кирпич силикатный ($\rho_1 = 1700 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$	Кирпич силикатный ($\rho_3 = 1700 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 120 \text{ мм}$	

Продолжение табл. 1.2

Вариант задания	Вариант конструкции стены по рис. 1.1	Наименование, плотность и толщина материала слоя номер		
		1	3	4
C10	<i>б</i>	Кирпич сплошной глиняный Обыкновенный ($\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$	Кирпич силикатный ($\rho_3 = 1600 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 120 \text{ мм}$	Цементно-песчаная штукатурка ($\rho_4 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_4 = 10 \text{ мм}$
C11	<i>в</i>	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 ($\rho_4 = 1000 \text{ кг/м}^3$) $\delta_4 = 10 \text{ мм}$
C12		Камень силикатный ($\rho_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 380 \text{ мм}$		
C13		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 ($\rho_4 = 1000 \text{ кг/м}^3$) $\delta_4 = 10 \text{ мм}$
C14	Кирпич керамический пустотный ($\rho_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 380 \text{ мм}$			
C15	Кирпич пустотный силикатный утолщенный ($\rho_1 = 1600 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 380 \text{ мм}$			
C16	<i>г</i>	Железобетон ($\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 140 \text{ мм}$	Цементно-песчаная штукатурка ($\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 10 \text{ мм}$	-
C17		Керамзитобетон ($\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 200 \text{ мм}$		

Продолжение табл. 1.2

Вариант задания	Вариант конструкции стены по рис. 1.1	Наименование, плотность и толщина материала слоя номер		
		1	3	4
C18	з	Железобетон ($\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 180 \text{ мм}$	Цементно-песчаная штукатурка ($\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 10 \text{ мм}$	-
C19		Керамзитобетон ($\rho_1 = 1200 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 200 \text{ мм}$		
C20		Аглопоритобетон ($\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 200 \text{ мм}$		
C21	д	Газосиликат ($\rho_1 = 1000 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 300 \text{ мм}$	Цементно-песчаная штукатурка ($\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 10 \text{ мм}$	-
C22		Газосиликат ($\rho_1 = 900 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 300 \text{ мм}$		
C23		Газосиликат ($\rho_1 = 800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 300 \text{ мм}$		
C24		Газосиликат ($\rho_1 = 700 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 300 \text{ мм}$		
C25		Газосиликат ($\rho_1 = 600 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 300 \text{ мм}$		
C26	е	Кладка из керамических блоков размером $250 \times 120 \times 219 \text{ мм}$ пустотностью 42 % с порядовой перевязкой ложковых рядов тычковыми на цементно-песчаном растворе ($\rho_1 = 1040 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$	Цементно-песчаная штукатурка ($\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 10 \text{ мм}$	Штукатурка из сложного раствора ($\rho_4 = 1700 \text{ кг/м}^3$) $\delta_4 = 10 \text{ мм}$

Продолжение табл. 1.2

Вариант задания	Вариант конструкции стены по рис. 1.1	Наименование, плотность и толщина материала слоя номер		
		1	3	4
C27	e	Кладка из керамических блоков размером 250×120×219 мм пустотностью 42 % с порядовой перевязкой ложковых рядов тычковыми на цементно-перлитовом растворе ($\rho_1 = 930 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$	Цементно-песчаная штукатурка ($\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 10 \text{ мм}$	Штукатурка из сложного раствора ($\rho_4 = 1700 \text{ кг/м}^3$) $\delta_4 = 10 \text{ мм}$
C28		Кладка из керамических блоков размером 250×120×138 мм пустотностью 42 % с порядовой перевязкой ложковых рядов тычковыми на цементно-песчаном растворе ($\rho_1 = 1060 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$		
C29		Кладка из керамических блоков размером 250×120×138 мм пустотностью 42 % с порядовой перевязкой ложковых рядов тычковыми на цементно-перлитовом растворе ($\rho_1 = 930 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 250 \text{ мм}$		

Вариант задания	Вариант конструкции стены по рис. 1.1	Наименование, плотность и толщина материала слоя номер		
		1	3	4
С30	<i>e</i>	Кладка тычковыми рядами из керамических блоков размером 510×250×138 мм и пустотностью 42 % на цементно-перлитовом растворе ($\rho_1 = 1050 \text{ кг/м}^3$) $\delta_1 = 510 \text{ мм}$	Цементно-песчаная штукатурка ($\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$) $\delta_3 = 10 \text{ мм}$	Штукатурка из сложного раствора ($\rho_4 = 1700 \text{ кг/м}^3$) $\delta_4 = 10 \text{ мм}$

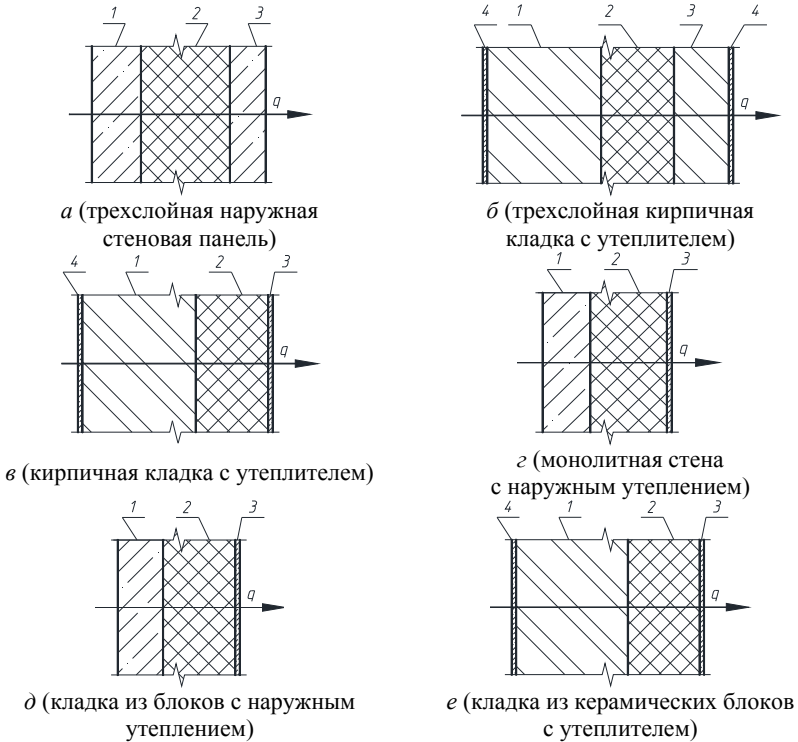


Рис. 1.1. Варианты конструкции наружных стен

Таблица 1.3

Варианты конструкции совмещенных покрытий,
чердачных перекрытий и перекрытий над проездом

Вариант задания	Вариант по рис. 1.2	Наименование конструкции	Наименование материала слоя номер			
			1	3	4	5
П1–П5	<i>a</i>	Совмещенное покрытие	Железобетон (конструкция – многослойная железобетонная плита)	Цементно-песчаная стяжка	Рубероид (4 слоя)	–
П6–П10	<i>б</i>	Чердачное перекрытие с кровлей из рулонных материалов		Цементно-песчаная стяжка	Затирка из сложного раствора	–
П11–П15	<i>в</i>	Совмещенное покрытие		Цементно-песчаная стяжка	Рубероид (4 слоя)	–
П16–П20	<i>г</i>	Перекрытие над проездом		Цементно-песчаная стяжка	Линолеум поливинилхлоридный на тканевой подоснове	Цементно-песчаная штукатурка
П21–П25	<i>д</i>	Совмещенное покрытие		Стяжка из сложного раствора	Рубероид (3 слоя)	–
П26–П30	<i>е</i>	Перекрытие над проездом		Цементно-песчаная стяжка	Сосновый паркет	Цементно-песчаная штукатурка

Таблица 1.4

Варианты конструкции перекрытия
над техническим подпольем

Вариант пере-крытия	Вариант по рис. 1.3	Наименование материала слоя номер			
		1	3	4	5
ПТП1– ПТП3	1	Железобетон (железобетонная плита перекрытия)	Плита древесно-новолокнистая на битумной мастике мягкая (плотность 200 кг/м ³)	Плита древесно-новолокнистая на битумной мастике твердая (плотность 1000 кг/м ³)	Дубовый паркет
ПТП4– ПТП7	2		Еловые лаги	Еловые доски	–
ПТП8– ПТП9	3		Плита древесно-новолокнистая на битумной мастике мягкая (2 слоя) плотностью 200 кг/м ³	Дубовый паркет	
ПТП10– ПТП13	4		Еловые лаги	Еловые доски	–
ПТП14– ПТП17	5		Цементно-песчаная стяжка	Линолеум поливинилхлоридный многослойный	
ПТП18– ПТП20	6		Плита древесно-новолокнистая на битумной мастике мягкая (плотность 200 кг/м ³)	Плита древесно-новолокнистая на битумной мастике твердая (плотность 1000 кг/м ³)	Дубовый паркет

Таблица 1.5

Площади и сопротивления теплопередаче ограждений
технического подполья

Наименование ограждения	Обозначение величины	Единица измерения	Значение величины
Наружные стены выше уровня земли	$F_{НС}$	м ²	$7 \cdot (12 + 0,1N) - 8,37$
	$R_{Т}^{НС}$	м ² ·°С/Вт	согласно расчету (п. 4.1 и п. 7.2)
Наружные стены ниже земли	$F_{НСП}$	м ²	$7 \cdot (12 + 0,1N)$
	$R_{Т}^{НСП}$	м ² ·°С/Вт	2,10
Пол технического подполья	$F_{ПП}$	м ²	$2,5 \cdot (12 + 0,1N)^2$
	$R_{Т}^{ПП}$	м ² ·°С/Вт	4,12
Перекрытие над техническим подпольем	$F_{ППП}$	м ²	$2,5 \cdot (12 + 0,1N)^2$
	$R_{Т}^{ППП}$	м ² ·°С/Вт	согласно расчету (п. 4.3)
Окна технического подполья	$F_{ОПП}$	м ²	$6 \times 1,2 \times 0,9$
	$R_{Т}^{ОПП}$	м ² ·°С/Вт	0,18
Наружная дверь	$F_{ДН}$	м ²	$1 \times 2,1 \times 0,9$
	$R_{Т}^{ДН}$	м ² ·°С/Вт	согласно расчету (п. 4.4)

Примечания:

1. Объем технического подполья, м³, рассчитывается по формуле

$$V_{п} = 5 \cdot (12 + 0,1N)^2.$$

2. При расчетах N – последняя цифра номера зачетной книжки.

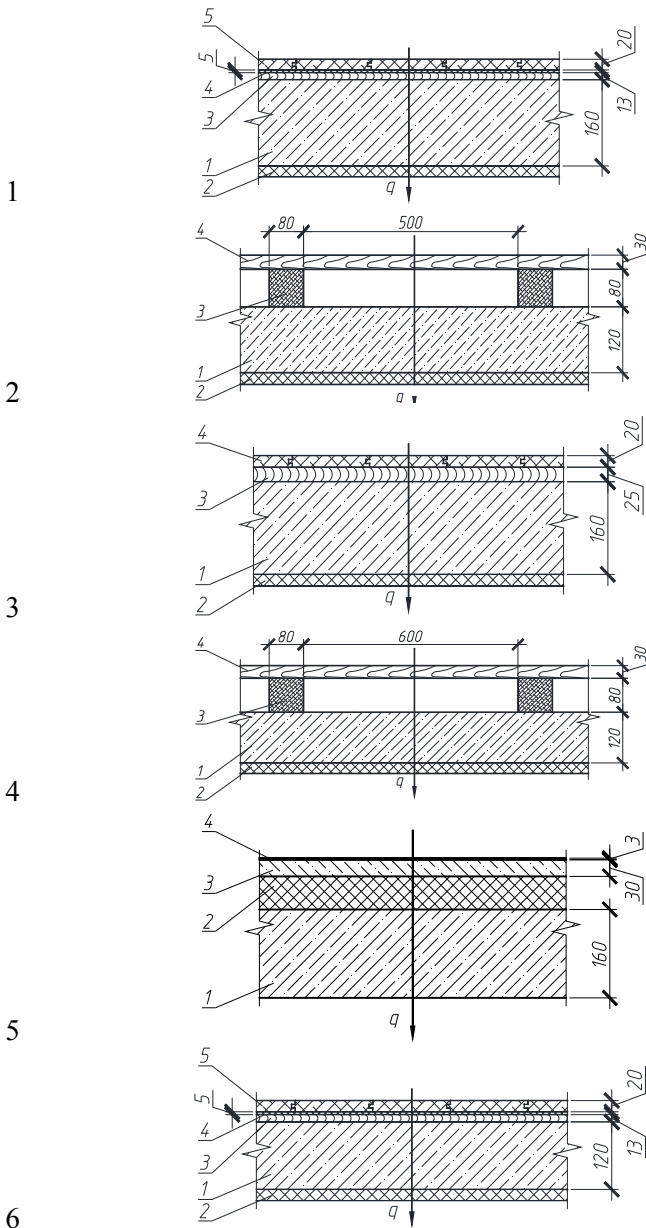


Рис. 1.3. Варианты конструкции перекрытия над техническим подпольем

Длины трубопроводов в техническом подполье

Вариант	Длина трубопроводов l_i , м, с температурой теплоносителя																				
	90 °С					70 °С					50 °С										
	50	40	32	25	20	15	20	25	32	40	15	20	25	32	40	15	20	25	32	40	
	для условного диаметра d_y , мм																				
ПТП1	12,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	12,5	16,5	9,8	20,9	16,3	37,7	2,0	2,3	14,9	8,6	20,1
ПТП2	8,3	4,8	7,4	31,8	14,0	38,7	8,3	13,1	7,4	31,8	14,0	38,7	2,1	2,2	14,5	6,6	19,0				
ПТП3	13,1	–	–	–	–	–	12,8	16,8	10,0	21,3	16,7	38,5	2,1	2,3	15,2	8,7	20,5				
ПТП4	8,5	4,9	7,6	32,4	14,3	39,5	8,5	13,4	7,6	32,4	14,3	39,5	2,2	2,3	14,8	6,7	19,3				
ПТП5	13,4	–	–	–	–	–	13,0	17,2	10,2	21,7	17,0	39,2	2,1	2,4	15,5	8,9	20,9				
ПТП6	8,6	5,0	7,7	33,1	14,6	40,2	8,6	13,6	7,7	33,1	14,6	40,2	2,2	2,3	15,1	6,8	19,7				
ПТП7	13,6	–	–	–	–	–	13,3	17,5	10,4	22,1	17,3	40,0	2,1	2,4	15,8	9,1	21,3				
ПТП8	8,8	5,1	7,9	33,7	14,9	41,0	8,8	13,9	7,9	33,7	14,9	41,0	2,2	2,4	15,3	6,9	20,1				
ПТП9	13,9	–	–	–	–	–	13,5	17,8	10,6	22,5	17,6	40,7	2,2	2,5	16,1	9,2	21,7				

Вариант	Длина трубопроводов l_i , м, с температурой теплоносителя																				
	90 °С									70 °С									50 °С		
	50	40	32	25	20	15	50	40	32	25	20	15	40	32	25	20	15	40	32	25	20
	для условного диаметра d_y , мм																				
ПТШ10	9,0	5,2	8,0	34,3	15,1	41,8	9,0	14,2	8,0	34,3	15,1	41,8	2,3	2,4	15,6	7,1	20,5				
ПТШ11	14,1	-	-	-	-	-	13,8	18,2	10,8	23,0	18,0	41,5	2,2	2,5	16,4	9,4	22,1				
ПТШ12	9,1	5,3	8,2	35,0	15,4	42,6	9,1	14,4	8,2	35,0	15,4	42,6	2,3	2,4	15,9	7,2	20,9				
ПТШ13	14,4	-	-	-	-	-	14,0	18,5	11,0	23,4	18,3	42,2	2,3	2,5	16,7	9,6	22,5				
ПТШ14	9,3	5,4	8,3	35,6	15,7	43,3	9,3	14,7	8,3	35,6	15,7	43,3	2,4	2,5	16,2	7,3	21,2				
ПТШ15	14,6	-	-	-	-	-	14,3	18,8	11,1	23,8	18,6	43,0	2,3	2,6	17,0	9,7	22,9				
ПТШ16	9,5	5,5	8,4	36,2	16,0	44,1	9,5	15,0	8,4	36,2	16,0	44,1	2,4	2,5	16,5	7,5	21,6				
ПТШ17	14,9	-	-	-	-	-	14,5	19,1	11,3	24,2	19,0	43,7	2,3	2,6	17,3	9,9	23,3				
ПТШ18	9,6	5,6	8,6	36,9	16,3	44,9	9,6	15,2	8,6	36,9	16,3	44,9	2,4	2,6	16,8	7,6	22,0				
ПТШ19	15,2	-	-	-	-	-	14,8	19,5	11,5	24,6	19,3	44,5	2,4	2,7	17,6	10,1	23,7				
ПТШ20	9,8	5,7	8,7	37,5	16,5	45,7	9,8	15,5	8,7	37,5	16,5	45,7	2,5	2,6	17,1	7,7	22,4				

Таблица 1.7

Варианты материалов утеплителя

Вариант утеплителя	Материал утеплителя и его плотность
У1	Маты минераловатные прошивные ($\rho_2 = 125 \text{ кг/м}^3$)
У2	Маты минераловатные прошивные ($\rho_2 = 100 \text{ кг/м}^3$)
У3	Маты минераловатные прошивные ($\rho_2 = 75 \text{ кг/м}^3$)
У4	Маты минераловатные прошивные ($\rho_2 = 50 \text{ кг/м}^3$)
У5	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 200 \text{ кг/м}^3$)
У6	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 190 \text{ кг/м}^3$)
У7	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 185 \text{ кг/м}^3$)
У8	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 170 \text{ кг/м}^3$)
У9	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 160 \text{ кг/м}^3$)
У10	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 135 \text{ кг/м}^3$)
У11	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 125 \text{ кг/м}^3$)
У12	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 115 \text{ кг/м}^3$)
У13	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 110 \text{ кг/м}^3$)
У14	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 105 \text{ кг/м}^3$)
У15	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 90 \text{ кг/м}^3$)
У16	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 80 \text{ кг/м}^3$)
У17	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 75 \text{ кг/м}^3$)

Вариант утеплителя	Материал утеплителя и его плотность
У18	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 60 \text{ кг/м}^3$)
У19	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 50 \text{ кг/м}^3$)
У20	Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты ($\rho_2 = 35 \text{ кг/м}^3$)
У21	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Р ($\rho_2 = 50 \text{ кг/м}^3$)
У22	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Р ($\rho_2 = 35 \text{ кг/м}^3$)
У23	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Р ($\rho_2 = 25 \text{ кг/м}^3$)
У24	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Р ($\rho_2 = 20 \text{ кг/м}^3$)
У25	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Р ($\rho_2 = 15 \text{ кг/м}^3$)
У26	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Р ($\rho_2 = 10 \text{ кг/м}^3$)
У27	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Ф ($\rho_2 = 45 \text{ кг/м}^3$)
У28	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Ф ($\rho_2 = 35 \text{ кг/м}^3$)
У29	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Ф ($\rho_2 = 25 \text{ кг/м}^3$)
У30	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Ф ($\rho_2 = 15 \text{ кг/м}^3$)
У31	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные пониженной теплопроводности типа Р ($\rho_2 = 25 \text{ кг/м}^3$)
У32	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные пониженной теплопроводности типа Р ($\rho_2 = 20 \text{ кг/м}^3$)
У33	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные пониженной теплопроводности типа Р ($\rho_2 = 15 \text{ кг/м}^3$)

Вариант утеплителя	Материал утеплителя и его плотность
У34	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные пониженной теплопроводности типа Р ($\rho_2 = 10 \text{ кг/м}^3$)
У35	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные пониженной теплопроводности типа Ф ($\rho_2 = 35 \text{ кг/м}^3$)
У36	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные пониженной теплопроводности типа Ф ($\rho_2 = 30 \text{ кг/м}^3$)
У37	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные пониженной теплопроводности типа Ф ($\rho_2 = 25 \text{ кг/м}^3$)
У38	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные пониженной теплопроводности типа Ф ($\rho_2 = 20 \text{ кг/м}^3$)
У39	Плиты пенополистирольные теплоизоляционные пониженной теплопроводности типа Ф ($\rho_2 = 15 \text{ кг/м}^3$)
У40	Плиты пенополистирольные экструдированные теплоизоляционные ($\rho_2 = 35 \text{ кг/м}^3$)
У41	Плиты пенополистирольные экструдированные теплоизоляционные ($\rho_2 = 45 \text{ кг/м}^3$)
У42	Плиты пенополистирольные экструдированные теплоизоляционные ($\rho_2 = 35 \text{ кг/м}^3$)
У43	Плиты пенополиуретановые ($\rho_2 = 80 \text{ кг/м}^3$)
У44	Плиты пенополиуретановые ($\rho_2 = 60 \text{ кг/м}^3$)
У45	Плиты пенополиуретановые ($\rho_2 = 40 \text{ кг/м}^3$)
У46	Плиты полистиролбетонные теплоизоляционные ($\rho_2 = 350 \text{ кг/м}^3$)
У47	Плиты полистиролбетонные теплоизоляционные ($\rho_2 = 300 \text{ кг/м}^3$)
У48	Плиты полистиролбетонные теплоизоляционные ($\rho_2 = 250 \text{ кг/м}^3$)
У49	Плиты полистиролбетонные теплоизоляционные ($\rho_2 = 200 \text{ кг/м}^3$)
У50	Плиты полистиролбетонные теплоизоляционные ($\rho_2 = 150 \text{ кг/м}^3$)

Таблица 1.8

Данные к расчету оконного заполнения

Вариант задания	Вариант окна по рис. 1.4	Материал коробок и створок	Марка стеклопакета
O1	I	«Aluplast» Ideal 6000	4-Ar10-И4-Ar10-И4
O2	II		
O3	I	«Aluplast» Ideal 8000	4-12-И4-12-И4
O4	II		
O5	I	«Brüggmann» AD класса А	4-Xe10-И4-Xe10-И4
O6	II		
O7	I	«Brüggmann» AD класса В	4-10-И4-10-И4
O8	II		
O9	I	«Dexen» A70	4-Xe12-И4-Xe12-И4
O10	II		
O11	I	«Gealan» S9000	4-Kr14-И4-Kr14-И4
O12	II		
O13	I	«Internova» 6000	4-Xe16-И4-Xe16-И4
O14	II		
O15	I	«КВЕ» 88 мм	4-16-И4-16-И4
O16	II		
O17	I	«КВЕ» 76 Premium	4-Ar14-И4-Ar14-И4
O18	II		
O19	I	«Lg» L-700	4-Ar16-И4-Ar16-И4
O20	II		
O21	I	«Montblanc» Nord 70	4-Kr16-И4-Kr16-И4
O22	II		
O23	I	«Plafen» S-line	4-Kr12-И4-Kr12-И4
O24	II		
O25	I	«Plafen» T-line	4-Ar12-И4-Ar12-И4
O26	II		
O27	I	«Rehau» Geneo	4-Ar8-И4-Ar8-И4
O28	II		
O29	I	«Rehau» Intelio	4-Xe14-И4-Xe14-И4
O30	II		

Окончание табл. 1.8

Вариант задания	Вариант окна по рис. 1.4	Материал коробок и створок	Марка стеклопакета
O31	I	«Salamander» bluEvolution	4-Kr10-И4-Kr10-И4
O32	II		
O33	I	«Veka» Alphaline	4-14-И4-14-И4
O34	II		
O35	I	«Veka» Softline XXL	4-10-И4-10-И4
O36	II		
O37	I	«Veka» Topline Plus	4-Ar14-И4-Ar14-И4
O38	II		
O39	I	«Dexen» A70	4-Kr14-И4-Kr14-И4
O40	II		
O41	I	«Montblanc» Nord 70	4-12-И4-12-И4
O42	II		
O43	I	«Plafen» S-line	4-Xe10-И4-Xe10-И4
O44	II		

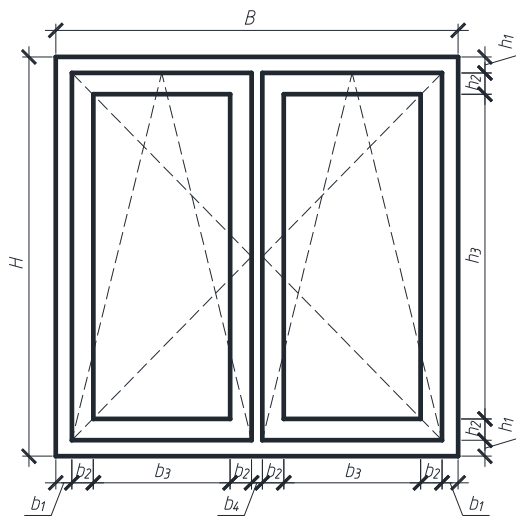
Таблица 1.9

Размеры окон для расчета

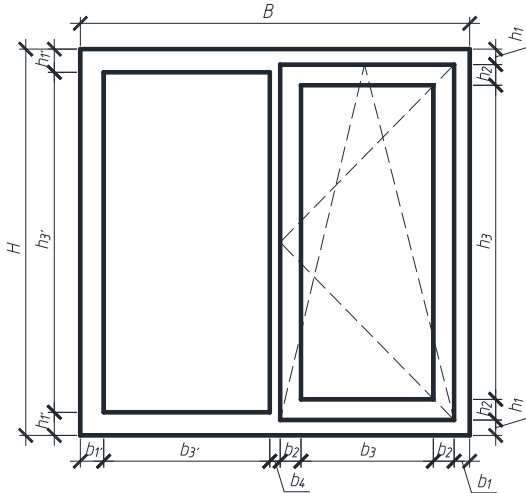
Вариант задания	Размеры, мм							
	окна		коробки		створки	остекления		импоста
	H	B	$b_1 (h_1)$	$b_1' (h_1')$	$b_2 (h_2)$	b_3	b_3'	b_4
O1	1500	1500	40	–	70	560	560	20
O2	1420	1360	40	70	80	460	570	60
O3	1650	1500	40	–	80	550	550	0
O4	1450	1150	40	70	80	360	470	50
O5	1460	1320	50	–	70	460	460	20
O6	1460	1470	45	70	80	440	710	45
O7	1500	1320	50	–	80	435	435	30
O8	1500	1320	40	65	75	450	560	55
O9	1420	1350	40	–	80	460	460	30
O10	1550	1170	40	70	80	270	570	60

Окончание табл. 1.9

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_3'	b_4
O11	1440	1180	40	–	75	385	385	30
O12	1460	1400	40	60	80	500	600	40
O13	1440	1320	40	–	75	460	460	20
O14	1400	1170	40	60	70	440	440	50
O15	1500	1350	50	–	75	460	460	30
O16	1430	1320	40	70	75	500	500	60
O17	1470	1330	40	–	70	485	485	0
O18	1750	1310	35	70	80	425	560	60
O19	1460	1170	45	–	70	390	390	20
O20	1460	1320	30	60	80	450	560	60
O21	1460	1470	30	–	65	575	575	0
O22	1350	1500	30	60	80	545	655	50
O23	1460	1320	40	–	80	450	450	20
O24	1460	1320	40	75	75	510	510	35
O25	1460	1460	40	–	75	530	530	20
O26	1500	1500	35	60	80	520	670	55
O27	1500	1200	50	–	80	390	390	0
O28	1410	1310	40	60	75	440	560	60
O29	1450	1350	40	–	75	470	470	30
O30	1430	1170	40	65	80	350	505	50
O31	1470	1320	40	–	80	435	435	50
O32	1400	1320	40	60	80	500	500	60
O33	1500	1500	45	–	75	545	545	20
O34	1500	1400	50	80	75	530	540	50
O35	1480	1340	40	–	80	465	465	10
O36	1480	1300	50	75	75	500	490	35
O37	1320	1450	35	–	70	540	540	20
O38	1430	1170	45	65	75	425	450	35
O39	1420	1350	50	–	80	450	450	30
O40	1500	1320	40	80	80	410	600	30
O41	1780	1360	35	–	75	495	495	0
O42	1170	1760	40	75	80	625	800	60
O43	1750	1150	40	–	80	360	360	30
O44	1750	1750	40	60	80	755	700	35



Вариант I



Вариант II

Рис. 1.4. Варианты конструкции окон:

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

2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

К выполнению курсовой работы следует приступать только после изучения соответствующих разделов курса строительной теплофизики.

Работа состоит из расчетно-пояснительной записки и графиков тепловлажностного режима наружной стены и совмещенного покрытия (чердачного перекрытия или перекрытия над проездом).

Расчетно-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 требованиями ГОСТ 2.105–95 «Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам».

ВНИМАНИЕ: *полное или частичное копирование текста из данного пособия в курсовые работы студентов не допускается. При наличии заимствований из пособия работа будет направляться на доработку. Текст пояснительной записки должен излагаться исходя из собственного понимания вопросов (в том числе и с помощью данного пособия).*

Записка составляется подробно с приведением и расшифровкой всех расчетных формул и размерностей со ссылкой на литературные источники и справочные данные. При применении на компьютере необходимо использовать шрифт Times New Roman черного цвета высотой (размер шрифта – кегль) 14 пт, через один интервал.

Титульный лист выполняется по форме, которая приведена на рис. 1.1.

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

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

В начале расчетно-пояснительной записки на отдельной странице дается оглавление. Затем даются общие сведения: цели и задачи выполнения курсовой работы, сведения о здании (тип, месторасположение и этажность), вариант и расчетные данные для каждого ограждения.

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет
Факультет энергетического строительства
Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

КУРСОВАЯ РАБОТА
Теплотехнический расчёт наружных ограждений здания

Выполнил: студент гр. 31004__
Иванов Иван Иванович
Номер зачётной книжки

Проверил: _____

Минск 20__

Рис. 2.1. Образец выполнения титульного листа

3. ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО И ВНУТРЕННЕГО ВОЗДУХА

Расчетные параметры наружного воздуха выбираются согласно табл. 3.1 [2] (значения параметров наружного воздуха в холодный период для некоторых населенных пунктов приведены в приложении А) и сводятся в таблицу. Пример оформления таблицы для жилого здания, расположенного в городе Сенно (Витебская область), приведен в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Расчетные параметры наружного воздуха

Наименование параметра	Значение	Источник
Температура наиболее холодных суток обеспеченностью $0,98 t_{x,c}^{0,98}$, °С	-34*	[2, табл. 3.1]
Температура наиболее холодных суток обеспеченностью $0,92 t_{x,c}^{0,92}$, °С	-30*	[2, табл. 3.1]
Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью $0,92 t_{x,5c}$, °С	-24*	[2, табл. 3.1]
Максимальная из средних скоростей ветра по румбам в январе v_{cp} , м/с	3,1*	[2, табл. 3.1]
Средняя температура за отопительный период $t_{н,от}$, °С	-1,2	[2, табл. 3.1]
Средняя относительная влажность за отопительный период $\phi_{н,от}$, %	83	[2, табл. 3.1]

Примечание – значения, отмеченные звездочкой, приняты для ближайшего города, параметры наружного воздуха для которого присутствуют в табл. 3.1 [2] (г. Лепель).

Расчетные параметры внутреннего воздуха (температура и относительная влажность) для расчета наружных ограждающих конструкций принимаются по заданию и сводятся в таблицу, где также приводится расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности рассчитываемых ограждающих конструкций согласно табл. 5.5 [1] или приложению Б данного пособия.

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, приведен в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Расчетные параметры внутреннего воздуха

Наименование параметра	Значение	Источник
Расчетная температура внутреннего воздуха помещений здания $t_{в}$, °С	18	по заданию
Расчетная относительная влажность внутреннего воздуха помещений $\phi_{в}$, %	55	по заданию
Расчетная температура воздуха в техническом подполье $t_{п}$, °С	5	[1, табл. 5.1]
Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности стены $\Delta t_{в}^{HC}$, °С	6	[1, табл. 5.5]
Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности совмещенного покрытия $\Delta t_{в}^{СП}$, °С	4	[1, табл. 5.5]
Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой пола первого этажа $\Delta t_{в}^{п}$, °С	0,8	[1, табл. 5.1]

Согласно табл. 4.2 [1] при данных расчетных условиях в помещениях жилого здания ($t_{в} = 18$ °С и $\phi_{в} = 55$ %) влажностный режим помещений – нормальный. Условия эксплуатации наружных стен и совмещенного покрытия – Б, а для перекрытия над неотапливаемым подвалом согласно примечанию к табл. 4.2 [1] – А.

4. ПРИНЯТИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИН ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СЛОЕВ

Согласно п. 5.1 [1] приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций R_t , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, за исключением наружных дверей, ворот и ограждающих конструкций помещений с избытками явной теплоты, следует принимать не менее нормативного сопротивления теплопередаче $R_{t,\text{норм}}$, указанного в табл. 5.1 [1].

Поэтому, задаваясь сначала нормативным сопротивлением теплопередаче $R_{t,\text{норм}}$, следует найти неизвестную толщину слоя утеплителя, а затем уточнить значение сопротивления теплопередаче.

В курсовой работе рассматриваются участки ограждений по глади, т. е. без учета влияния теплопроводных включений.

Сопротивление теплопередаче ограждения R_t , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, в общем случае рассчитывается по выражению

$$R_t = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^m R_i + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (4.1)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ и $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициенты теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, соответственно внутренней и наружной поверхности, принимаемые по табл. 5.4 и 5.7 [1] или приложению Г данного пособия;

R_i – термическое сопротивление i -го слоя, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, для замкнутых воздушных прослоек определяемое по приложению Б [1] или приложению Д данного пособия, для слоя конструкции рассчитываемое по формуле

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (4.2)$$

где δ_i – толщина слоя, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности материала слоя, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$;

m – число слоев в ограждении.

Рассмотрим расчет наружных ограждений.

4.1. Теплотехнический расчет наружной стены

Примем следующие конструктивные слои (рис. 4.1):

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

2 – слой утеплителя из плит пенополистирольных теплоизоляционных типа Р толщиной δ_2 и плотностью $\rho_2 = 25$ кг/м³;

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

Из приложения В данного пособия найдем необходимые для данного и последующего расчетов данные об используемых материалах – коэффициент теплопроводности λ , теплоусвоения s и паропроницаемости μ – и сведем их в табл. 4.1.

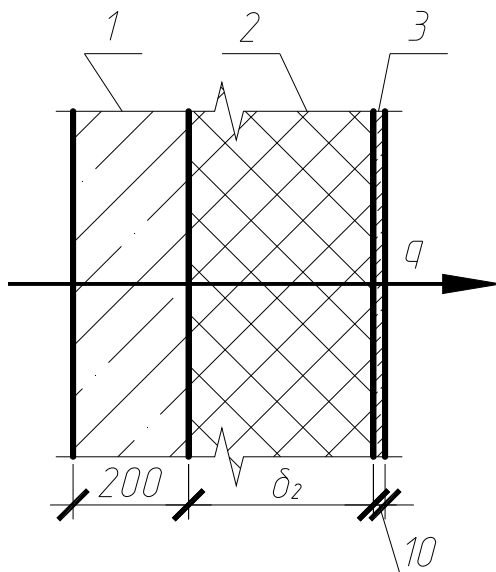


Рис. 4.1. Конструкция наружной стены

Исходя из 4.1 и 4.2, искомая толщина утеплителя δ_2 для данной конструкции наружной стены будет равна

$$\delta_2 = \lambda_2 \cdot \left(R_{\text{т.норм}} - \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} - \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \right). \quad (4.3)$$

Таблица 4.1

Теплотехнические характеристики материалов стены

Наименование материала	Плотность ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации Б)		
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)	теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С)	паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
Железобетон	2500	2,04	19,70	0,03
Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Р	25	0,0391	0,312	0,0164
Цементно-песчаный раствор	1800	0,93	11,09	0,09

Из табл. 5.1 [1] для наружных стен $R_{\text{т.норм}} = 3,20 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$.

По приложению Г данного пособия для наружной стены имеем $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$ и $\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$.

Тогда толщина утеплителя составит

$$\delta_2 = 0,0391 \cdot \left(3,20 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,2}{2,04} - \frac{0,01}{0,93} - \frac{1}{23} \right) = 0,115, \text{ м.}$$

Принимаем кратное целому сантиметру значение (с округлением в большую сторону) $\delta_2 = 0,12 \text{ м}$ и рассчитываем действительное сопротивление теплопередаче стены по формуле (4.1).

$$R_{\text{т}}^{\text{НС}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{0,12}{0,0391} + \frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,34, \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт.}$$

4.2. Теплотехнический расчет совмещенного покрытия

Примем следующие конструктивные слои (рис. 4.2):

1 – железобетонная многопустотная плита покрытия толщиной $\delta_1 = 260 \text{ мм}$;

2 – слой утеплителя из плит пенополистирольных теплоизоляционных типа Р толщиной δ_2 и плотностью $\rho_2 = 25 \text{ кг/м}^3$;

- 3 – цементно-песчаная стяжка толщиной $\delta_3 = 20$ мм;
 4 – четыре слоя рубероида толщиной $\delta_4 = 6$ мм.

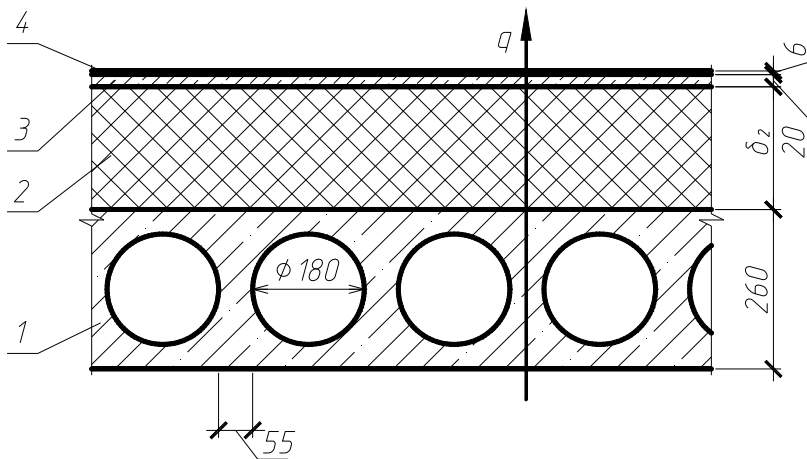


Рис. 4.2. Конструкция совмещенного покрытия

Аналогично расчету стены, из приложения В находим для расчетов данные о материалах и сводим их в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Теплотехнические характеристики материалов
 совмещенного покрытия

Наименование материала	Плотность ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации Б)		
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)	теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С)	паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
Железобетон	2500	2,04	19,70	0,03
Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Р	25	0,0391	0,312	0,0164

Наименование материала	Плотность ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации Б)		
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)	теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С)	паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
Цементно-песчаный раствор	1800	0,93	11,09	0,09
Рубероид (4 слоя)	600	0,17	3,53	$R_{п4} =$ $= 4,4 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$

Как видно, железобетонная плита является термически неоднородной конструкцией. Ввиду этого предварительно необходимо найти ее приведенное термическое сопротивление. Расчет проводится в следующей последовательности:

а) выделяем характерное сечение (заштриховано на рис. 4.3, а).

Для облегчения расчетов заменим окружность равным по площади квадратом (исходя из соотношения $F_{\text{окр}} = F_{\text{кв}}$) со стороны

$$a = \frac{d}{2} \sqrt{\pi}$$

и вычтем расчетное сечение (рис. 4.3, б).

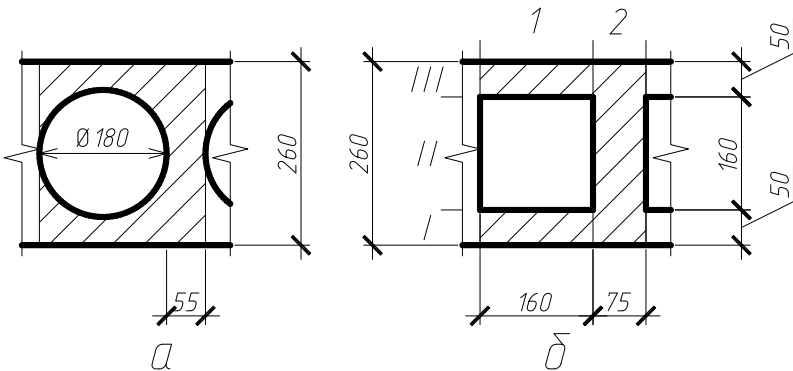


Рис. 4.3. Характерное (а) и расчетное (б) сечение

В нашем случае

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

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

$$R_{\parallel} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{R_i}},$$

где F_i – площадь отдельных участков, м^2 ;

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

– для однородных участков рассчитывается по формуле (4.2);

– для неоднородных – по формуле (4.4).

$$R_i = \sum_{j=1}^m R_j. \quad (4.4)$$

Для приведенной конструкции: участок l – неоднородный, его сопротивление будет складываться из термического сопротивления железобетона суммарной толщиной $\delta_{l1} = 50 + 50 = 100$ мм и термического сопротивления воздушной прослойки. Так как прослойка расположена со стороны помещения и перед утеплителем, то температура в ней будет положительной. Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки принимаем согласно табл. Б.1 [1] или приложению Д данного пособия. Для данной замкнутой воздушной прослойки имеем $R_{\text{звп}} = 0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. В соответствии с формулой (4.4)

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

Участок 2 – однородный, его термическое сопротивление вычисляем по формуле (4.2):

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

Термическое сопротивление параллельно тепловому потоку:

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

в) плоскостями, перпендикулярными тепловому потоку, разбиваем на слои, которые могут быть однородными (из одного материала) и неоднородными. Термическое сопротивление однородных слоев вычисляется по формуле (4.2), неоднородных – по формуле (4.4). Для приведенной конструкции

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

Очевидно, что термическое сопротивление слоев I и III одинаково и составляет

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

Слой II – неоднородный. Разобьем 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_{\parallel} на 25 % R_{\perp} :

$$\frac{0,169 - 0,166}{0,166} \cdot 100 \% = 1,8 \% < 25\%;$$

д) так как R_{\parallel} не превышает R_{\perp} на 25 %, то термическое сопротивление железобетонной плиты вычисляется по формуле

$$R_{\text{пл}} = \frac{R_{\parallel} + 2R_{\perp}}{3}; \quad (4.5)$$

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

Согласно табл. 5.1 [1] для совмещенного покрытия нормативное сопротивление теплопередаче составляет $R_{\text{т.норм}} = 6,00 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$

Тогда для данного покрытия имеем (с учетом определенных по приложению Г $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ и $\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$)

$$\delta_2 = 0,0391 \cdot \left(6,0 - \frac{1}{8,7} - 0,167 - \frac{0,02}{0,93} - \frac{0,006}{0,17} - \frac{1}{23} \right) = 0,219, \text{ м.}$$

Принимаем кратное целому сантиметру значение (с округлением в большую сторону) $\delta_2 = 0,22 \text{ м}$ и рассчитываем действительное сопротивление теплопередаче совмещенного покрытия:

$$R_{\text{т}}^{\text{СП}} = \frac{1}{8,7} + 0,167 + \frac{0,22}{0,0391} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,006}{0,17} + \frac{1}{23} = 6,01, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

4.3. Теплотехнический расчет перекрытия над неотапливаемым подпольем

Примем следующие конструктивные слои (рис. 4.4):

1 – железобетонная плита толщиной $\delta_1 = 160 \text{ мм}$;

2 – слой утеплителя из плит пенополистирольных теплоизоляционных типа Р толщиной δ_2 и плотностью $\rho_2 = 25 \text{ кг/м}^3$;

3 – плита древесноволокнистая на битумной мастике мягкая плотностью $\rho_3 = 200 \text{ кг/м}^3$ и толщиной $\delta_3 = 13 \text{ мм}$;

4 – плита древесноволокнистая на битумной мастике твердая плотностью $\rho_4 = 800 \text{ кг/м}^3$ и толщиной $\delta_4 = 5 \text{ мм}$;

5 – дубовый паркет толщиной $\delta_5 = 15 \text{ мм}$.

Из приложения В найдем необходимые для данного и последующего расчетов данные об используемых материалах – коэффициент теплопроводности, теплоусвоения и паропроницаемости – и сведем их в табл. 4.3.

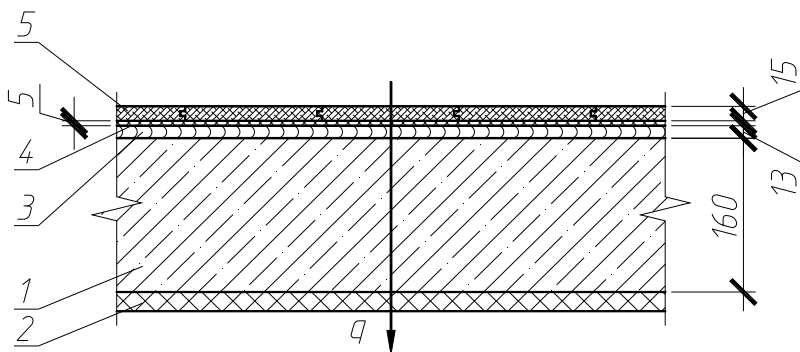


Рис. 4.4. Конструкция перекрытия над техническим подпольем

Таблица 4.3

Теплотехнические характеристики материалов
перекрытия над техническим подпольем

Наименование материала	Плотность ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации А)		
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)	теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С)	паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
Железобетон	2500	1,92	17,98	0,03
Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Р	25	0,0388	0,310	0,0164

Наименование материала	Плотность ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации А)		
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)	теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С)	паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
Плита древесноволокнистая мягкая	200	0,07	1,67	0,24
Плита древесноволокнистая твердая	800	0,19	5,49	0,12
Дубовый паркет (дуб поперек волокон)	700	0,18	5,00	0,05

В соответствии с п. К.3 [1] сопротивление теплопередаче перекрытия над техническим подпольем предварительно принимают равным требуемому сопротивлению теплопередаче $R_{тр}$, м²·°С/Вт, рассчитанному по формуле

$$R_{тр} = \frac{n(t_{в} - t_{н})}{\alpha_{в} \cdot \Delta t_{в}}, \quad (4.6)$$

где n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху, принимаемый по табл. 5.3 [1]; в данном случае (непосредственный контакт с воздухом подполья) $n = 1$;

$t_{н}$ – расчетная температура наружного воздуха, °С, в данном случае это температура в техническом подполье, равная в соответствии с заданием $t_{н} = t_{н} = 5$ °С;

$\Delta t_{в}$ – расчетный перепад температур между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждения, °С; в соответствии с табл. 3.2 $\Delta t_{в} = \Delta t_{в}^{п} = 0,8$ °С.

Тогда при $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ (согласно приложению Г) получим

$$R_{\text{тр}}^{\text{ППП}} = \frac{1 \cdot (18 - 5)}{8,7 \cdot 0,8} = 1,87, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}.$$

Толщину утеплителя δ_2 найдем, используя формулу (4.3) и учитывая, что коэффициент теплоотдачи наружной поверхности согласно приложению Г составляет $\alpha_n = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$:

$$\begin{aligned} \delta_2 &= 0,0388 \cdot \left(1,87 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,16}{1,92} - \frac{0,013}{0,07} - \frac{0,005}{0,19} - \frac{0,015}{0,18} - \frac{1}{12} \right) = \\ &= 0,050, \text{ м}. \end{aligned}$$

Принимаем кратное целому сантиметру значение (с округлением в большую сторону) $\delta_2 = 0,05 \text{ м}$ и рассчитываем действительное сопротивление теплопередаче перекрытия над техническим подпольем по формуле (4.1):

$$\begin{aligned} R_{\text{т}}^{\text{ППП}} &= \frac{1}{8,7} + \frac{0,16}{1,92} + \frac{0,05}{0,0388} + \frac{0,013}{0,07} + \frac{0,005}{0,19} + \frac{0,015}{0,18} + \frac{1}{12} = \\ &= 1,87, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}. \end{aligned}$$

4.4. Теплотехнический расчет наружных дверей

В соответствии с п. 5.5 [1] сопротивление наружных дверей $R_{\text{т}}^{\text{ДН}}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$, устанавливаемых в отапливаемых зданиях, должно быть не менее 0,6 значения сопротивления теплопередаче наружных стен, определенного по формуле (4.6) при расчетной температуре наружного воздуха, равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

В данном случае при $n = 1$; $t_{\text{н}} = t_{\text{x},5\text{с}} = -24 \text{ } ^\circ\text{С}$, $\Delta t_{\text{в}} = \Delta t_{\text{в}}^{\text{НС}} = 6 \text{ } ^\circ\text{С}$ и $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ получим

$$R_{\text{т}}^{\text{ДН}} = 0,6 \cdot \frac{1 \cdot (18 - (-24))}{8,7 \cdot 6} = 0,48, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}.$$

5. РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ

Минимальная температура внутренней поверхности стены τ_B^{\min} , °С, определенная по формуле (5.1), не должна быть ниже температуры точки росы t_p , °С при расчетных значениях температуры и относительной влажности внутреннего воздуха:

$$\tau_B^{\min} = t_B - \frac{\left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{m}{Y_B} \right) \cdot (t_B - t_H)}{R_T^{\text{НС}}}, \quad (5.1)$$

где t_B и α_B – определенные в п. 3.2 величины;

t_H – расчетная зимняя температура воздуха, °С, принимаемая в зависимости от тепловой инерции стены D ;

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

Y_B – коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности стены, Вт/(м²·°С), определяемый по формулам (5.2)...(5.6).

Определяем тепловую инерцию стены по формуле

$$D = \sum_{i=1}^n R_i s_i = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} s_i,$$

где s_i – коэффициент теплоусвоения материала, Вт/(м²·°С).

$$\begin{aligned} D &= \frac{0,2}{2,04} \cdot 19,7 + \frac{0,12}{0,0391} \cdot 0,312 + \frac{0,01}{0,93} \cdot 11,09 = \\ &= 1,93 + 0,96 + 0,12 = 3,01. \end{aligned}$$

Следует обратить внимание, что расчет ведется от *внутренней* поверхности стены, поэтому нумерация слоев не всегда совпадает с нумерацией по заданию.

Для определения величины коэффициента теплоусвоения возможны следующие случаи:

а) тепловая инерция первого (считая от внутренней поверхности) слоя больше единицы ($D_1 > 1$). В данном случае коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности принимается равным коэффициенту теплоусвоения материала первого слоя, т. е.

$$Y_b = s_1; \quad (5.2)$$

б) тепловая инерция первого слоя меньше единицы ($D_1 < 1$), а первого и второго слоев больше единицы ($D_1 + D_2 > 1$). Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности будет рассчитываться по формуле

$$Y_b = \frac{R_1 s_1^2 + s_2}{1 + R_1 s_2}; \quad (5.3)$$

в) если тепловую инерцию дают в сумме n слоев, то рассчитывается коэффициент теплоусвоения $n - 1$ слоя по выражению

$$Y_{n-1} = \frac{R_{n-1} s_{n-1}^2 + s_n}{1 + R_{n-1} s_n}, \quad (5.4)$$

а затем коэффициент теплоусвоения $n - 2$ слоя по формуле

$$Y_{n-2} = \frac{R_{n-2} s_{n-2}^2 + Y_{n-1}}{1 + R_{n-2} Y_{n-1}}, \quad (5.5)$$

и так далее до значения $Y_1 = Y_b$;

г) тепловая инерция ограждения меньше единицы ($D < 1$). Коэффициент теплоусвоения последнего слоя Y_n рассчитывается по выражению

$$Y_n = \frac{R_n s_n^2 + \alpha_n}{1 + R_n \alpha_n}. \quad (5.6)$$

В нашем случае $D_1 = 1,93 > 1$, значит, коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности принимаем равным коэффициенту теплоусвоения железобетона, т. е.

$$Y_{\text{в}} = s_1 = 19,7, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}).$$

Так как $D = 3,01 \in (1,5; 4,0]$, то в соответствии с табл. 5.2 [1] принимаем за расчетную температуру наиболее холодных суток обеспеченностью $0,92$ $t_{\text{н}}^{0,92} = -30$ °С.

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

Тогда минимальная температура внутренней поверхности стены составит

$$\tau_{\text{в}}^{\text{min}} = 18 - \frac{\left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,1}{19,7} \right) \cdot (18 - (-30))}{3,34} = 16,3, \text{ °С}.$$

По приложению Ж данного пособия находим, что при $t_{\text{в}} = 18$ °С и $\phi_{\text{в}} = 55$ % температура точки росы составляет $t_{\text{р}} = 8,83$ °С.

Так как $\tau_{\text{в}}^{\text{min}} > t_{\text{р}}$, конденсации водяного пара внутренней поверхности при центральном водяном отоплении не будет.

6. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ 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 проема с откосами, оконного блока, системы уплотнения монтажных швов, подоконной доски, деталей слива и облицовок.

Оконный блок (рис. 6.1) состоит из:

1) непрозрачной части, включающей в себя:

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

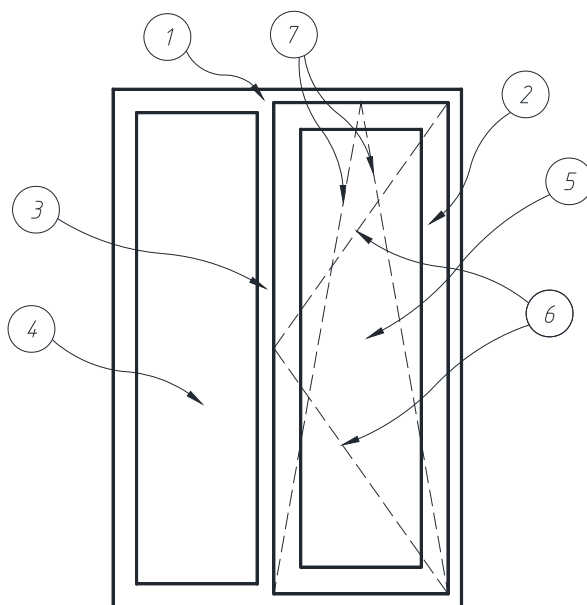


Рис. 6.1. Детали конструкции оконного блока:
1 – коробка; 2 – поворотнo-откидная створка; 3 – импост;
4, 5 – светопрозрачные заполнения соответственно глухой
и поворотнo-откидной створки; 6, 7 – линии, показывающие
направление открывания створки

– створку – сборочную единицу оконного блока со светопрозрачным заполнением, соединенную с коробкой, как правило, посредством шарнирной или скользящей связи. На рис. 6.1 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 трехстворчатых (и более) окнах;

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

Стеклопакет (рис. 6.2) – это соединенные между собой с помощью рамки листы стекла, образующие герметичные камеры, заполненные осушенным воздухом или инертными газами (аргон, криптон и др.). Для изготовления стеклопакетов применяются разнообразные виды стекла: листовое, многослойное, солнцезащитное, энергосберегающее с твердым и мягким покрытием и др.

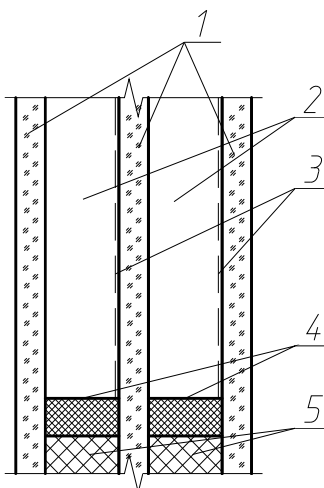


Рис. 6.2. Конструкция двухкамерного энергосберегающего стеклопакета:
1 – стекла; 2 – межстекольное пространство; 3 – рекомендуемое расположение низкоэмиссионного покрытия; 4 – дистанционная рамка; 5 – герметик

В настоящее время в рамках увеличения теплозащитных свойств наружных ограждений и окон в частности, на первый план выходит использование в стеклопакетах энергосберегающих стекол с низко-

44

эмиссионным мягким селективным покрытием (И-стекло), 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 теплота от отопительных приборов), так и в теплый период года (энергосберегающее покрытие отражает тепловую энергию в длинноволновом диапазоне наружу).

Выпускаемые в настоящее время в Республике Беларусь окна должны соответствовать требованиям СТБ 939–2013 «Блоки оконные и дверные балконные. Общие технические условия» [4] 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 объемного и массового расхода воздуха через 1 м² поверхности образца при различных перепадах давления. Основным признаком классификации является объемное воздухопроницание через 1 м² поверхности образца при перепаде давления на его поверхностях $\Delta p = 100$ Па. При этом для каждого класса устанавливаются границы по сопротивлению воздухопроницанию. Классификация окон по сопротивлению воздухопроницанию согласно [4] приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Классификация окон по воздухопроницанию [4]

Класс	Контрольная воздухопроницаемость при $\Delta p = 100$ Па, м ³ /(ч·м ²)	Сопротивление воздухопроницанию R_v (при $\Delta p = 10$ Па), м ² ·ч/кг
А	до 3	свыше 1,279
Б	от 3 до 9	от 0,426 до 1,279
В	от 9 до 17	от 0,226 до 0,426
Г	от 17 до 27	от 0,142 до 0,226
Д	от 27 до 50	от 0,077 до 0,142

В данной курсовой работе необходимо:

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

б) определить расчетную 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. 6.3. Материал непрозрачной части – поливинилхлоридный 5-камерный профиль «Века» системы Softline XXL, заполнение створок – двухкамерный энергосберегающий стеклопакет марки 4-12-4И-12-И4.

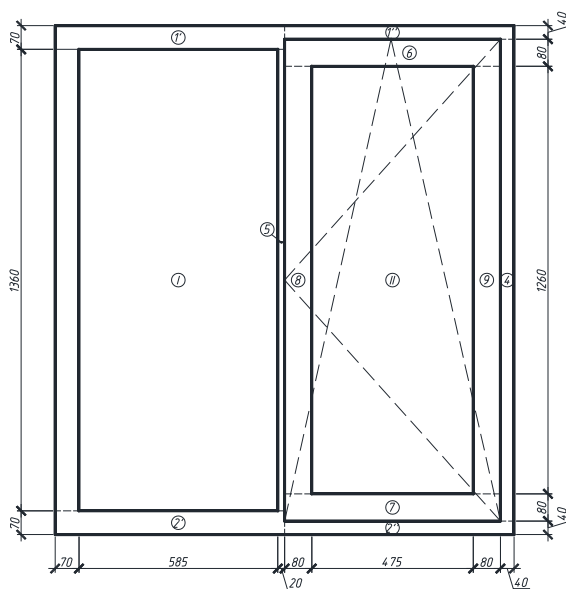


Рис. 6.3. Конструкция рассчитываемого окна

6.1. Расчет сопротивления теплопередаче

Сопротивление теплопередаче оконного заполнения $R_{\text{т}}^{\text{ок}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, должно быть не менее нормативного сопротивления теплопередаче $R_{\text{т.норм}}$, указанного в табл. 5.1 [1].

Для жилого здания имеем $R_{\text{т.норм}} = 1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Для определения приведенного сопротивления теплопередаче окон воспользуемся формулой:

$$R_{\text{т}}^{\text{ок}} = \frac{F_{\text{ок}}}{\frac{F_{\text{непр}}}{R_{\text{т.непр}}} + \frac{F_{\text{св}}}{R_{\text{т.св}}}},$$

где $F_{\text{ок}} = F_{\text{непр}} + F_{\text{св}}$ – суммарная площадь окна, м^2 ;

$F_{\text{непр}}$ и $F_{\text{св}}$ – суммарная площадь, соответственно, непрозрачной и светопрозрачной части окна, м^2 ;

$R_{\text{т.непр}}$ и $R_{\text{т.св}}$ – приведенное сопротивление теплопередаче непрозрачной и светопрозрачной части соответственно, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Из приложений И и К имеем, что $R_{\text{т.непр}} = 1,00 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и $R_{\text{т.св}} = 1,09 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Для удобства сведем расчет в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче окна

Номер зоны	Ширина b , м	Высота h , м	Площадь F , м^2	$R_{\text{т}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	$F/R_{\text{т}}$, $\text{Вт}/\text{°C}$
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		

Номер зоны	Ширина b , м	Высота h , м	Площадь F , м ²	R_T , м ² ·°С/Вт	F/R_T , Вт/°С
8	0,08	1,26	0,1008		
9	0,08	1,26	0,1008		
Итого по непрозрачной части			0,6309	$R_{\text{непр}} = 1,00$	0,6309
I	0,585	1,36	0,7956		
II	0,475	1,26	0,5985		
Итого по светопрозрачной части			1,3941	$R_{T,\text{св}} = 1,09$	1,2790
Итого по окну			2,025	$R_T^{\text{ок}} = 1,06$	1,9099

Так как $R_T^{\text{ок}} > R_{T,\text{норм}}$, значит, данная конструкция окна удовлетворяет требованиям [1] по сопротивлению теплопередаче.

6.2. Расчет сопротивления воздухопроницанию

Сопротивление воздухопроницанию окон $R_{\text{в}}^{\text{ок}}$, м²·ч/кг, устанавливаемых в жилых, общественных и административных зданиях, должно быть равно требуемому сопротивлению воздухопроницанию $R_{\text{в,тр}}$, определяемому согласно выражению (6.1) с допустимым отклонением не более +20 %:

$$R_{\text{в,тр}} = \left(\frac{\Delta p}{10} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{1}{G_{\text{норм}}}, \quad (6.1)$$

где $G_{\text{норм}}$ – нормативная воздухопроницаемость ограждения, кг/(м²·ч), принимаемая по табл. 8.1 [1] или приложению Л данного пособия и равная для окон жилых, общественных и административных зданий $G_{\text{норм}} = 10,0$ кг/(м²·ч);

Δp – расчетная разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждения, Па, рассчитываемая по формуле

$$\Delta p = (H - h)g(\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в}}) + 0,5\rho_{\text{н}}v_{\text{ср}}^2(c_{\text{н}} - c_{\text{п}})k_i, \quad (6.2)$$

где H – высота здания от поверхности земли до устья вытяжной шахты, м;

h – высота от поверхности земли до центра рассматриваемого окна, м;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

$v_{\text{ср}}$ – максимальная из средних скоростей ветра по румбам в январе, м/с, определенная в п. 3.1 (табл. 3.2);

c_n и c_p – аэродинамические коэффициенты, соответственно, наветренной и подветренной поверхностей ограждения, принимаемые согласно приложению 4 [3];

k_i – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте, принимаемый табл. 6 [3] или по приложению М в зависимости от типа местности и высоты от поверхности земли до центра рассматриваемого окна h ;

ρ_n и ρ_v – плотность, соответственно, наружного и внутреннего воздуха, кг/м³, определяемая по формуле

$$\rho = \frac{353}{273 + t},$$

где t – расчетная температура воздуха, °С: внутреннего – согласно табл. 3.2, наружного – средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 согласно табл. 3.1.

Для рассчитываемого окна при $t_v = 18 \text{ °С}$ и $t_{x,5c} = -24 \text{ °С}$ имеем

$$\rho_n = \frac{353}{273 - 24} = 1,42, \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_v = \frac{353}{273 + 18} = 1,21, \text{ кг/м}^3.$$

Из приложения 4 [3] принимаем для отдельно стоящих плоских сплошных вертикальных конструкций $c_n = +0,8$ и $c_p = -0,6$.

Расчетную высоту здания, высоту от поверхности земли до центра окна принимаем исходя из размеров, приведенных на рис. 6.4.

Расчеты по определению требуемого сопротивления воздухопроницанию сведем в табл. 6.3.

Сопротивление воздухопроницанию окон, устанавливаемых в данном здании, может составлять от 100 % до 120 % от требуемого, т. е. для каждого окна существует диапазон значений сопротивления воздухопроницанию. Классы устанавливаемых окон по воздухопроница-

нию выбираются исходя из значений сопротивления воздухопроницанию на границах класса (см. табл. 6.1). Данные об устанавливаемых в рассчитываемом здании окнах сведены в табл. 6.4.

Таблица 6.3

Расчет требуемого сопротивления воздухопроницанию окон

Этаж	H , м	h , м	$\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в}}$, кг/м ³	$\rho_{\text{н}}$, кг/м ³	$v_{\text{ср}}$, м/с	$\zeta_{\text{н}} - \zeta_{\text{п}}$	k_i	Δp , Па	$G_{\text{норм}}$, кг/(м ² ·ч)	$R_{\text{в,тр}}$, м ² ·ч/кг
1	30,7	2,5	0,21	1,42	3,1	1,4	0,500	62,87	10,0	0,341
2		5,5					0,515	56,83		0,318
3		8,5					0,605	51,51		0,298
4		11,5					0,680	46,05		0,277
5		14,5					0,740	40,44		0,254
6		17,5					0,800	34,84		0,230
7		20,5					0,856	29,19		0,204
8		23,5					0,894	23,37		0,176
9		26,5					0,931	17,55		0,145

Таблица 6.4

Сопротивление воздухопроницанию и классы окон

Этаж	Требуемое сопротивление воздухопроницанию $R_{\text{в,тр}}$, м ² ·ч/кг (при $\Delta p = 10$ Па)	Сопротивление воздухопроницанию окон $R_{\text{в}}^{\text{ок}} = (1,0 - 1,2)R_{\text{в,тр}}$, м ² ·ч/кг (при $\Delta p = 10$ Па)	Классы окон по воздухопроницанию
1	0,341	0,341 – 0,409	В
2	0,318	0,318 – 0,382	В
3	0,298	0,298 – 0,358	В
4	0,277	0,277 – 0,332	В
5	0,254	0,254 – 0,305	В
6	0,230	0,230 – 0,276	В
7	0,204	0,204 – 0,245	В (при $R_{\text{в}}^{\text{ок}} = 0,226 - 0,245$ м ² ·ч/кг); Г (при $R_{\text{в}}^{\text{ок}} = 0,204 - 0,226$ м ² ·ч/кг)
8	0,176	0,176 – 0,211	Г
9	0,145	0,145 – 0,174	Г

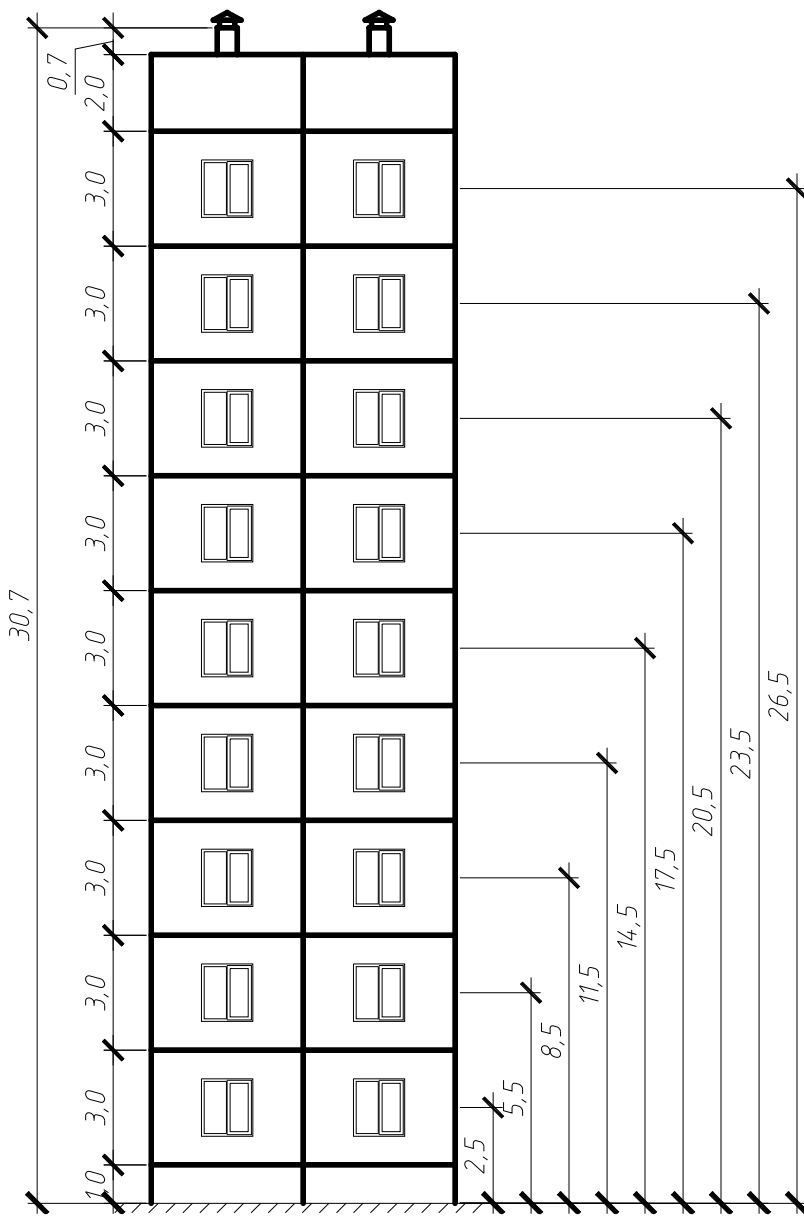


Рис. 6.4. Фасад здания

7. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

Расчет и построение графиков тепловлажностного режима наружного ограждения может выполняться по методу проф. К. Ф. Фокина [5] или методу проф. Э. Х. Одельского [7]. Следует понимать, что оба графоаналитических метода являются приближенными, так как они основаны на стационарных условиях диффузии водяного пара.

В курсовой работе расчет и построение графиков производится по методу проф. К. Ф. Фокина. Ниже изложена последовательность расчета.

Согласно [1] в качестве расчетного периода принят отопительный, т. е. то количество суток, когда среднесуточная температура воздуха равна и ниже 8 °С, а для больниц, школ и дошкольных учреждений – равна и ниже 10 °С.

7.1. Последовательность расчета

7.1.1. Построение графика распределения температур в ограждении

Температура на границе каждого слоя ограждения в расчетный период определяется по формуле

$$t_x = t_b - q_{н.от} \left(\frac{1}{\alpha_b} + \sum_{i=1}^x R_i \right), \quad (7.1)$$

где $q_{н.от}$ – средний за отопительный период тепловой поток через ограждение, Вт/м², рассчитываемый по выражению

$$q_{н.от} = \frac{t_b - t_{н.от}}{R_T}, \quad (7.2)$$

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

R_T – действительное сопротивление теплопередаче ограждения, м²·°С/Вт, определенное в разделе 4;

$\sum_{i=1}^x R_i$ – термическое сопротивление ограждения от внутренней

поверхности до рассматриваемой плоскости x , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Затем необходимо вычертить ограждающую конструкцию в масштабе толщин. С левой стороны в масштабе $1 \text{ см} - 1 \text{ °C}$ строится шкала температур. В рассматриваемых плоскостях откладываем рассчитанные значения температур и соединяем их ломаной линией. Данная линия будет являться графиком распределения температур в ограждении.

7.1.2. Построение кривой распределения максимальных парциальных давлений водяного пара

По полученным в предыдущем пункте температурам находим из приложения Е максимальные парциальные давления водяного пара. В толще утеплителя с целью лучшей детализации кривой необходимо выбрать дополнительные точки.

Затем с левой стороны от шкалы температур в масштабе $1 \text{ см} - 100 \text{ Па}$ строится шкала давлений. В рассматриваемых плоскостях откладываем полученные значения максимальных парциальных давлений и соединяем их кривой. Данная кривая является графиком распределения максимальных парциальных давлений водяного пара в ограждении.

7.1.3. Построение графика распределения парциальных давлений водяного пара

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

$$e_x = e_b - g_{\text{н.от}} \left(R_{\text{пв}} + \sum_{i=1}^x R_{\text{пв}i} \right), \quad (7.3)$$

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

$$e_b = 0,01 \varphi_b E_b, \quad (7.4)$$

где $\varphi_{\text{в}}$ – расчетная относительная влажность внутреннего воздуха, %, (табл. 3.2);

$E_{\text{в}}$ – максимальное парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной его температуре $t_{\text{в}}$;

$g_{\text{н.от}}$ – средний за отопительный период диффундирующего через ограждение водяного пара, мг/(м²·ч), рассчитываемый по формуле

$$g_{\text{н.от}} = \frac{e_{\text{в}} - e_{\text{н.от}}}{R_{\text{п}}}, \quad (7.5)$$

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

$$e_{\text{н.от}} = 0,01\varphi_{\text{н.от}}E_{\text{н.от}}, \quad (7.6)$$

где $\varphi_{\text{н.от}}$ – расчетная относительная влажность наружного воздуха, %, (табл. 3.1);

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

$R_{\text{п}}$ – сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции, м²·ч·Па/мг, определяемое по формуле

$$R_{\text{п}} = R_{\text{пв}} + \sum_{i=1}^n R_{\text{п}i} + R_{\text{пн}} = R_{\text{пв}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} + R_{\text{пн}}, \quad (7.7)$$

где δ_i – толщина i -го слоя, м;

μ_i – коэффициент паропроницаемости i -го слоя, мг/(м·ч·Па), принимаемый в соответствии с приложением В данного пособия или по табл. А.1 [1];

$R_{\text{пв}}$, $R_{\text{пн}}$ – сопротивление паропереходу соответственно у внутренней и наружной поверхности ограждения, м²·ч·Па/мг. Согласно [5] предлагается принимать значения данных величин равными $R_{\text{пв}} = 0,027$ м²·ч·Па/мг и $R_{\text{пн}} = 0,013$ м²·ч·Па/мг;

$\sum_{i=1}^x R_{\text{п}i}$ – сопротивление паропроницанию слоев ограждения от

внутренней поверхности до рассматриваемой плоскости x , м²·ч·Па/мг.

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

Для практических расчетов величинами $R_{пв}$ и $R_{пн}$ можно пренебрегать ввиду их незначительности по сравнению с величиной сопротивления паропрооницания ограждения.

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 ее – конденсация происходит в области между точкой пересечения и наружной поверхностью.

7.1.4. Определение границ зоны реальной конденсации

Для построения линии падения парциального давления водяного пара в ограждении при конденсации в нем влаги необходимо выстроить ограждение в масштабе сопротивлений паропрооницанию. В рассмотренных плоскостях откладываем в масштабе 1 см – 100 Па сначала значения максимальных парциальных давлений, соединяя их плавной кривой (слои материалов толщиной более 0,1 м необходимо для точного воспроизведения кривизны линии разбить на несколько одинаковых участков, взяв значения максимальных парциальных давлений E с предыдущего графика, выполненного в масштабе толщин). Далее на внутренней и наружной поверхности откладываем значения парциальных давлений, вычисленных по формулам (7.4) и (7.6), и соединяем их прямой линией. Затем проводим из точек e_v и $e_{н.от}$, соответствующих парциальным давлениям

на 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 падение парциальных давлений в ограждении будет идти по линии $e_b E_i E_j e_{н.от}$.

7.1.5. Расчет требуемого сопротивления паропрооницанию ограждающей конструкции

Сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации R_n^B , м²·ч·Па/мг, должно быть не менее требуемого сопротивления паропрооницанию R_n^{TP} , определяемого по формуле

$$R_n^{TP} = R_n^H \frac{e_b - E_{пвк}}{E_{пвк} - e_{н.от}},$$

где R_n^H – сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции в пределах от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности рассматриваемого ограждения, м²·ч·Па/мг, определяемое по формуле (7.7);

$E_{пвк}$ – максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации, Па, при температуре в плоскости возможной конденсации $t_{пвк}$, °С, определяемой по формуле (7.1).

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

Если $R_n^B > R_n^{TP}$, то устройство пароизоляции может не потребоваться, если же $R_n^B < R_n^{TP}$, то пароизоляция необходима.

7.1.6. Устройство пароизоляции и построение уточненных графиков тепловлажностного режима

При устройстве пароизоляции изменяется распределение парциальных давлений водяного пара в ограждении. Для этого необходимо заново рассчитать сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции R_n , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, по формуле (7.7) и построить уточненный график распределения парциальных давлений. Перерасчет температур и максимальных парциальных давлений водяного пара можно не проводить, так как ввиду малой толщины пароизоляции почти не влияет на сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции.

7.1.7. Определение относительной влажности воздуха для материалов и уточнение сопротивления теплопередаче

В соответствии с п. 5.14 [1] для многослойной ограждающей конструкции после выполнения тепловлажностного расчета необходимо определить средние значения относительной влажности для слоев и выполнить уточненный расчет сопротивления теплопередаче по формуле (4.1), приняв условия эксплуатации А материала слоя при средней относительной влажности воздуха в слое менее или равной 75 % и условия эксплуатации Б при средней относительной влажности воздуха более 75 %.

Средняя относительная влажность в слое $\varphi_{\text{ср}i}$, %, рассчитывается по формуле

$$\varphi_{\text{ср}i} = \frac{\varphi_i + \varphi_{i+1}}{2}, \quad (7.8)$$

где φ_i – относительная влажность воздуха на внутренней поверхности слоя материала, %;

φ_{i+1} – относительная влажность воздуха на наружной поверхности слоя, %.

Расчетная относительная влажность воздуха в любом сечении ограждения φ_i , %, определяется по выражению

$$\varphi_i = \frac{100e_i}{E_i}, \quad (7.9)$$

где e_i – расчетное парциальное давление водяного пара в рассматриваемом сечении, Па, определенное согласно п. 7.1.3;

E_i – максимальное парциальное давление водяного пара в рассматриваемом сечении, Па, определенное согласно п. 7.1.2.

7.2. Примеры расчета ограждений

7.2.1. Наружная стена

Из табл. 3.1 и 3.2 имеем: $t_{н.от} = -1,2$ °С, $\varphi_{н.от} = 83$ %, $t_{в} = 18$ °С, $\varphi_{в} = 55$ %.

Из п. 4.1 сопротивление теплопередаче наружной стены $R_T^{HC} = 3,34$ м²·°С/Вт.

Средний за отопительный период тепловой поток через наружную стену равен в соответствии с формулой (7.2)

$$q_{н.от} = \frac{18 - (-1,2)}{3,34} = 5,75, \text{ Вт/м}^2.$$

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 температуры в данных плоскостях по формуле (7.1):

$$t_1 = 18 - 5,75 \cdot \frac{1}{8,7} = 17,3, \text{ °С};$$

$$t_2 = 18 - 5,75 \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{2,04} \right) = 16,8, \text{ °С};$$

$$t_3 = 18 - 5,75 \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{0,12}{0,0391} \right) = -0,9, \text{ °С};$$

$$t_4 = -1,2 + 5,75 \cdot \frac{1}{23} = -1,0, \text{ °С}.$$

По полученным значениям строим график распределения температур в ограждении (рис. 7.1, линия t).

По приложению Е или 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 5 °С) и сводим в таблицу.

Таблица 7.1

Значения максимальных парциальных давлений
в плоскостях наружной стены

Температура t , °С	Максимальное парциальное давление водяного пара E , Па
18,0	2064,3
17,3	1975,1
16,8	1913,5
10,0	1228,0
5,0	611,2
-0,9	572,1
-1,0	562,7
-1,2	553,4

По полученным значениям строим график распределения максимальных парциальных давлений водяного пара в стене (рис. 7.1, линия E).

Для определения парциальных давлений водяного пара найдем парциальные давления водяных паров внутреннего и наружного воздуха по формулам (7.4) и (7.6), а также сопротивление паропрооницанию наружной стены по формуле (7.7).

$$e_{\text{в}} = 0,01 \cdot 55 \cdot 2064,3 = 1135,4, \text{ Па};$$

$$e_{\text{н.от}} = 0,01 \cdot 83 \cdot 553,4 = 459,3, \text{ Па};$$

$$R_{\text{п}} = \frac{0,2}{0,03} + \frac{0,12}{0,0164} + \frac{0,01}{0,09} = 6,67 + 7,32 + 0,11 = 14,10, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Тогда средний за отопительный период поток диффундирующего в наружной стене водяного пара в соответствии с (7.5)

$$g_{\text{н.от}} = \frac{1135,4 - 459,3}{14,10} = 47,95, \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Рассчитаем парциальные давления водяного пара в плоскостях, принятых для нахождения температур, по формуле (7.3).

$$e_1 = e_b = 1135,4, \text{ Па};$$

$$e_2 = 1135,4 - 47,95 \cdot \frac{0,2}{0,03} = 815,7, \text{ Па};$$

$$e_3 = 1135,4 - 47,95 \cdot \left(\frac{0,2}{0,03} + \frac{0,12}{0,0164} \right) = 464,9, \text{ Па};$$

$$e_4 = e_{\text{н.от}} = 459,3, \text{ Па}.$$

По полученным значениям строим график распределения парциальных давлений водяного пара в наружной стене (рис. 7.1, линия e).

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

$$R_{\text{п}}^{\text{н}} = \frac{0,01}{0,09} = 0,11, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Для плоскости возможной конденсации $E_{\text{пвк}} = 572,1$ Па. Тогда

$$R_{\text{п}}^{\text{тп}} = 0,11 \cdot \frac{1135,4 - 572,1}{572,1 - 459,3} = 0,55, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

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

$$R_n^B = \frac{0,2}{0,03} + \frac{0,12}{0,0164} = 13,98, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Так как $R_n^B > R_n^{TP}$, то устройство пароизоляции не требуется.

Определим относительную влажность воздуха в сечениях наружной стены по выражению (7.9).

$$\varphi_1 = \frac{100 \cdot 1135,4}{1975,1} = 57,5, \text{ \%};$$

$$\varphi_2 = \frac{100 \cdot 815,7}{1913,5} = 42,6, \text{ \%};$$

$$\varphi_3 = \frac{100 \cdot 464,9}{572,1} = 81,3, \text{ \%};$$

$$\varphi_4 = \frac{100 \cdot 459,3}{562,7} = 81,6, \text{ \%}.$$

Средняя относительная влажность материалов в соответствии с формулой (7.8) составит:

– для железобетона (слой 1)

$$\varphi_{ср1} = \frac{57,5 + 42,6}{2} = 50,0, \text{ \%};$$

– для пенополистирольных плит (слой 2)

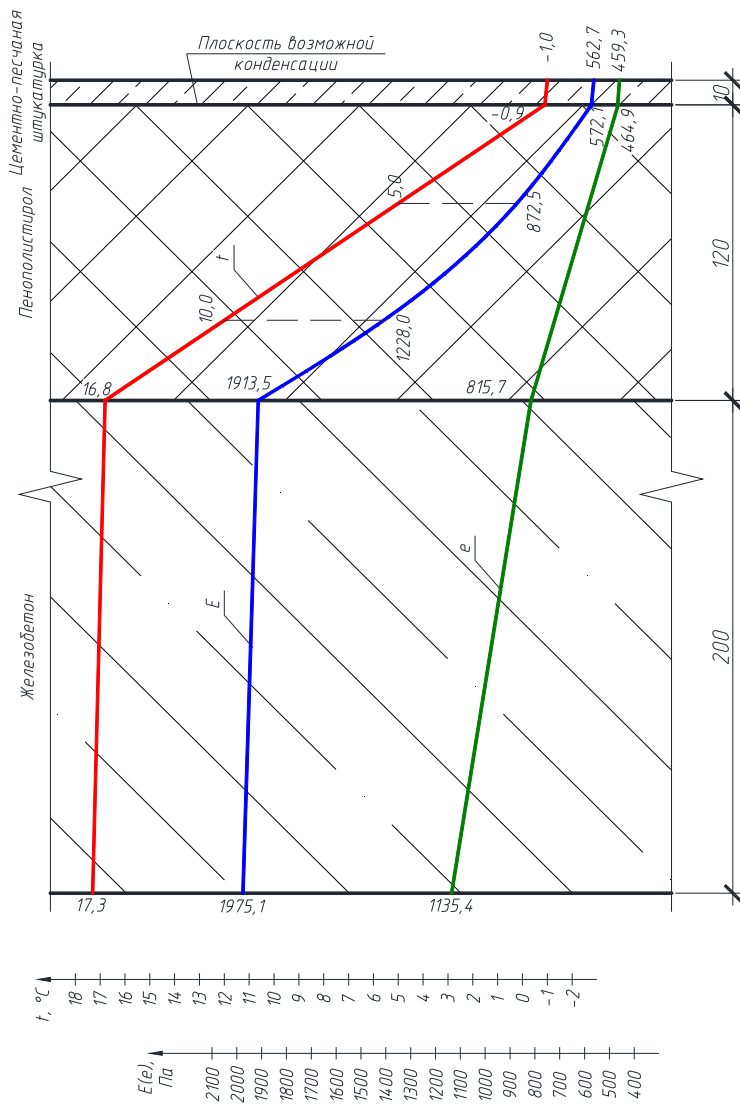


Рис. 7.1. Графики тепловлажностного режима наружной стены

$$\varphi_{\text{ср}2} = \frac{42,6 + 81,3}{2} = 62,0, \quad \%;$$

– для наружной штукатурки (слой 3)

$$\varphi_{\text{ср}3} = \frac{81,3 + 81,6}{2} = 81,5, \quad \%;$$

Таким образом, средняя относительная влажность воздуха в железобетоне и пенополистирольных плитах составляет менее 75 %, а в наружной штукатурке – более 75 %. Поэтому производим уточненный расчет сопротивления теплопередаче наружной стены, приняв коэффициенты теплопроводности железобетона и пенополистирольных плит согласно условиям эксплуатации А (соответственно $\lambda_1 = 1,92$ Вт/(м·°С) и $\lambda_2 = 0,0388$ Вт/(м·°С)), а цементно-песчаной штукатурки – согласно условиям эксплуатации Б ($\lambda_3 = 0,93$ Вт/(м·°С)).

$$R_{\text{т.ст}}^{\text{НС}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,12}{0,0388} + \frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,37, \quad \text{м}^2 \cdot \text{°С/Вт},$$

что выше нормативного значения для наружных стен $R_{\text{т.норм}} = 3,20$ м²·°С/Вт.

7.2.2. Совмещенное покрытие

В п. 4.2 определено, что сопротивление теплопередаче совмещенного покрытия $R_{\text{т}}^{\text{СП}} = 6,01$ м²·°С/Вт.

Средний за отопительный период тепловой поток через совмещенное покрытие

$$q_{\text{н.от}} = \frac{18 - (-1,2)}{6,01} = 3,19, \quad \text{Вт/м}^2.$$

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:

$$t_1 = 18 - 3,19 \cdot \frac{1}{8,7} = 17,6, \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_2 = 18 - 3,19 \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 0,167 \right) = 17,1, \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_3 = 18 - 3,19 \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 0,167 + \frac{0,22}{0,0391} \right) = -0,85, \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_4 = 18 - 3,19 \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 0,167 + \frac{0,22}{0,0391} + \frac{0,02}{0,93} \right) = -0,9, \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_5 = -1,2 + 3,19 \cdot \frac{1}{23} = -1,1, \text{ } ^\circ\text{C};$$

По полученным значениям строим график распределения температур в ограждении (рис. 7.2, линия t). По приложению Е находим значения максимальных парциальных давлений водяного пара при температурах внутреннего и наружного воздуха и температурах в плоскостях совмещенного покрытия (с двумя дополнительными точками – 10 °С и 5 °С) и сводим в табл. 7.2.

По полученным значениям строим график распределения максимальных парциальных давлений водяного пара в совмещенном покрытии (рис. 7.2, линия E).

Таблица 7.2

Значения максимальных парциальных давлений
в плоскостях совмещенного покрытия

Температура t , °С	Максимальное парциальное давление водяного пара E , Па
18,0	2064,3
17,6	2012,9
17,1	1950,3
10,0	1228,0
5,0	872,5

Температура t , °С	Максимальное парциальное давление водяного пара E , Па
-0,85	569,8
-0,9	567,4
-1,1	558,0
-1,2	553,4

Найдем сопротивление паропрооницанию совмещенного покрытия. Так как железобетонная плита имеет воздушные прослойки, то ее сопротивление паропрооницанию:

$$R_{\text{пл}} = \frac{F_1 + F_2}{\frac{F_1}{R_{\text{п1}}} + \frac{F_2}{R_{\text{п2}}}},$$

где $R_{\text{п1}}$ и $R_{\text{п2}}$ – сопротивления паропрооницанию, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, определенные по сечениям 1 и 2 на рис. 4.3;

F_1 и F_2 – площади сечений 1 и 2 соответственно, м^2 .

Для сечения 1

$$R_{\text{п1}} = \frac{0,05}{0,03} + 0 + \frac{0,05}{0,03} = 3,33, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Для сечения 2

$$R_{\text{п2}} = \frac{0,26}{0,03} = 8,67, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Тогда

$$R_{\text{н}} = \frac{0,26 \cdot 0,235}{\frac{0,26 \cdot 0,16}{3,33} + \frac{0,26 \cdot 0,075}{8,67}} = \frac{0,235}{\frac{0,16}{3,33} + \frac{0,075}{8,67}} = 4,14, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Сопrotивление паропроницанию совмещенного покрытия:

$$R_{\text{п}} = 4,14 + \frac{0,22}{0,0164} + \frac{0,02}{0,09} + 4,4 = 4,14 + 13,41 + 0,22 + 4,4 = 22,17 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

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

$$g_{\text{н.от}} = \frac{1135,4 - 459,3}{22,17} = 30,50, \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

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

$$e_1 = e_{\text{в}} = 1135,4, \text{ Па};$$

$$e_2 = 1135,4 - 30,50 \cdot 4,14 = 1009,1, \text{ Па};$$

$$e_3 = 1135,4 - 30,50 \cdot \left(4,14 + \frac{0,22}{0,0164} \right) = 600,0, \text{ Па};$$

$$e_4 = 1135,4 - 30,50 \cdot \left(4,14 + \frac{0,22}{0,0164} + \frac{0,02}{0,09} \right) = 593,2, \text{ Па};$$

$$e_5 = e_{\text{н.от}} = 459,3, \text{ Па}.$$

По полученным значениям строим график распределения парциальных давлений водяного пара в совмещенном покрытии (рис. 7.2, линия e). Рассчитаем требуемое сопротивление паропроницанию. Сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции в пределах от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности ограждения:

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

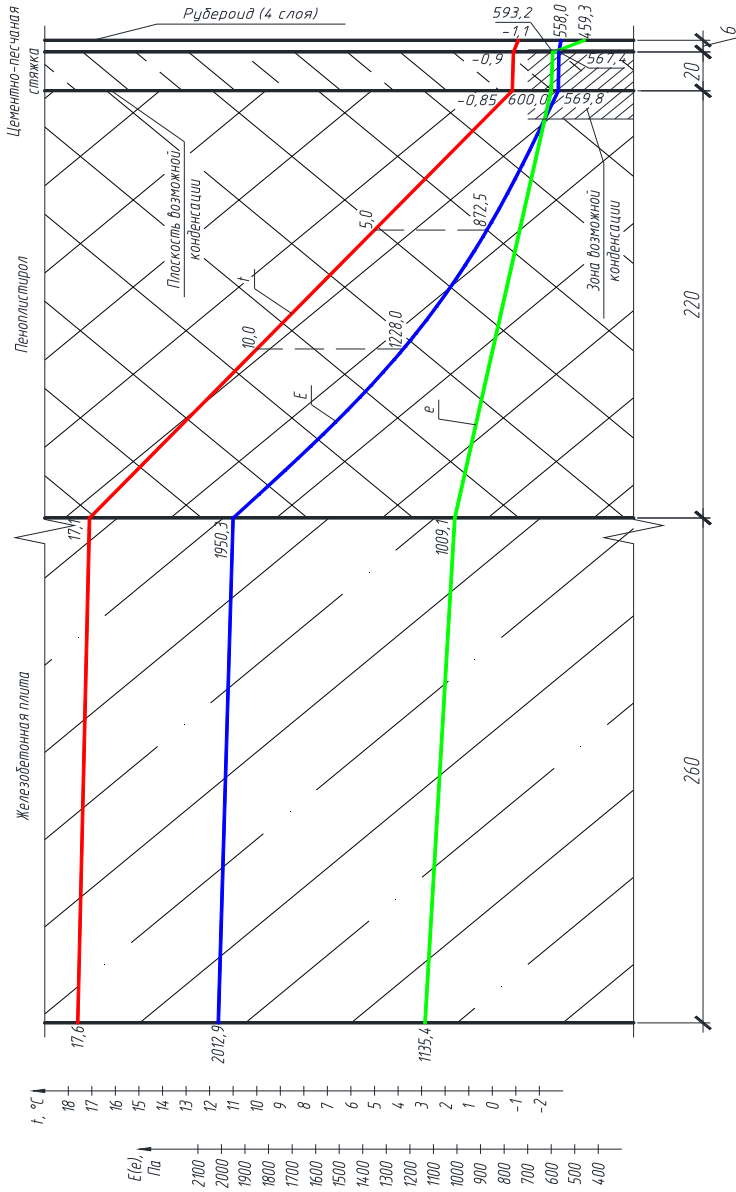


Рис. 7.2. Графики тепловлажностного режима совмещенного покрытия

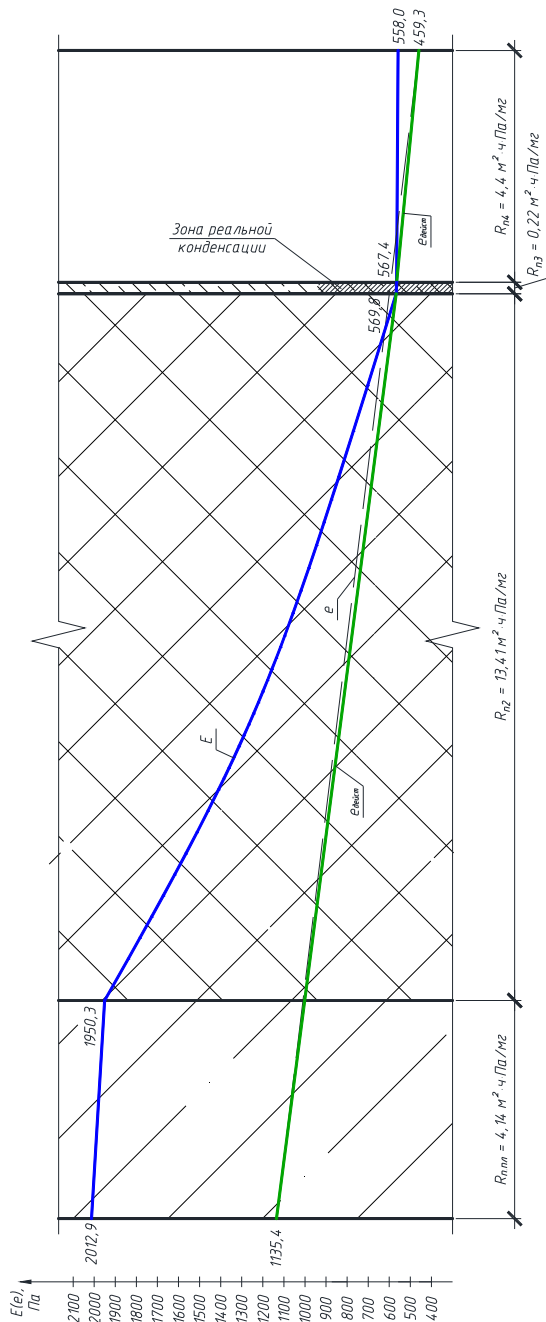


Рис. 7.3. Построение зоны реальной конденсации

Для плоскости возможной конденсации $E_{\text{пвк}} = 569,8$ Па. Тогда

$$R_{\text{п}}^{\text{тп}} = 4,62 \cdot \frac{1135,2 - 569,8}{569,8 - 459,3} = 23,65, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}.$$

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

$$R_{\text{п}}^{\text{в}} = 4,14 + \frac{0,22}{0,0164} = 17,55, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}.$$

Так как $R_{\text{п}}^{\text{в}} < R_{\text{п}}^{\text{тп}}$, то требуется устройство пароизоляции. В качестве пароизоляции используем полиэтиленовую пленку с сопротивлением паропроницанию $R_{\text{п.из}} = 7,3 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$ (приложение Ж [1] или приложение Н данного пособия). Количество слоев найдем по формуле

$$n = \frac{R_{\text{п}}^{\text{тп}} - R_{\text{п}}^{\text{в}}}{R_{\text{п}}^{\text{из}}},$$

$$n = \frac{23,65 - 17,55}{7,3} = 0,8 \text{ слоя}.$$

Принимаем $n = 1$ слой и рассчитываем уточненное сопротивление паропроницанию совмещенного покрытия

$$R'_{\text{п}} = 4,14 + 7,3 + \frac{0,22}{0,0164} + \frac{0,02}{0,09} + 4,4 = 4,14 + 7,3 + 13,41 + 0,22 + 4,4 = 29,47 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}.$$

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

Пересчитаем парциальные давления водяного пара в плоскостях покрытия:

$$g'_{\text{н.от}} = \frac{1135,4 - 459,3}{29,47} = 22,94, \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч});$$

$$e'_1 = e_b = 1135,4, \text{ Па};$$

$$e'_2 = 1135,4 - 22,94 \cdot 4,14 = 1040,4, \text{ Па};$$

$$e'_2 = 1135,4 - 22,94 \cdot (4,14 + 7,3) = 873,0, \text{ Па};$$

$$e'_3 = 1135,4 - 22,94 \cdot \left(4,14 + 7,3 + \frac{0,22}{0,0164} \right) = 565,2, \text{ Па};$$

$$e'_4 = 1135,4 - 22,94 \cdot \left(4,14 + 7,3 + \frac{0,22}{0,0164} + \frac{0,02}{0,09} \right) = 560,1, \text{ Па};$$

$$e'_5 = e_{\text{н.от}} = 459,3, \text{ Па}.$$

Используя рассчитанные ранние значения температур и максимальных парциальных давлений водяного пара и по полученным значениям парциальных давлений водяного пара в совмещенном покрытии, строим уточненные графики тепловлажностного режима (рис. 7.4).

Определим относительную влажность воздуха в сечениях совмещенного покрытия по выражению (7.9).

$$\varphi_1 = \frac{100 \cdot 1135,4}{2012,9} = 56,4, \text{ \%};$$

$$\varphi_2 = \frac{100 \cdot 1040,4}{1950,3} = 53,3, \text{ \%};$$

$$\varphi_{2'} = \frac{100 \cdot 873,0}{1950,3} = 44,8, \text{ \%};$$

$$\varphi_3 = \frac{100 \cdot 565,2}{569,8} = 99,2, \text{ \%};$$

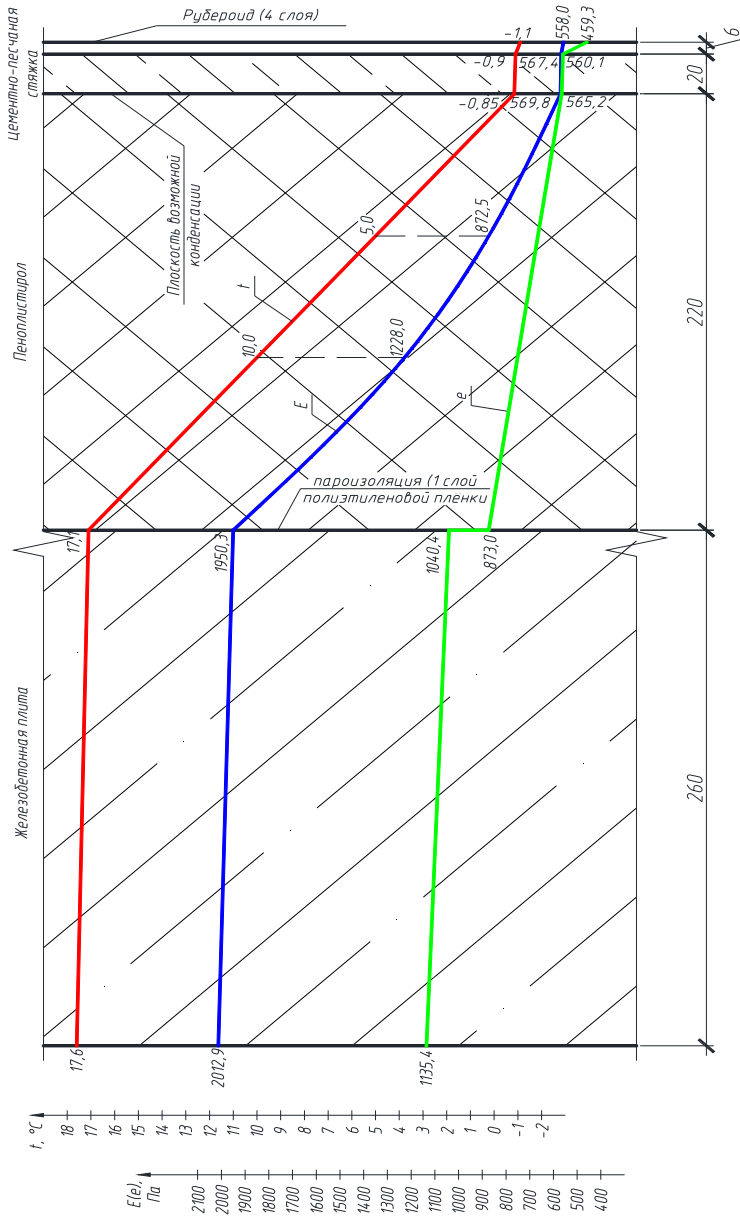


Рис. 7.4. Уточненные графики тепловлажностного режима совмещенного покрытия

$$\varphi_4 = \frac{100 \cdot 560,1}{567,4} = 98,7, \text{ \%};$$

$$\varphi_5 = \frac{100 \cdot 459,3}{558,0} = 82,3, \text{ \%}.$$

Средняя относительная влажность материалов в соответствии с формулой (7.8) составит:

– для железобетонной плиты (слой 1)

$$\varphi_{\text{ср1}} = \frac{56,4 + 53,3}{2} = 54,9, \text{ \%};$$

– для пенополистирольных плит (слой 2) с учетом установленной пароизоляции

$$\varphi_{\text{ср2}} = \frac{44,8 + 99,2}{2} = 72,0, \text{ \%};$$

– для цементно-песчаной стяжки (слой 3)

$$\varphi_{\text{ср3}} = \frac{99,2 + 98,7}{2} = 99,0, \text{ \%};$$

– для рубероида (слой 4)

$$\varphi_{\text{ср3}} = \frac{98,7 + 82,3}{2} = 90,5, \text{ \%}.$$

Таким образом, средняя относительная влажность воздуха в железобетонной плите и пенополистирольных плитах составляет менее 75 %, а в цементно-песчаной стяжке и рубероиде – более 75 %. Поэтому производим уточненный расчет сопротивления теплопередаче совмещенного покрытия, приняв коэффициенты теплопроводности железобетона и пенополистирольных плит согласно условия эксплуатации

А (соответственно $\lambda_1 = 1,92$ Вт/(м·°С) и $\lambda_2 = 0,0388$ Вт/(м·°С)), а цементно-песчаной стяжки и рубероида – согласно условиям эксплуатации Б (соответственно $\lambda_3 = 0,93$ Вт/(м·°С) и $\lambda_4 = 0,17$ Вт/(м·°С)).

Предварительно рассчитаем термическое сопротивление железобетонной плиты (см. п. 4.2).

В соответствии с формулой (4.4) сопротивление участка I (рис. 4.3) составляет

$$R_1 = 0,15 + \frac{0,1}{1,92} = 0,202, \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Сопротивление участка 2 определяем по формуле (4.2):

$$R_2 = \frac{0,26}{1,92} = 0,135, \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Термическое сопротивление параллельно тепловому потоку:

$$R_{\parallel} = \frac{0,235 \cdot 0,26}{\frac{0,16 \cdot 0,26}{0,202} + \frac{0,075 \cdot 0,26}{0,135}} = \frac{0,235}{\frac{0,16}{0,202} + \frac{0,075}{0,135}} = 0,174, \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Термическое сопротивление слоев I и III составляет

$$R_1 = R_{\text{III}} = \frac{0,05}{1,92} = 0,026, \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Термическое сопротивление неоднородного слоя II определяется исходя из разбиения его на два участка: II' – воздушная прослойка с сопротивлением $R_{\text{II}'} = 0,15$ м²·°С/Вт, II'' – железобетон с термическим сопротивлением.

$$R_{\text{II}''} = \frac{0,16}{1,92} = 0,083, \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

$$R_{\parallel} = \frac{0,235 \cdot 0,16}{\frac{0,16 \cdot 0,16}{0,15} + \frac{0,075 \cdot 0,16}{0,083}} = \frac{0,235}{\frac{0,16}{0,15} + \frac{0,075}{0,083}} = 0,119, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Термическое сопротивление перпендикулярно тепловому потоку:

$$R_{\perp} = 0,026 + 0,119 + 0,026 = 0,171, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Так как R_{\parallel} не превышает R_{\perp} на 25 %, то термическое сопротивление железобетонной плиты вычисляется по формуле (4.5):

$$R_{\text{пл}} = \frac{0,174 + 2 \cdot 0,171}{3} = 0,172, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Тогда уточненное сопротивление теплопередаче совмещенного покрытия составит

$$R_{\text{т.уг}}^{\text{СП}} = \frac{1}{8,7} + 0,172 + \frac{0,22}{0,0388} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,006}{0,17} + \frac{1}{23} = 6,06, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

что выше нормативного значения для совмещенного покрытия, равного $R_{\text{т.норм}} = 6,00 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

8. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ПОДПОЛЬЯ

Теплотехнический расчет ограждений технического подполья осуществляется в соответствии с приложением К [1] и сводится к:

– последовательному определению температуры воздуха в техническом подполье при предварительно заданных значениях сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций технического подполья;

– проверке требуемого перепада температуры $\Delta t_{\text{в}}^{\text{ТР}}$;

– проверке возможности образования конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций технического подполья.

Температура воздуха в техническом подполье $t_{\text{п}}$, °С, определяется по выражению

$$t_{\text{п}} = \frac{t_{\text{в}} \cdot \frac{F_{\text{ППП}}}{R_{\text{т}}} + \sum_{i=1}^k q_i' \cdot l_i + t_{\text{н}} \cdot \left(0,28 \cdot V_{\text{п}} \cdot n_{\text{в}} \cdot c \cdot \rho_{\text{п}} + \sum_{j=1}^m \frac{F_j}{R_{\text{т}}^j} \right)}{\frac{F_{\text{ППП}}}{R_{\text{т}}} + 0,28 \cdot V_{\text{п}} \cdot n \cdot c \cdot \rho_{\text{п}} + \sum_{j=1}^m \frac{F_j}{R_{\text{т}}^j}},$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха помещений первого этажа, °С, значение приведено в табл. 3.2;

$F_{\text{ППП}}$, $R_{\text{т}}^{\text{ППП}}$ – площадь, м², и сопротивление теплопередаче, м²·°С/Вт, перекрытия над техническим подпольем;

q_i' – линейная плотность теплового потока изолированного трубопровода i -го диаметра, расположенного в техническом подполье, Вт/м, принимается по приложению П пособия в зависимости от температуры теплоносителя и температуры окружающего воздуха;

l_i – длина трубопровода i -го диаметра, м;

$t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха, °С, равная температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, значение приведено в табл. 3.1;

$V_{\text{п}}$ – объем воздуха, заполняющего техническое подполье, м³;

$n_{\text{в}} = 0,5 \text{ ч}^{-1}$ – кратность воздухообмена в техническом подполье;

$c = 1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°С})$ – удельная изобарная теплоемкость воздуха;

$\rho_{\text{п}}$ – плотность воздуха в подвале, кг/м^3 , принимается равной $\rho_{\text{п}} = 1,27 \text{ кг/м}^3$;

$F_j, R_{\text{т}}^j$ – площадь, м^2 , и сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, ограждающих конструкций технического подполья (наружные стены выше и ниже уровня земли, пола, окон и наружных дверей).

Если при расчете получилось, что $t_{\text{п}} \geq 5 \text{ °C}$, то необходимо рассчитать перепад температур между температурой воздуха первого этажа и температурой пола первого этажа по формуле

$$\Delta t_{\text{в}}^{\text{п}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{п}}}{\alpha_{\text{в}} \cdot R_{\text{т}}^{\text{ППП}}}.$$

Если $t_{\text{п}} \geq 5 \text{ °C}$ и $\Delta t_{\text{в}}^{\text{п}} \leq 0,8 \text{ °C}$, то производится проверка на образование конденсата на внутренней поверхности ограждений технического подполья.

При $t_{\text{п}} < 5 \text{ °C}$ и $\Delta t_{\text{в}}^{\text{п}} > 0,8 \text{ °C}$ делается вывод о переводе технического подполья в категорию отапливаемых помещений с расчетной температурой воздуха $t_{\text{п}} = 5 \text{ °C}$ и автоматическим регулированием теплоотдачи отопительных приборов.

После этого проверяется возможность образования конденсата на внутренней поверхности наружных стен, расположенных выше и ниже уровня земли. Для этого находится температура внутренней поверхности наружной стены по формуле (8.1) и сравнивается с температурой точки росы, рассчитанной исходя из нормального режима помещений технического подполья (условия эксплуатации А согласно примечанию к табл. 4.2 [1]).

$$\tau_{\text{в}j} = t_{\text{п}} - \frac{t_{\text{п}} - t_{\text{н}}}{\alpha_{\text{в}} \cdot R_{\text{т}}^j}. \quad (8.1)$$

Произведем расчет температуры в техническом подполье для рассматриваемого жилого здания с объемом технического подполья $V_{\text{п}} = 708 \text{ м}^3$ (объем рассчитывается согласно примечанию к табл. 1.5).

По табл. 1.5 по последней цифре зачетной книжки выбираются необходимые площади и сопротивления теплопередаче ограждений. В данном примере примем, что значения площади и сопротивления теплопередаче составляют:

а) для наружных стен выше уровня земли – $F_{НС} = 74,93 \text{ м}^2$ и $R_{Т}^{НС} = 3,37 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ (сопротивление теплопередаче рассчитано в п. 7.2.2);

б) для наружных стен ниже уровня земли – $F_{НСП} = 83,3 \text{ м}^2$ и $R_{Т}^{НСП} = 2,10 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

в) для пола технического подполья – $F_{ПП} = 354 \text{ м}^2$ и $R_{Т}^{ПП} = 4,12 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

г) для перекрытия над техническим подпольем – $F_{ППП} = 354 \text{ м}^2$ и $R_{Т}^{ППП} = 1,87 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ (сопротивление теплопередаче рассчитано в п. 4.3);

д) для окон в подполье – $F_{ОПП} = 6,48 \text{ м}^2$ и $R_{Т}^{ОПП} = 0,18 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

е) для наружных дверей – $F_{ДН} = 1,89 \text{ м}^2$ и $R_{Т}^{ДН} = 0,48 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ (сопротивление теплопередаче рассчитано в п. 4.4).

Данные значения и отношения площади к сопротивлению теплопередаче (кроме перекрытия над техническим подпольем) сведем в таблицу.

Таблица 8.1

Площади и сопротивления теплопередаче ограждений технического подполья

Наименование ограждения	Площадь ограждения $F_i, \text{ м}^2$	Сопротивление теплопередаче ограждения $R_{Т}^j, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	Отношение $F_i/R_{Т}^j, \text{ Вт}/\text{°C}$
Наружные стены выше уровня земли	74,93	3,37	22,23
Наружные стены ниже уровня земли	83,3	2,10	39,67
Пол технического подполья	354	4,12	85,92
Окна	6,48	0,18	36,00
Наружные двери	1,89	0,48	3,94
$\Sigma(F_i/R_{Т}^j) =$			187,76

Кроме того, в техническом подполье проложены трубопроводы отопления и горячего водоснабжения (обе системы с верхней разводкой). Длины трубопроводов и температуры теплоносителя в них приведены в табл. 1.6.

Таблица 8.2

Длины и диаметры трубопроводов в техническом подполье

Длина трубопроводов l_i , м, при температуре теплоносителя										
95 °С	70 °С						50 °С			
для условного диаметра d_y , мм										
50	50	40	32	25	20	15	32	25	20	15
12,6	12,3	16,2	9,6	20,5	16,0	37,0	2,2	14,6	8,4	19,7

Значения q_i' в приложении К [1] приведены при температуре окружающего трубопроводы воздуха 20 °С. Значения линейной плотности теплового потока, приведенные в приложении П данного пособия, пересчитаны на температуру окружающего воздуха $t_{\text{окр}}$ по выражению

$$q_i' = q_i^{20} \cdot \frac{t_T - t_{\text{окр}}}{t_T - 20},$$

где q_i^{20} – линейная плотность теплового потока при температуре окружающего воздуха 20 °С, Вт/м;

t_T – температура теплоносителя, °С;

$t_{\text{окр}}$ – температура окружающего воздуха, °С.

Рассчитаем теплопоступления в помещения технического подполья от трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения. Расчеты для удобства сведем в табл. 8.3.

Тогда для рассчитываемого жилого здания при $t_{\text{в}} = 18$ °С и $t_{\text{н}} = t_{\text{х.с.с}} = -24$ °С температура в техническом подполье составит

$$t_{\text{н}} = \frac{18 \cdot \frac{354}{1,87} + 2656,5 + (-24) \cdot (0,28 \cdot 708 \cdot 0,5 \cdot 1,005 \cdot 1,27 + 187,76)}{\frac{354}{1,87} + 0,28 \cdot 708 \cdot 0,5 \cdot 1,005 \cdot 1,27 + 187,76} = -2,9, \text{ °С.}$$

Таблица 8.3

Теплопоступления от трубопроводов

Диаметр условного прохода, мм	Длина трубопроводов данного диаметра l_i , м	Линейная плотность теплового потока q_i^5 , Вт/м, при $t_{окр} = t_{п} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Теплопоступления от трубопроводов $\Sigma q_i^5 \cdot l_i$, Вт
Температура теплоносителя $t_{т} = 95 \text{ }^{\circ}\text{C}$			
50	12,6	28,3	356,6
Суммарные теплопоступления:			356,6
Температура теплоносителя $t_{т} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$			
50	12,3	21,6	265,7
40	16,2	20,5	332,1
32	9,6	18,1	173,8
25	20,5	16,6	340,3
20	16,0	14,8	236,8
15	37,0	13,0	481,0
Суммарные теплопоступления:			1829,7
Температура теплоносителя $t_{т} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$			
32	2,2	13,4	29,5
25	14,6	12,0	175,2
20	8,4	10,5	88,2
15	19,7	9,0	177,3
Суммарные теплопоступления:			470,2
Общие теплопоступления от трубопроводов:			2656,5

Так как $t_{п} = -2,9 \text{ }^{\circ}\text{C} < 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, то техническое подполье переводится в категорию отапливаемых помещений с расчетной температурой воздуха $t_{п} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и автоматическим регулированием теплоотдачи отопительных приборов.

Найдем температуру на внутренней поверхности наружной стены выше уровня земли по формуле (8.1) при $R_r^j = R_{r,ут}^{HC} = 3,37 \text{ м}^2 \cdot \text{С/Вт}$:

$$\tau_B^{HC} = 5 - \frac{5 - (-24)}{8,7 \cdot 3,37} \approx 4,0, \text{ } ^\circ\text{С}.$$

Температура на внутренней поверхности наружной стены ниже уровня земли составит при $R_r^{HCП} = 2,10 \text{ м}^2 \cdot \text{С/Вт}$:

$$\tau_B^{HCП} = 5 - \frac{5 - (-24)}{8,7 \cdot 2,1} \approx 3,4, \text{ } ^\circ\text{С}.$$

Согласно табл. 4.2 [1] нормальным режим эксплуатации помещений технического подполья будет при температуре $t_n = 5 \text{ } ^\circ\text{С}$ и относительной влажности от 60 % до 75 % включительно. Самые благоприятные условия для выпадения конденсата будут при $\varphi_n = 75 \text{ } \%$. При данных значения температуры и относительной влажности температура точки росы согласно приложению Ж данного пособия составит $t_p = 1,0 \text{ } ^\circ\text{С}$. Так как $\tau_B^{HC} > t_p$ и $\tau_B^{HCП} > t_p$, то данные сопротивления теплопередаче ограждений технического подполья принимаем в качестве нормативных.

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Наружная стена – железобетонная монолитная (толщина железобетона 200 мм) с утеплителем из плит пенополистирольных теплоизоляционных типа Р (плотность 25 кг/м³, толщина 120 мм), оштукатуренная с наружной стороны (толщина штукатурки 10 мм). Действительное сопротивление теплопередаче наружной стены составляет $R_{т,ут}^{HC} = 3,37 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Минимальная температура внутренней поверхности при центральном водяном отоплении $\tau_{в}^{\min} = 16,3 \text{ °C}$.

Совмещенное покрытие состоит из железобетонной многослойной плиты (толщина 260 мм) с утеплителем из плит пенополистирольных теплоизоляционных типа Р (плотность 25 кг/м³, толщина 220 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 – один слой полиэтиленовой пленки. Действительное сопротивление теплопередаче совмещенного покрытия составляет $R_{т,ут}^{HC} = 6,06 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Окна выполнены из 5-камерного поливинилхлоридного профиля «Века» системы Softline XXL с остеклением из двухкамерного энергосберегающего стеклопакета марки 4-12-4И-12-И4. Приведенное сопротивление теплопередаче окон составляет $R_{ок} = 1,06 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Окна на 1–6 этажах относятся к классу В, на 7 этаже – к классам В или Г и на 8–9 этажах – к классу Г по воздухопроницанию.

Техническое подполье в здании – отапливаемое, с расчетной температурой воздуха $t_{п} = 5 \text{ °C}$ и автоматическим регулированием теплоотдачи отопительных приборов.

Наружные двери, устанавливаемые в здании, должны иметь сопротивление теплопередаче не менее $0,48 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43–2006* (02250). – Введ. 01.07.07. – Минск: Мин-во строительства и архитектуры Респ. Беларусь, 2015. – 47 с.
2. Строительная климатология : Изменение №1 СНБ 2.04.02–2000. – Введ. 01.07.07. – Минск: Мин-во строительства и архитектуры Респ. Беларусь, 2007. – 35 с.
3. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07–85. – Введ. 01.01.87. – Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 37 с.
4. Блоки оконные и дверные балконные. Общие технические условия : СТБ 939–2013. – Введ. 01.06.2014. – Минск: Госстандарт, 2014. – 39 с.
5. Фокин, К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин; под ред. Ю. А. Табунщикова, В. Г. Гагарина. – 5-е изд., испр. – Москва: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
6. Стены и перегородки зданий и сооружений из керамических поризованных пустотелых блоков. Правила проектирования и возведения : ТКП 45-5.02-79–2007* (02250). – Введ. 01.07.08. – Минск: Мин-во строительства и архитектуры Респ. Беларусь, 2014. – 49 с.
7. Одельский, Э. Х. Строительная теплотехника (программа, методические указания, лекции). – Минск: БПИ, 1963. – 94 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Климатические параметры холодного периода года [2]

Населенный пункт	Температура наиболее холодных суток, °С, обеспеченностью		Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 $t_{х,5\%}$, °С	Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь повторяемостью 16 % и более, $v_{ср}$, м/с	Средняя температура за отопительный период $t_{н,отб}$ °С, при среднесуточной температуре начала отопительного периода		Средняя относительная влажность за отопительный период $\phi_{н,отб}$ %
	0,98 $t_{х,с}^{0,98}$	0,92 $t_{х,с}^{0,92}$			8 °С	10 °С	
Брестская область							
Барановичи	-30	-26	-22	4,8	-0,5	+0,4	85
Брест	-30	-25	-21	3,4	+0,6	+1,5	83
Высокое	-	-	-	-	+0,4	+1,2	84
Ганцевичи	-	-	-	-	-0,3	+0,8	83
Пинск	-30	-25	-21	4,4	0,0	+0,9	83
Полесский	-	-	-	-	-0,2	+0,7	83
Пружаны	-31	-27	-22	3,3	+0,1	+1,0	85
Витебская область							
Верхнедвинск	-35	-30	-25	3,7	-1,0	-0,1	84
Витебск	-36	-31	-25	4,2	-1,5	-0,5	83
Докшицы	-	-	-	-	-1,1	-0,2	83
Езерище	-	-	-	-	-1,5	-0,5	82
Лепель	-34	-30	-24	3,1	-1,1	-0,2	83
Лынтупы	-	-	-	-	-0,8	+0,1	85
Орша	-	-	-	-	-1,5	-0,6	84
Полоцк	-35	-30	-25	3,8	-1,1	-0,2	83
Сенно	-	-	-	-	-1,2	-0,3	83
Шарковщина	-35	-30	-24	4,3	-1,0	-0,1	84

Населенный пункт	Температура наиболее холодных суток, °С, обеспеченностью		Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 $t_{х,5д5}$, °С	Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь повторяемостью 16 % и более, $v_{фр}$, м/с	Средняя температура за отопительный период $t_{н,отб}$, °С, при среднесуточной температуре начала отопительного периода		Средняя относительная влажность за отопительный период $\Phi_{н,отб}$, %
	0,98 $t_{х,с}^{0,98}$	0,92 $t_{х,с}^{0,92}$			8 °С	10 °С	
Гомельская область							
Брагин	-30	-27	-22	4,6	-0,8	+0,1	84
Василевичи	-30	-27	-23	3,3	-0,7	+0,2	82
Гомель	-32	-28	-24	3,9	-1,0	-0,1	82
Житковичи	-30	-27	-22	3,2	-0,3	+0,6	81
Жлобин	-32	-28	-24	3,1	-0,9	0,0	83
Лельчицы	-	-	-	-	-0,3	+0,6	82
Мозырь	-	-	-	-	-0,7	+0,1	82
Октябрь	-	-	-	-	-0,7	+0,1	83
Чечерск	-	-	-	-	-1,3	-0,3	83
Гродненская область							
Волковыск	-31	-26	-21	4,6	+0,1	+1,0	83
Гродно	-31	-26	-22	5,7	+0,1	+1,0	85
Лида	-31	-26	-22	4,0	-0,3	+0,6	84
Новогрудок	-30	-26	-21	5,8	-0,7	+0,2	86
Ошмяны	-	-	-	-	-0,7	+0,2	85
Минская область							
Березино	-	-	-	-	-1,0	-0,1	84
Борисов	-33	-29	-24	3,6	-1,0	-0,1	84
Вилейка	-32	-28	-24	3,8	-0,8	+0,1	84
Воложин	-	-	-	-	-0,8	+0,1	84
Марьина Горка	-32	-28	-24	4,2	-0,9	0,0	85

Населенный пункт	Температура наиболее холодных суток, °С, обеспеченностью		Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 $t_{х,5д3}$, °С	Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь повторяемостью 16 % и более, $v_{фр}$, м/с	Средняя температура за отопительный период $t_{н,отб}$, °С, при среднесуточной температуре начала отопительного периода		Средняя относительная влажность за отопительный период $\Phi_{н,отб}$, %
	0,98 $t_{х,с}^{0,98}$	0,92 $t_{х,с}^{0,92}$			8 °С	10 °С	
Минск	-33	-28	-24	3,1	-0,9	0,0	83
Слуцк	–	–	–	–	-0,7	+0,1	84
Столбцы	–	–	–	–	-0,6	+0,3	84
Могилевская область							
Бобруйск	-32	-28	-23	4,4	-0,9	0,0	83
Горки	-35	-30	-26	4,9	-1,8	-0,8	85
Кличев	–	–	–	–	-1,1	-0,1	83
Костюковичи	–	–	–	–	-1,6	-0,7	84
Могилев	-34	-29	-24	5,1	-1,5	-0,4	84
Славгород	-33	-29	-24	4,4	-1,4	-0,5	83

Примечания:

1. Для населенных пунктов, не указанных в таблице, параметры наружного воздуха принимаются по ближайшему населенному пункту, указанному в таблице.

2. Прочерк означает отсутствие данных в [2]. Параметры воздуха принимаются по географически ближайшему городу, приведенному в таблице.

3. Отопительный период соответствует периоду года со среднесуточной температурой воздуха равной и ниже 8 °С, а для больниц, школ и дошкольных учреждений – равной и ниже 10 °С.

4. Температура холодных трех суток рассчитывается как среднеарифметическое между температурой холодных суток обеспеченностью 0,92 и холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

Приложение Б

Расчетный перепад температур между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности

Здания и помещения	Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности $\Delta t_{в}$, °С		
	наружных стен	покрытий и чердачных перекрытий	перекрытий над проездами, подвалами и подпольями
Здания жилые, больничных учреждений (больниц, клиник, стационаров и госпиталей), родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов; спальные корпуса общеобразовательных детских школ; здания детских садов, яслей, яслей-садов (комбинатов), детских домов и детских приемников-распределителей	6	4	2 (см. прим. 2)
Здания диспансеров и амбулаторно-поликлинических учреждений; учебные здания общеобразовательных детских школ	6	4,5	2 (см. прим. 2)
Общественные здания, кроме указанных в поз. 1 и 2, вспомогательные здания и помещения промышленных предприятий, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	7	5,5	2 (см. прим. 2)
Производственные здания с сухим режимом	$t_{в} - t_{п}$, но не более 10	$0,8 \cdot (t_{в} - t_{п})$, но не более 8	2,5

Здания и помещения	Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности $\Delta t_{в}$, °С		
	наружных стен	покрытий и чердачных перекрытий	перекрытий над проездами, подвалами и подпольями
Производственные здания с нормальным режимом	$t_{в} - t_{р}$, но не более 8	$0,8 \cdot (t_{в} - t_{р})$, но не более 7	2,5
Производственные здания и помещения общественных зданий с влажным и мокрым режимами	$t_{в} - t_{р}$	$0,8 \cdot (t_{в} - t_{р})$	2,5
Здания картофеле- и овоще-фруктохранилищ	$t_{в} - t_{р}$	$t_{в} - t_{р}$	2,5
Производственные здания с избытками явной теплоты более 23 Вт/м ³ и расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха не более 50 %	12	12	2,5

Примечания:

1. В таблице приняты следующие обозначения: $t_{в}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °С; $t_{р}$ – температура точки росы при расчетных условиях, °С.

2. Для перекрытий над техническими подпольями, неотапливаемыми подвальными и цокольными этажами, ограждающими конструкциями технических подполий расчетный перепад между температурой пола и температурой воздуха помещений первого этажа должен быть не более 0,8 °С при отсутствии конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций.

3. Для перекрытий между теплым чердаком и помещениями последнего этажа, ограждающих конструкции теплых чердаков, расчетный перепад между температурой потолка и температурой воздуха помещений последнего этажа должен быть не более 0,8 °С при отсутствии конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций.

Приложение В

Теплофизические характеристики некоторых строительных материалов [1, 6]

Материал	Плотность в сухом состоянии ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации)				
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С) (при периоде колебаний $T = 24$ ч)		паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
		А	Б	А	Б	А, Б
Бетоны						
Железобетон	2500	1,92	2,04	17,98	19,70	0,03
Керамзитобетон на керамзитовом песке	1800	0,744	0,764	9,710	10,051	0,0899
	1600	0,634	0,664	8,451	8,834	0,0932
	1400	0,524	0,542	7,186	7,466	0,1097
	1200	0,408	0,424	5,871	6,113	0,1142
	1000	0,306	0,326	4,641	4,893	0,1265
Аглопоритобетон	1800	0,805	0,830	10,209	10,584	0,0867
	1600	0,678	0,693	8,833	9,118	0,0889
	1400	0,554	0,571	7,469	7,742	0,0976
	1200	0,441	0,457	6,170	6,412	0,1085
	1000	0,353	0,374	5,039	5,296	0,1188
Газосиликат	1000	0,36	0,37	5,35	5,53	0,11
	900	0,32	0,33	4,79	4,95	0,12
	800	0,28	0,29	4,22	4,38	0,14
	700	0,23	0,24	3,51	3,67	0,16
	600	0,18	0,19	2,81	2,95	0,17
	500	0,15	0,16	2,38	2,48	0,20
Кладка						
Кирпич глиняный обыкновенный	1800	0,70	0,81	9,20	10,12	0,11
Кирпич силикатный	2000	1,36	1,63	10,99	12,13	0,088
	1900	1,18	1,40	10,38	11,52	0,09
	1800	0,99	1,16	9,77	10,90	0,110
	1700	0,87	1,07	9,16	10,29	0,115
	1600	0,69	0,81	8,59	9,79	0,12

Материал	Плотность в сухом состоянии ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации)				
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С) (при периоде колебаний $T = 24$ ч)		паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
		А	Б	А	Б	А, Б
Кирпич керамический плотностью 1400 кг/м ³	1600	0,63	0,78	7,91	8,48	0,14
Кирпич керамический плотностью 1300 кг/м ³	1400	0,55	0,69	7,01	7,58	0,16
Камень керамический 18-шелевой плотностью 1600 кг/м ³	1700	0,575	0,630	8,72	9,58	0,15
Кирпич силикатный утолщенный	1600	1,03	1,28	8,83	9,91	0,12
	1400	0,94	1,16	7,93	9,01	0,13
Камень силикатный	1400	0,79	0,93	7,93	9,01	0,14
	1300	0,70	0,81	7,37	8,41	0,15
Кладка из керамических блоков						
Кладка тычковыми рядами из блоков размером 510×250×138 мм пустотностью 42 % на цементно-песчаном растворе	1140	0,255	0,281	4,35	4,57	0,139
Кладка тычковыми рядами из блоков размером 510×250×138 мм пустотностью 42 % на цементно-перлитовом растворе плотностью 1000 кг/м ³	1050	0,193	0,203	3,63	3,73	0,145

Материал	Плотность в сухом состоянии ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации)					
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С) (при периоде колебаний $T = 24$ ч)		паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)	
		А	Б	А	Б	А, Б	
Кладка из блоков размером 250×120××219 мм пустотностью 42 % с порядовой перевязкой ложковых рядов тычковыми на цементно-песчаном растворе	1040	0,276	0,302	4,32	4,52	0,156	
Кладка из блоков размером 250×120××219 мм пустотностью 42 % с порядовой перевязкой ложковых рядов тычковыми на цементно-перлитовом растворе плотностью 1000 кг/м ³	930	0,209	0,219	3,55	3,64	0,166	
Кладка из блоков размером 250×120××138 мм пустотностью 42 % с порядовой перевязкой ложковых рядов тычковыми на цементно-песчаном растворе	1060	0,293	0,324	4,50	4,74	0,154	

Материал	Плотность в сухом состоянии ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации)				
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С) (при периоде колебаний $T = 24$ ч)		паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
		А	Б	А	Б	А, Б
Кладка из блоков размером 250×120×138 мм пустотностью 42 % с порядовой перевязкой ложковых рядов тычковыми на цементно-перлитовом растворе плотностью 1000 кг/м ³	930	0,212	0,223	3,58	3,67	0,167
Растворы						
Цементно-песчаный раствор	1800	0,76	0,93	9,60	11,09	0,09
Известково-песчаный раствор	1600	0,70	0,81	8,69	9,76	0,12
Сложный раствор	1700	0,70	0,87	8,95	10,42	0,098
Плиты из гипса	1200	0,41	0,47	6,01	6,70	0,098
	1000	0,29	0,35	4,62	5,28	0,11
Теплоизоляционные материалы						
Минеральная вата						
Маты минераловатные прошивные	125	0,046	0,051	0,60	0,66	0,56
	100	0,045	0,048	0,53	0,57	0,58
	75	0,043	0,046	0,45	0,48	0,59
	50	0,042	0,045	0,36	0,39	0,61
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты	250	0,0470	0,0479	0,855	0,873	0,243
	200	0,0443	0,0446	0,742	0,754	0,352
	190	0,0439	0,0448	0,720	0,736	0,394
	185	0,0437	0,0446	0,709	0,725	0,405
	170	0,0435	0,0443	0,678	0,692	0,447
	160	0,0432	0,0441	0,655	0,671	0,454
	150	0,0430	0,0438	0,633	0,647	0,472

Материал	Плотность в сухом состоянии ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации)				
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С) (при периоде колебаний $T = 24$ ч)		паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
		А	Б	А	Б	А, Б
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты	135	0,0428	0,0436	0,599	0,612	0,482
	125	0,0425	0,0434	0,574	0,587	0,506
	115	0,0423	0,0431	0,550	0,562	0,524
	110	0,0421	0,0429	0,536	0,548	0,526
	105	0,0417	0,0426	0,522	0,533	0,530
	90	0,0416	0,0425	0,482	0,493	0,551
	80	0,0412	0,0421	0,453	0,463	0,560
	75	0,0410	0,0419	0,437	0,447	0,570
	60	0,0409	0,0418	0,390	0,400	0,578
	50	0,0407	0,0416	0,356	0,364	0,590
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты	35	0,0405	0,0414	0,297	0,304	0,595
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты вертикально-волокнистые	125	0,0439	0,0446	0,584	0,596	0,504
	115	0,0436	0,0443	0,558	0,570	0,524
	105	0,0435	0,0442	0,533	0,544	0,530
Пенополистирол						
Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Р	50	0,0428	0,0432	0,460	0,463	0,0098
	35	0,0386	0,0389	0,366	0,368	0,0127
	25	0,0388	0,0391	0,310	0,312	0,0164
	20	0,0398	0,0400	0,281	0,282	0,0176
	15	0,0407	0,0410	0,246	0,247	0,0233
	10	0,0448	0,0450	0,210	0,211	0,0328
Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Ф	45	0,0361	0,0362	0,400	0,401	0,0084
	35	0,0362	0,0363	0,352	0,354	0,0112
	30	0,0363	0,0364	0,327	0,328	0,0125
	25	0,0371	0,0373	0,302	0,303	0,0147
	20	0,0381	0,0383	0,274	0,275	0,0154
	15	0,0391	0,0394	0,240	0,241	0,0216

Материал	Плотность в сухом состоянии ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации)				
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С) (при периоде колебаний $T = 24$ ч)		паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
		А	Б	А	Б	А, Б
Плиты пенополистирольные теплоизоляционные пониженной теплопроводности типа Р	35	0,0321	0,0323	0,332	0,333	0,0122
	25	0,0341	0,0342	0,289	0,290	0,0152
	20	0,0343	0,0346	0,259	0,261	0,0174
	15	0,0352	0,0355	0,228	0,229	0,0229
	10	0,0373	0,0376	0,191	0,192	0,0323
Плиты пенополистирольные теплоизоляционные пониженной теплопроводности типа Ф	45	0,0321	0,0322	0,376	0,377	0,0081
	35	0,0322	0,0323	0,332	0,333	0,0122
	30	0,0331	0,0332	0,312	0,313	0,0134
	25	0,0341	0,0343	0,289	0,290	0,0152
	20	0,0342	0,0345	0,259	0,260	0,0174
	15	0,0351	0,0354	0,227	0,229	0,0229
Плиты пенополистирольные экструдированные теплоизоляционные	45	0,0305	0,0307	0,367	0,369	0,0052
	35	0,0295	0,0297	0,318	0,320	0,0063
Пенополиуретан						
Пенополиуретан	80	0,05	0,05	0,67	0,70	0,05
	60	0,041	0,041	0,53	0,55	0,05
	40	0,04	0,04	0,40	0,42	0,05
Полистиролбетон						
Плиты полистиролбетонные теплоизоляционные	350	0,099	0,109	1,576	1,723	0,092
	300	0,089	0,100	1,384	1,528	0,101
	250	0,080	0,089	1,198	1,316	0,108
	200	0,071	0,079	1,009	1,110	0,120
	150	0,062	0,071	0,817	0,910	0,132
Древесина						
Сосна и ель поперек волокон	500	0,14	0,18	3,87	4,54	0,06
Сосна и ель вдоль волокон	500	0,29	0,35	5,56	6,33	0,32
Дуб поперек волокон	700	0,18	0,23	5,00	5,86	0,05

Материал	Плотность в сухом состоянии ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации)				
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С) (при периоде колебаний $T = 24$ ч)		паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
		А	Б	А	Б	А, Б
Дуб вдоль волокон	700	0,35	0,41	6,90	7,83	0,30
Плиты древесноволокнистые	1000	0,23	0,29	6,75	7,70	0,12
	800	0,19	0,23	5,49	6,13	0,12
	200	0,07	0,08	1,67	1,81	0,24
Кровельные материалы, рулонные покрытия для полов						
Листы асбестоцементные плоские	1800	0,47	0,52	7,55	8,12	0,03
	1600	0,35	0,41	6,14	6,80	0,03
Рубероид, пергамин, толь	600	0,17	0,17	3,53	3,53	см. прил. Н
Битум нефтяной строительный и кровельный	1400	0,27	0,27	6,80	6,80	0,008
	1200	0,22	0,22	5,69	5,69	0,008
	1000	0,17	0,17	4,56	4,56	0,008
Линолеум поливинилхлоридный многослойный	1800	0,38	0,38	8,56	8,56	0,02
	1600	0,33	0,33	7,52	7,52	0,02
Линолеум поливинилхлоридный на тканой подоснове	1800	0,35	0,35	8,22	8,22	0,002
	1600	0,29	0,29	7,05	7,05	0,002
	1400	0,23	0,23	5,87	5,87	0,002
Металлы и стекло						
Сталь стержневая арматурная	7850	58	58	126,5	126,5	0
Чугун	7200	50	50	112,5	112,5	0
Алюминий	2600	221	221	187,6	187,6	0
Медь	8500	407	407	326,0	326,0	0
Стекло оконное	2500	0,76	0,76	10,79	10,79	0

Значения коэффициентов теплоотдачи поверхностей [1]

Наименование ограждающей конструкции	Значение коэффициента теплоотдачи, Вт/(м ² ·°С)
Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности $\alpha_{в}$	
Стены; полы; гладкие потолки; потолки с выступающими ребрами при отношении высоты ребер h к расстоянию a между гранями соседних ребер $h/a \leq 0,3$	8,7
Потолки с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6
Окна и балконные двери	8,0
Зенитные фонари	9,9
Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности $\alpha_{н}$	
Наружные стены; совмещенные покрытия; перекрытия над проездом	23
Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом	17
Перекрытия чердачные; перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах; наружные стены с вентилируемой наружным воздухом прослойкой	12
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6

Примечания:

1. При расчете сопротивления теплопередаче внутренних ограждающих конструкций вместо $\alpha_{н}$ следует принимать $\alpha_{в}$ более холодного помещения.

2. Значения коэффициентов теплоотдачи внутренней поверхности окон и балконных дверей взяты из ГОСТ 26602.1–99 «Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче», зенитных фонарей – из СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника».

**Термическое сопротивление замкнутых
воздушных прослоек [1]**

Толщина замкнутой воздушной прослойки, мм	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки $R_{звп}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$			
	вертикальной; горизонтальной, при потоке теплоты снизу вверх		горизонтальной, при потоке теплоты сверху вниз	
	при температуре воздуха в прослойке			
	положительной	отрицательной	положительной	отрицательной
10	0,13	0,15	0,14	0,15
20	0,14	0,15	0,15	0,19
30	0,14	0,16	0,16	0,21
50	0,14	0,17	0,17	0,22
100	0,15	0,18	0,18	0,23
150	0,15	0,18	0,19	0,24
200...300	0,15	0,19	0,19	0,24

Примечания:

1. При оклейке одной или обеих поверхностей, ограничивающих замкнутую воздушную прослойку, алюминиевой фольгой термическое сопротивление следует увеличивать в 2 раза.

2. Значения величины термического сопротивления замкнутых воздушных прослоек приведены при разности температур на поверхностях прослойки $\Delta t = 10 \text{ °C}$. Для уточнения расчетов необходимо значение $R_{звп}$ умножить на поправочный коэффициент:

- при разности температур $\Delta t = 8 \text{ °C}$ – 1,05;
- при $\Delta t = 6 \text{ °C}$ – 1,10;
- при $\Delta t = 4 \text{ °C}$ – 1,25;
- при $\Delta t = 2 \text{ °C}$ – 1,40.

Максимальное парциальное давление водяного пара в влажном воздухе

Температура воздуха t , °С	Максимальное парциальное давление E , Па, над льдом (при $t < 0$ °С) и над водой (при $t > 0$ °С)									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-25	63,3	62,7	62,0	61,4	60,8	60,2	59,6	59,0	58,4	57,8
-24	69,9	69,2	68,5	67,9	67,2	66,5	65,9	65,2	64,6	63,9
-23	77,2	76,4	75,7	74,9	74,2	73,5	72,7	72,0	71,3	70,6
-22	85,1	84,3	83,5	82,6	81,8	81,0	80,3	79,5	78,7	77,9
-21	93,8	92,9	92,0	91,1	90,2	89,3	88,5	87,6	86,8	85,9
-20	103,3	102,3	101,3	100,3	99,4	98,4	97,5	96,5	95,6	94,7
-19	113,6	112,5	111,5	110,4	109,4	108,3	107,3	106,3	105,3	104,3
-18	124,9	123,8	122,6	121,4	120,3	119,2	118,0	116,9	115,8	114,7
-17	137,3	136,0	134,7	133,4	132,2	131,0	129,7	128,5	127,3	126,1
-16	150,7	149,3	147,9	146,5	145,2	143,8	142,5	141,2	139,8	138,5
-15	165,3	163,8	162,3	160,8	159,3	157,8	156,4	154,9	153,5	152,1
-14	181,2	179,6	177,9	176,3	174,7	173,1	171,5	169,9	168,4	166,8
-13	198,5	196,7	194,9	193,2	191,4	189,7	188,0	186,3	184,6	182,9
-12	217,3	215,4	213,4	211,5	209,6	207,7	205,9	204,0	202,2	200,3
-11	237,7	235,6	233,5	231,4	229,4	227,3	225,3	223,3	221,3	219,3
-10	259,9	257,6	255,3	253,1	250,8	248,6	246,4	244,2	242,0	239,9
-9	283,9	281,4	279,0	276,5	274,1	271,7	269,3	266,9	264,6	262,2

Температура воздуха t , °С	Максимальное парциальное давление E , Па, над льдом (при $t < 0$ °С) и над водой (при $t > 0$ °С)									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-8	310,0	307,3	304,6	302,0	299,3	296,7	294,1	291,5	289,0	286,5
-7	338,2	335,3	332,4	329,5	326,6	323,8	321,0	318,2	315,5	312,7
-6	368,7	365,6	362,4	359,3	356,2	353,2	350,1	347,1	344,1	341,1
-5	401,8	398,3	395,0	391,6	388,2	384,9	381,6	378,4	375,1	371,9
-4	437,5	433,8	430,1	426,5	422,9	419,3	415,7	412,2	408,7	405,2
-3	476,1	472,1	468,1	464,2	460,3	456,4	452,6	448,7	445,0	441,2
-2	517,7	513,4	509,1	504,9	500,7	496,5	492,3	488,2	484,1	480,1
-1	562,7	558,0	553,4	548,8	544,3	539,8	535,3	530,9	526,4	522,1
-0	611,2	606,1	601,2	596,2	591,3	586,5	581,6	576,8	572,1	567,4
0	611,2	615,7	620,2	624,7	629,2	633,8	638,4	643,0	647,7	652,4
1	657,1	661,8	666,6	671,4	676,3	681,1	686,0	691,0	695,9	700,9
2	706,0	711,0	716,1	721,2	726,4	731,6	736,8	742,1	747,4	752,7
3	758,0	763,4	768,8	774,3	779,8	785,3	790,9	796,5	802,1	807,8
4	813,5	819,2	825,0	830,8	836,6	842,5	848,4	854,4	860,4	866,4
5	872,5	878,6	884,7	890,9	897,1	903,4	909,7	916,0	922,4	928,8
6	935,2	941,7	948,3	954,8	961,4	968,1	974,8	981,5	988,3	995,1
7	1002,0	1008,9	1015,8	1022,8	1029,8	1036,9	1044,0	1051,1	1058,3	1065,6
8	1072,8	1080,2	1087,5	1095,0	1102,4	1109,9	1117,5	1125,1	1132,7	1140,4
9	1148,1	1155,9	1163,7	1171,6	1179,5	1187,5	1195,5	1203,5	1211,6	1219,8
10	1228,0	1236,2	1244,5	1252,9	1261,3	1269,7	1278,2	1286,8	1295,4	1304,0

Температура воздуха t , °С	Максимальное парциальное давление E , Па, над льдом (при $t < 0$ °С) и над водой (при $t > 0$ °С)															
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
11	1312,7	1321,5	1330,3	1339,1	1348,1	1357,0	1366,0	1375,1	1384,2	1393,4						
12	1402,6	1411,9	1421,2	1430,6	1440,0	1449,5	1459,1	1468,7	1478,3	1488,0						
13	1497,8	1507,6	1517,5	1527,5	1537,5	1547,5	1557,6	1567,8	1578,0	1588,3						
14	1598,7	1609,1	1619,5	1630,1	1640,7	1651,3	1662,0	1672,8	1683,6	1694,5						
15	1705,4	1716,5	1727,5	1738,7	1749,9	1761,1	1772,5	1783,9	1795,3	1806,9						
16	1818,4	1830,1	1841,8	1853,6	1865,4	1877,4	1889,3	1901,4	1913,5	1925,7						
17	1937,9	1950,3	1962,7	1975,1	1987,6	2000,2	2012,9	2025,7	2038,5	2051,3						
18	2064,3	2077,3	2090,4	2103,6	2116,8	2130,1	2143,5	2157,0	2170,5	2184,1						
19	2197,8	2211,6	2225,4	2239,3	2253,3	2267,3	2281,5	2295,7	2310,0	2324,4						
20	2338,8	2353,3	2367,9	2382,6	2397,4	2412,2	2427,2	2442,2	2457,2	2472,4						
21	2487,7	2503,0	2518,4	2533,9	2549,5	2565,2	2580,9	2596,7	2612,7	2628,7						
22	2644,8	2660,9	2677,2	2693,5	2710,0	2726,5	2743,1	2759,8	2776,6	2793,5						
23	2810,4	2827,5	2844,6	2861,9	2879,2	2896,6	2914,1	2931,8	2949,5	2967,2						
24	2985,1	3003,1	3021,2	3039,3	3057,6	3076,0	3094,4	3113,0	3131,6	3150,4						
25	3169,2	3188,2	3207,2	3226,3	3245,6	3264,9	3284,4	3303,9	3323,5	3343,3						

Температура точки росы

Температура $t_{\text{вс}}, ^\circ\text{C}$	Температура точки росы $t_{\text{р}}, ^\circ\text{C}$, при относительной влажности воздуха $\Phi_{\text{вс}}, \%$														
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95			
-25	-33,84	-32,74	-31,75	-30,85	-30,02	-29,25	-28,53	-27,86	-27,22	-26,63	-20,06	-25,52			
-24	-32,02	-31,81	-30,81	-20,90	-20,06	-28,28	-27,56	-26,88	-26,24	-25,64	-25,07	-24,53			
-23	-31,99	-30,87	-29,86	-28,95	-28,10	-27,32	-26,59	-25,91	-25,20	-24,66	-24,08	-23,53			
-22	-31,00	-29,94	-28,92	-27,99	-27,14	-26,35	-25,62	-24,93	-24,28	-23,67	-23,09	-22,54			
-21	-30,13	-29,00	-27,98	-27,04	-26,18	-25,39	-24,65	-23,95	-23,30	-22,68	-22,10	-21,54			
-20	-29,21	-28,06	-27,03	-26,09	-25,23	-24,42	-23,68	-22,98	-22,32	-21,70	-21,11	-20,55			
-19	-28,28	-27,13	-26,00	-25,14	-24,27	-23,46	-22,71	-22,00	-21,34	-20,71	-20,12	-19,55			
-18	27,35	-26,19	-25,14	-24,19	-23,31	-22,49	-21,73	-21,02	-20,35	-19,72	-19,12	-18,56			
-17	-20,43	-25,26	-24,20	-23,24	-22,35	-21,53	-20,76	-20,05	-10,37	-18,74	-18,13	-17,56			
-16	-25,50	-24,32	-23,26	-22,29	-21,39	-20,56	-19,79	-19,07	-18,39	-17,75	-17,14	-16,56			
-15	-24,57	-23,39	-22,31	-21,33	-20,43	-19,60	-18,82	-18,00	-17,41	-10,76	-16,15	-15,57			
-14	-23,05	-22,45	-21,37	-20,38	-19,48	-18,03	-17,85	-17,12	-10,43	-15,77	-15,16	-14,57			
-13	-22,72	-21,51	-20,43	-10,43	-18,52	-17,67	-16,88	-16,14	-15,44	-14,70	-14,16	-13,57			
-12	-21,80	-20,58	-10,48	-18,48	-17,56	-16,70	-15,91	-15,16	-14,40	-13,80	-13,17	-12,57			
-11	-20,87	-19,64	-18,54	-17,53	-16,60	-15,74	-14,04	-14,19	-13,48	-12,81	-12,18	-11,58			
-10	-19,94	-18,71	-17,50	-18,58	-15,64	-14,77	-13,97	-13,21	-12,50	-11,82	-11,18	-10,58			

Температура $t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	Температура точки росы $t_{\text{р}}, ^\circ\text{C}$, при относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}, \%$													
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95		
-9	-19,02	-17,77	-16,65	-15,63	-14,68	-13,81	-12,99	-12,23	-11,51	-10,83	-10,10	-0,59		
-8	-18,09	-16,34	-15,71	-14,67	-13,72	-12,84	-12,02	-11,25	-10,53	-0,85	-0,20	-8,58		
-7	-17,17	-15,90	-14,76	-13,72	-12,77	-11,88	-11,05	-10,28	-9,55	-8,86	-8,21	-7,58		
-6	-10,24	-14,97	-13,82	-12,77	-11,81	-10,91	-10,08	-0,30	-8,50	-7,87	-7,21	-6,59		
-5	-15,30	-14,04	-12,00	-11,84	-10,83	-9,96	-0,11	-8,31	-7,62	-6,89	-6,24	-5,60		
-4	-14,40	-13,10	-11,93	-10,84	-9,89	-8,99	-8,11	-7,34	-6,62	-5,89	-5,24	-4,60		
-3	-13,42	12,10	-10,08	-0,01	-8,05	-7,00	-7,16	-6,37	-5,62	-4,90	-4,24	-3,60		
-2	-12,58	-11,22	-10,04	-8,08	-7,95	-7,04	-6,21	-5,40	-4,62	-3,90	-3,34	-2,60		
-1	-11,61	-10,28	-0,10	-7,08	-7,00	-6,00	-5,21	-4,43	-3,66	-2,04	-2,34	-1,00		
0	-10,65	-9,34	-8,16	-7,05	-6,06	-5,14	-4,26	-3,46	-2,70	-1,96	-1,34	-0,62		
1	-0,85	-8,52	-7,32	-6,22	-6,21	-4,26	-3,40	-2,58	-1,82	-1,08	-0,41	0,31		
2	-0,07	-7,72	-6,52	-5,39	-4,38	-3,44	-2,56	-1,74	-0,97	-0,24	0,52	1,29		
3	-8,22	-6,88	-5,66	-4,53	-3,52	-2,57	-1,69	-0,88	-0,08	0,74	1,52	2,29		
4	-7,45	-6,07	-4,84	-3,74	-2,70	-1,75	-0,87	-0,01	0,87	1,72	2,50	3,26		
5	-6,66	-5,26	-4,03	-2,91	-1,87	-0,92	-0,01	0,94	1,83	2,68	3,49	4,26		
6	-5,81	-4,45	-3,22	-2,08	-1,04	-0,08	0,94	1,89	2,80	3,68	4,48	5,25		
7	-5,01	-3,64	-2,39	-1,25	-0,21	0,87	1,90	2,85	3,77	4,66	5,47	6,25		
8	-4,21	-2,83	-1,56	-0,42	-0,72	1,82	2,86	3,85	4,77	5,64	6,46	7,24		

Температура $t_b, ^\circ\text{C}$	Температура точки росы $t_{\text{р}}, ^\circ\text{C}$, при относительной влажности воздуха $\varphi_{\text{в}}, \%$																		
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95							
9	-3,41	-2,02	-0,78	0,46	1,66	2,77	3,82	4,81	5,74	6,62	7,45	8,24							
10	-2,62	-1,22	0,08	1,39	2,60	3,72	4,78	5,77	6,71	7,60	8,44	9,23							
11	-1,83	-0,42	0,98	1,32	3,54	4,68	5,74	6,74	7,68	8,58	9,43	10,23							
12	-1,04	0,44	1,90	3,25	4,48	5,63	6,70	7,71	8,65	9,56	10,42	11,22							
13	-0,25	1,35	2,82	4,18	5,42	6,58	7,66	8,68	9,62	10,54	11,41	12,21							
14	0,63	2,26	3,76	5,11	6,36	7,53	8,62	9,64	10,59	11,52	12,40	13,21							
15	1,51	3,17	4,68	6,04	7,30	8,48	9,58	10,60	11,59	12,50	13,38	14,21							
16	2,41	4,08	5,60	6,97	8,24	9,43	10,54	11,57	12,56	13,48	14,36	15,20							
17	3,31	4,99	6,52	7,90	9,18	10,37	11,50	12,54	13,53	14,46	15,36	16,19							
18	4,20	5,90	7,44	8,83	10,12	11,32	12,46	13,51	14,50	15,44	16,34	17,19							
19	5,09	6,81	8,36	9,76	11,06	12,27	13,42	14,48	15,47	16,42	17,32	18,19							
20	6,00	7,72	9,28	10,69	12,00	13,22	14,38	15,44	16,44	17,40	18,32	19,18							
21	6,90	8,62	10,20	11,62	12,94	14,17	15,33	16,40	17,41	18,38	19,30	20,18							
22	7,69	9,52	11,12	12,56	13,88	15,12	16,28	17,37	18,38	19,36	20,30	21,60							
23	8,68	10,43	12,03	13,48	14,82	16,07	17,23	18,34	19,38	20,34	21,28	22,15							
24	9,57	11,34	12,94	14,41	15,76	17,02	18,19	19,30	20,35	21,32	22,26	23,15							
25	10,46	12,75	13,86	15,34	16,70	17,97	19,15	20,26	21,32	22,30	23,24	24,14							

Приложение И

Сопротивление теплопередаче ПВХ профилей (согласно данным производителей)

Марка профиля	Профильная система	Количество камер	Толщина коробки, мм	Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{г,непр}$, $M^2 \cdot ^\circ C / B\tau$
«Aluplast»	Ideal 6000	6	80	0,91
	Ideal 8000	6	85	1,00
«Brüggmann»	AD класса А (с усилительным вкладышем)	5	73	1,02
	AD класса В (с усилительным вкладышем)	5	73	1,26
«Dexen»	A70	5	70	1,12
«Gealan»	S9000	6	83	1,09
«Internova»	6000	6	80	1,00
«КВЕ»	88 мм (без усилительного вкладыша)	5	88	1,04
	76 Premium	6	76	1,00
«Lg»	L-700	5	70	0,91
«Montblanc»	Nord 70 (без усилительного вкладыша)	5	70	0,82
	Nord 70 (с усилительным вкладышем)	5	70	0,77
«Plafen»	S-line	5	75	0,87
	T-line	5	70	0,85
«Rehau»	Geneo	6	86	1,05
	Intelio	6	86	0,95
«Salamander»	bluEvolution (стандартное армирование)	6	92	1,00
«Veka»	Alphaline	6	90	1,25
	Softline XXL	5	70	1,00
	Topline Plus	4	104	1,34

**Сопrotивление теплопередаче стеклопакетов
(согласно данным производителей)**

Марка стеклопакета	Толщина стеклопакета, мм	Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{т.сб}, \text{М}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$
4-Аr8-И4-Аr8-И4	28	1,09
4-10-И4-10-И4	32	0,92
4-Аr10-И4-Аr10-И4		1,21
4-Кr10-И4-Кr10-И4		1,67
4-Хe10-И4-Хe10-И4		1,77
4-12-И4-12-И4		1,03
4-Аr12-И4-Аr12-И4	36	1,35
4-Кr12-И4-Кr12-И4		1,63
4-Хe12-И4-Хe12-И4		1,72
4-14-И4-14-И4		1,12
4-Аr14-И4-Аr14-И4	40	1,43
4-Кr14-И4-Кr14-И4		1,59
4-Хe14-И4-Хe14-И4		1,70
4-16-И4-16-И4		1,15
4-Аr16-И4-Аr16-И4	44	1,43
4-Кr16-И4-Кr16-И4		1,55
4-Хe16-И4-Хe16-И4		1,70
4-Хe16-И4-Хe16-И4		1,70

Примечание – марка стеклопакетов расшифровывается следующим образом. Например, марка стеклопакета 4-Аr10-И4-Аr10-И4 означает (поочередно расписан каждый символ слева направо):

4 – наружное стекло – обычное листовое толщиной 4 мм;

Аr10 – наружная камера толщиной 10 мм, заполнена аргоном;

И4 – среднее стекло толщиной 4 мм, на поверхность, обращенную к наружному стеклу, нанесено низкоэмиссионное мягкое селективное покрытие;

Аr10 – внутренняя камера толщиной 10 мм, заполнена аргоном;

И4 – внутреннее стекло толщиной 4 мм, на поверхность, обращенную наружу, нанесено низкоэмиссионное мягкое селективное покрытие.

**Нормативная воздухопроницаемость
ограждающих конструкций зданий [1]**

Ограждающие конструкции	Нормативная воздухопроницаемость $G_{\text{норм}}$, кг/(м ² ·ч)
Наружные стены, перекрытия, покрытия и стыки панелей наружных стен жилых, общественных, административных и бытовых зданий; помещения промышленных предприятий	0,5
Наружные стены, перекрытия и покрытия производственных зданий	1,0
Входные двери в квартиры	1,5
Окна и балконные двери жилых, общественных, административных и бытовых зданий; помещения промышленных предприятий; окна производственных зданий с кондиционированием воздуха; двери и ворота производственных зданий	10,0
Зенитные фонари производственных зданий; окна производственных зданий с избытками явной теплоты не более 23 Вт/м ³	15,0
Окна производственных зданий с избытками явной теплоты более 23 Вт/м ³	30,0

Примечание – для стыков нормативная воздухопроницаемость изменяется в кг/(м·ч).

**Коэффициент изменения ветрового
давления по высоте [3]**

Высота h , м	Значения коэффициента изменения ветрового давления по высоте k для типа местности		
	<i>A</i> (открытые побережья морей, озер и водохранилищ; пустыни; степи; лесостепи; тундра)	<i>B</i> (городские территории, лесные массивы и другие местно- сти, равномерно покрытые препят- ствиями высотой более 10 м)	<i>C</i> (городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м)
до 5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25

Примечания:

1. Сооружение считается расположенным в местности данного типа, если эта местность сохраняется с наветренной стороны сооружения на расстоянии $30h$ – при высоте сооружения h до 60 м, и 2 км – при большей высоте.

2. Промежуточные значения определяются интерполяцией.

**Сопротивление паропрооницанию листовых материалов
и тонких слоев пароизоляции [1]**

Материал	Толщина слоя, мм	Сопротивление паропрооницанию $R_{п.изз}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$
Картон обыкновенный	1,3	0,016
Листы асбестоцементные	6	0,3
Листы гипсовые обшивочные, сухая штукатурка	10	0,12
Листы древесноволокнистые жесткие	10	0,11
Листы древесноволокнистые мягкие	12,5	0,05
Окраска горячим битумом за 1 раз	2	0,3
Окраска горячим битумом за 2 раза	4	0,48
Окраска масляной краской за 2 раза с предварительной шпатлевкой и грунтовкой	–	0,64
Окраска эмалевой краской	–	0,48
Покрытие изольной мастикой за 1 раз	2	0,60
Покрытие битумно- кукерсольной мастикой за 1 раз	1	0,64
Покрытие битумно- кукерсольной мастикой за 2 раза	2	1,1
Пергамин кровельный	0,4	0,33
Полиэтиленовая пленка	0,16	7,3
Рубероид	1,5	1,1
Толь кровельный	1,9	0,4
Фанера клееная трехслойная	3	0,15

Приложение О

Значения линейной плотности теплового потока для изолированных трубопроводов [1]

Диаметр условного прохода трубопро- вода, мм	Расчетная температура теплоносителя							
	50	60	70	80	90	95	100	105
	Линейная плотность теплового потока q_i^{20} , Вт/м, при температуре окружающего воздуха 20 °С							
10	5,0	6,8	8,6	10,4	12,2	13,1	14,0	14,8
15	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	15,0	16,0	16,9
20	7,0	9,2	11,4	13,6	15,8	16,9	18,0	19,0
25	8,0	10,4	12,8	15,2	17,6	18,8	20,0	21,1
32	8,9	11,4	13,9	16,4	18,9	20,1	21,4	22,6
40	10,0	12,6	15,8	17,8	20,4	21,7	23,0	24,3
50	11,0	13,8	16,6	19,4	22,2	23,6	25,0	26,5
65	13,0	16,2	19,4	22,6	25,8	27,4	29,0	30,6
70	13,3	16,7	20,0	23,3	26,6	28,3	30,0	31,6
80	14,0	17,6	21,2	24,8	28,4	30,2	32,0	33,7
100	16,0	19,8	23,6	27,4	31,2	33,1	35,0	36,9
125	18,0	22,2	26,4	30,6	34,8	36,9	39,0	41,1
150	21,0	25,6	30,2	34,8	39,4	41,7	44,0	46,8
Линейная плотность теплового потока q_i^5 , Вт/м, при температуре окружающего воздуха 5 °С								
10	7,5	9,4	11,2	13,0	14,8	15,7	16,6	17,4
15	9,0	11,0	13,0	15,0	17,0	18,0	19,0	19,9
20	10,5	12,7	14,8	17,0	19,2	20,3	21,4	22,4
25	12,0	14,3	16,6	19,0	21,4	22,6	23,8	24,8
32	13,4	15,7	18,1	20,5	23,0	24,1	25,4	26,6
40	15,0	17,3	20,5	22,3	24,8	26,0	27,3	28,6
50	16,5	19,0	21,6	24,3	27,0	28,3	29,7	31,2
65	19,5	22,3	25,2	28,3	31,3	32,9	34,4	36,0
70	20,0	23,0	26,0	29,1	32,3	34,0	35,6	37,2
80	21,0	24,2	27,6	31,0	34,5	36,2	38,0	39,6
100	24,0	27,2	30,7	34,3	37,9	39,7	41,6	43,4
125	27,0	30,5	34,3	38,3	42,3	44,3	46,3	48,4
150	31,5	35,2	39,3	43,5	47,8	50,0	52,3	55,1

Примечание – промежуточные значения линейной плотности теплового потока определяются методом интерполяции.

**Построение графиков тепловлажностного режима
по методу проф. Э. Х. Одельского**

Для построения графиков тепловлажностного режима по методу проф. Э. Х. Одельского [7] расчеты распределения температур и парциальных давлений аналогичны расчетам при построении графиков по методу проф. К. Ф. Фокина.

Все построения выполняются в следующей последовательности. По оси абсцисс необходимо вычертить ограждающую конструкцию в масштабе сопротивлений теплопередаче (включая сопротивления теплообмену у поверхностей ограждения): для стен и перекрытий над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями удобен будет масштаб $1 \text{ см} - 0,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, для совмещенных покрытий, чердачных перекрытий и перекрытий над проездами – вдвое меньший, т. е. $1 \text{ см} - 0,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. По оси ординат – температуру в масштабе $1 \text{ см} - 1 \text{ °C}$ или $1 \text{ см} - 0,5 \text{ °C}$. Рядом с осью температур проводится ось парциальных давлений водяного пара и напротив каждой температуры ставится значение максимального парциального давления, соответствующего данной температуре. Таким образом, линия распределения температур в ограждении одновременно является и линией падения максимального давления водяного пара.

Затем строится линия падения парциальных давлений водяного пара в масштабе максимальных парциальных давлений. Здесь так же, как и в методе К. Ф. Фокина, возможны три случая. По методу Э. Х. Одельского, зона реальной конденсации ограничивается плоскостями, проходящими через точки пересечения графиков E и e .

На рис. П1 представлен пример построения графиков тепловлажностного режима на примере совмещенного покрытия, рассмотренного в п. 7.2.2, с нахождением зоны реальной конденсации.

Сопротивлениями паропереходу ввиду их незначительности при расчете распределения парциальных давлений пренебрегаем.

Для удобства построения линии падения парциального давления водяного пара e определим парциальное давление в плоскостях утеплителя на расстоянии $\delta_2 = 80 \text{ мм}$ и $\delta_2' = 160 \text{ мм}$ по формуле (7.3).

$$e_{2'} = 1135,4 - 30,50 \cdot \left(4,14 + \frac{0,08}{0,0164} \right) = 1135,4 - 30,50 \times \\ \times (4,14 + 4,88) = 860,3, \text{ Па};$$

$$e_{2''} = 1135,4 - 30,50 \cdot \left(4,14 + \frac{0,16}{0,0164} \right) = 1135,4 - 30,50 \times \\ \times (4,14 + 9,76) = 711,5, \text{ Па}.$$

Для построения линии падения парциального давления водяного пара e необходимо воспользоваться приложением Е данного пособия, найдя соответствующие парциальным давлениям температуры насыщения и отложив их в плоскостях ограждения. Данные для построения графика приведены в табл. П1.

Таблица П1

Значения температур насыщения в плоскостях
совмещенного покрытия

Парциальное давление водяного пара в плоскостях совмещенного покрытия e , Па	Температура насыщения $t_{\text{нас}}$, °С
1135,4	8,82
1009,1	7,11
860,3	4,80
711,5	2,11
600,0	-0,22
593,2	-0,28
459,3	-3,44

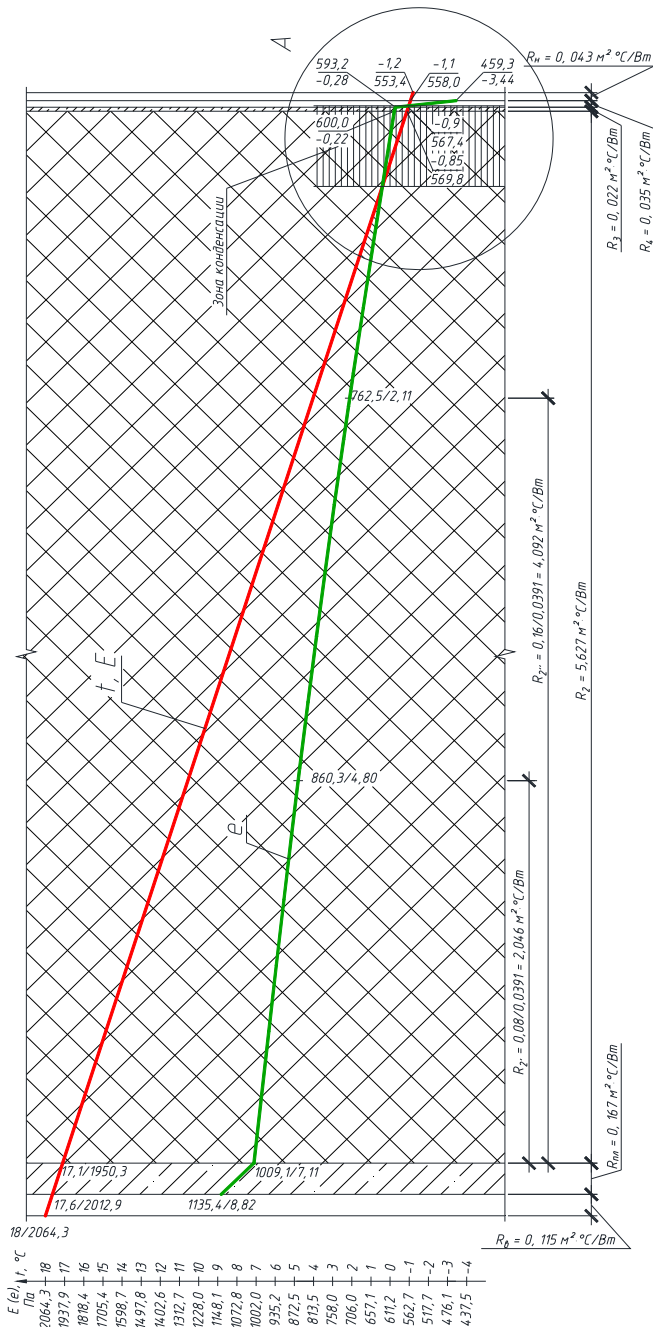


Рис. П1. Графики тепловлажностного режима совмещенного покрытия, построенные по методу Э. Х. Одельского

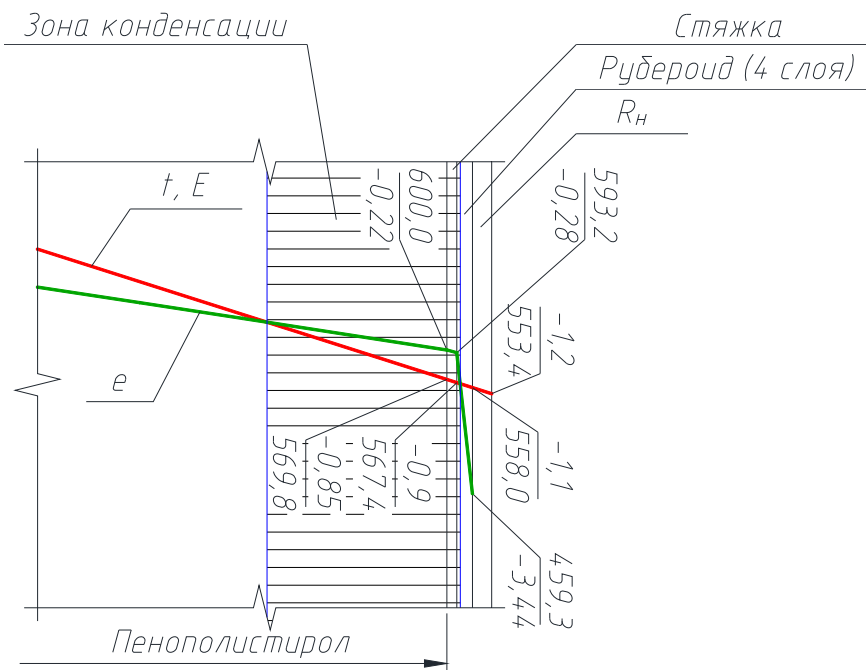


Рис. П2. Увеличенное изображение части «А»

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ	4
2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	25
3. ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО И ВНУТРЕННЕГО ВОЗДУХА	27
4. ПРИНЯТИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИН ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СЛОЕВ	29
4.1. Теплотехнический расчет наружной стены	30
4.2. Теплотехнический расчет совмещенного покрытия	31
4.3. Теплотехнический расчет перекрытия над неотапливаемым подпольем	36
4.4. Теплотехнический расчет наружных дверей	39
5. РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ	40
6. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОКОННОГО ЗАПОЛНЕНИЯ	43
6.1. Расчет сопротивления теплопередаче	47
6.2. Расчет сопротивления воздухопроницанию	48
7. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ	52
7.1. Последовательность расчета	52
7.2. Примеры расчета ограждений	58
8. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ПОДПОЛЬЯ	75
9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	81
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	82
ПРИЛОЖЕНИЯ	83
Приложение А. Климатические параметры холодного периода года	83
Приложение Б. Расчетный перепад температур между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности	86

Приложение В. Теплофизические характеристики некоторых строительных материалов.....	88
Приложение Г. Значения коэффициентов теплоотдачи поверхностей.....	95
Приложение Д. Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек.....	96
Приложение Е. Максимальное парциальное давление водяного пара влажного воздуха.....	97
Приложение Ж. Температура точки росы.....	100
Приложение И. Сопротивление теплопередаче ПВХ профилей.....	103
Приложение К. Сопротивление теплопередаче стеклопакетов.....	104
Приложение Л. Нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций зданий.....	105
Приложение М. Коэффициент изменения ветрового давления по высоте.....	106
Приложение Н. Сопротивление паропроницанию листовых материалов и тонких слоев пароизоляции.....	107
Приложение О. Значения линейной плотности теплого потока для изолированных трубопроводов.....	108
Приложение П. Построение графиков тепловлажностного режима по методу проф. Э. Х. Одельского....	109

Учебное издание

ШИБЕКО Александр Сергеевич

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

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

Редактор *Ю. В. Ходочинская*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 29.01.2018. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 6,68. Уч.-изд. л. 5,23. Тираж 100. Заказ 443.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.