

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ухтинский государственный технический университет»
(УГТУ)

Основы обеспечения микроклимата здания

Теплофизика здания

Методические указания

Ухта, УГТУ, 2015

УДК 628.87(075.8)

ББК 38.113 я7

В 93

Высоцкая, Н. В.

В 93 Основы обеспечения микроклимата здания. Теплофизика здания
[Текст] : метод. указания / Н. В. Высоцкая. – Ухта : УГТУ, 2015. – 50 с.

Методические указания предназначены для выполнения курсовой работы по дисциплине «Основы обеспечения микроклимата здания» к разделу «Теплофизика здания» при подготовке инженеров по специальности 270109.65 Теплогазоснабжение и вентиляция и бакалавров по направлению 270800.62 Строительство для очной и заочной форм обучения.

УДК 628.87(075.8)

ББК 38.113 я7

Методические указания рассмотрены и одобрены заседанием кафедры от 04.02.2015 г. пр. №6.

Рецензент: О. М. Соковнин, профессор кафедры Теплогазоснабжения и вентиляции Ухтинского государственного технического университета, д.т.н.

Редактор: С. А. Дудникова, старший преподаватель кафедры Теплогазоснабжения и вентиляции Ухтинского государственного технического университета.

Корректор: А. Ю. Васина. Технический редактор: К. В. Зелепукина.

В методических указаниях учтены предложения рецензента и редактора.

План 2015 г., позиция 136.

Подписано в печать 30.04.2015. Компьютерный набор.

Объём 50 с. Тираж 100 экз. Заказ №295.

© Ухтинский государственный технический университет, 2015

169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13.

Типография УГТУ.

169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Октябрьская, д. 13

Содержание

Введение	4
1. Объём и содержание курсовой работы	5
2. Исходные данные для проектирования здания	5
3. Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций зданий	14
3.1 Теплотехнический расчёт конструкции наружной стены.....	14
3.2 Теплотехнический расчёт конструкции чердачного (бесчердачного) перекрытия	16
3.3 Теплотехнический расчёт конструкции пола первого этажа	18
над неотапливаемым подвалом	18
3.4 Выбор вида конструкции оконных проемов и входных наружных дверей	19
3.5 Теплотехнический расчёт внутренних конструкций.....	19
(внутренней перегородки и междуэтажного перекрытия).....	19
3.6 Определение приведённого сопротивления теплопередаче	19
3.7 Расчёт воздухопроницаемости ограждающих конструкций	23
3.8 Расчёт паропроницаемости ограждающих конструкций.....	26
3.9 Определение теплоустойчивости помещения	32
3.10 Определение условий теплового комфорта в помещении с греющей потолочной панелью	39
Рекомендуемая литература.....	44
ПРИЛОЖЕНИЯ	45
Вопросы к экзамену	50

Введение

Знание «Теплофизики здания» необходимо строителям для рационального проектирования наружных ограждений, прежде всего, с целью уменьшения объёма используемых энергетических ресурсов. Значение этой дисциплины особенно велико для современного инженера при широком распространении в отечественном строительстве разнообразных конструкций ограждения и инженерных систем (отопления, вентиляции, кондиционирования).

Целью курсовой работы является научить будущего инженера правильно устанавливать прогноз теплового, влажностного и воздушного режимов здания, его отдельных частей и конструкций с тем, чтобы принять оптимальные (с гигиенической, технической и экономической точек зрения) решения при его проектировании.

При выполнении курсовой работы необходимо использовать, помимо учебной литературы, периодические и специальные журналы: «Строительные материалы», «Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века», АВОК и др., а также знать основные разделы ФЗ №261 от 25.11.2009 г. «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности зданий», ФЗ №384 от 30.12.2009 г. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и др.

Методические указания к выполнению курсовой работы «Теплофизика здания»

1. Объём и содержание курсовой работы

В методических указаниях изложены требования, предъявляемые к курсовой работе, пояснения к содержанию и приведена литература, необходимая для выполнения работы.

Курсовая работа состоит из расчётной части, графиков, рисунков, оформленных в виде пояснительной записки (25-30 страниц).

Все выполненные расчёты следует располагать в соответствии с приводимым содержанием курсовой работы. Таблицы исходных данных 2 – «Климатические данные района проектирования здания» и 3 – «Теплотехнические данные ограждающих конструкций здания» следует привести в начале расчётной части.

В пояснительной записке максимально подробно (исходные формулы, единицы измерения и т. д.) излагается порядок расчётов и делаются выводы с учетом требований строительных норм и правил. По тексту записки необходимо делать ссылки на используемую литературу (в квадратных скобках).

Соотношения между единицами измерений приведены в приложении 2 методических указаний.

Таблицы, рисунки и графики подписываются и нумеруются. Рисунки и графики оформляются рукописно или в AutoCAD.

Пояснительная записка выполняется рукописно или в редакторе Microsoft Word и должна иметь 2 титульных листа («Пояснительная записка» и «Задание»).

Наличие листа «Содержание» и нумерация страниц – обязательно.

Отступы: слева, сверху и снизу – 20 мм, справа – 10 мм.

При выполнении работы в редакторе Microsoft Word – основной текст 14 кегль, шрифт Times New Roman, выравнивание по ширине, межстрочный интервал 1,0, автоматическая расстановка переносов.

В конце пояснительной записки приводится библиографический список.

Курсовые работы, не отвечающие вышеперечисленным требованиям, на проверку не принимаются.

2. Исходные данные для проектирования здания

Для выполнения курсовой работы необходимо заполнить таблицу 2 – «Климатические данные района проектирования здания» и таблицу 3 – «Теплотехнические данные ограждающих конструкций здания».

Конструкции ограждений приведены ниже в таблицах 4-9.

План здания выдаётся преподавателем. Назначение здания – жилое.

Район проектирования здания следует принимать согласно таблице 1 по двум последним цифрам номера зачётной книжки.

Таблица 1 – Район проектирования здания

Цифра шифра	Город	Цифра шифра	Город
01	Барнаул	37	Усть-Цильма (Р. Коми)
02	Благовещенск	38	Сочи
03	Онега (Архангельская обл.)	39	Уренгой (Ямало-Ненецкий АО)
04	Архангельск	40	Тихвин (Ленинградская обл.)
05	Котлас (Архангельская обл.)	41	Красноярск
06	Астрахань	42	Кашира (Московская обл.)
07	Уфа	43	Самара
08	Белгород	44	Курган
09	Брянск	45	Курск
10	Владимир	46	Санкт-Петербург
11	Муром (Владимирская обл.)	47	Липецк
12	Волгоград	48	Дмитров (Московская обл.)
13	Вологда	49	Йошкар-Ола (Р. Марий Эл)
14	Братск (Иркутская обл.)	50	Саранск
15	Воронеж	51	Москва
16	Арзамас (Нижегородская обл.)	52	Кашира (Московская обл.)
17	Нижний Новгород	53	Мурманск
18	Иваново	54	Новгород
19	Сортавала (Р. Карелия)	55	Новосибирск
20	Никольск (Вологодская обл.)	56	Омск
21	Иркутск	57	Оренбург
22	Калининград	58	Орёл
23	Тверь	59	Пенза
24	Ржев (Тверская обл.)	60	Пермь
25	Элиста (Р. Калмыкия)	61	Бисер (Пермская обл.)
26	Калуга	62	Владивосток
27	Петропавловск-Камчатский	63	Псков
28	Петрозаводск	64	Великие луки (Псковская обл.)
29	Лоухи (Р. Карелия)	65	Ростов-на-Дону
30	Киров	66	Таганрог (Ростовская обл.)
31	Печора	67	Рязань
32	Сыктывкар	68	Саратов
33	Ухта (Р. Коми)	69	Курильск (Сахалинская обл.)
34	Кострома	70	Свердловск
35	Тихорецк (Краснодарский край)	71	Боровичи (Новгородская обл.)

36	Биробиджан (Хабаровский край)	72	Смоленск
73	Ставрополь	87	Комсомольск-на-Амуре (Хабаровский Край)
74	Вендинга (Р. Коми)	88	Охотск (Хабаровск. Край)
75	Тамбов	89	Хабаровск
76	Казань	90	Челябинск
77	Томск	91	Верхнеуральск (Челябинская обл.)
78	Тула	92	Бугульма (Р. Татарстан)
79	Ижевск	93	Чебоксары
80	Ульяновск	94	Глазов (Удмуртская Р.)
81	Оренбург	95	Елабуга (Р. Татарстан)
82	Долинск (Сахалинская обл.)	96	Советская Гавань (Хабаровский Край)
83	Миллерово (Ростовская обл.)	97	Ярославль
84	Ухта (Р. Коми)	98	Вязьма (Смоленская обл.)
85	Тобольск	99	Грозный
86	Балашов (Саратовская обл.)	100	Сарапул (Удмуртская Р.)

Таблица 2 – Климатические данные района проектирования здания

№	Наименование параметра	Величина
1	Температура наиболее холодной пятидневки при $\kappa = 0,92$, t_n , °С	
2	Средняя температура отопительного периода, t_{om} , °С	
3	Продолжительность отопительного периода, z_{om} , сут.,	
4	Скорость ветра за январь, v , м/с	
5	Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период, e'_n , Па	
6	Средняя месячная относительная влажность наружного воздуха, φ_n %	
7	Зона влажности	

Студент заполняет данную таблицу в соответствии со СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»: пункты 1, 2, 3, 4, 6 – таблица 3.1; пункт 5 – таблица 7.1.

Пункт 7 – СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», приложение В или [3, прил.1].

Таблица 3 – Теплотехнические данные ограждающих конструкций здания

№	Вид ограждения	Конструкция	Номер и наименование слоя материала ограждения	Толщина слоя, δ , м					Расчётные коэффициенты		
				δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	теплопроводности λ , Вт/м °С	теплоусвоения s , Вт/м ² · °С	паропроницаемости μ , мг/(м ч Па)
1	Наружная стена										
2	Чердачное (бесчердачное) покрытие										
3	Пол первого этажа										
4	Внутренняя перегородка										
5	Межэтажное перекрытие										

Студент заполняет таблицу 3 в соответствии с данными таблиц 4 ÷ 9 «Исходных данных...». Номер и наименование слоя материала ограждения, а также расчётные коэффициенты λ , s , μ следует принимать по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» (табл. Г.1) в зависимости от условий эксплуатации ограждающих конструкций А или Б, которые, в свою очередь, устанавливаются по таблице 2 данного СП.

Таблица 4 – Конструкции наружных стен

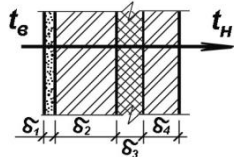
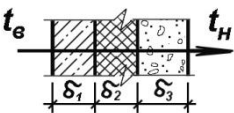
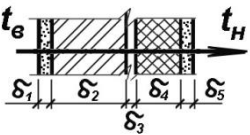
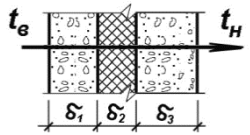
Последняя цифра номера шифра	Конструкция	Толщина слоя, м					Наименование материала слоя (СП 50.13330. 2012 табл. Т.1)
		δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	
0		0,01	0,380	–	0,120	–	1-201 2-180 3-26 4-183
1	1 – отделочный слой 2,4 – кирпичная кладка 3 – утепляющий слой	0,01	0,380	–	0,120	–	1-203 2-181 3-15 4-181
2		0,01	0,380	–	0,120	–	1-54 2-180 3-24 4-183
3		0,12	–	0,060	–	–	1-199 2-24 3-133
4	1,3 – бетонная плита 2 – утепляющий слой	0,12	–	0,060	–	–	1-200 2-15 3-108
5		0,01	0,380 (0,510)	0,004	–	0,01	1-42 2-180 3-220 4-25 5-203
6	2 – кирпичная кладка 3 – клеящий слой 4 – утепляющий слой	0,01	0,380 (0,510)	0,004	–	0,01	1-41 2-181 3-220 4-30 5-203
7		0,20	–	0,06	–	–	1-108 2-14 3-108
8	1,3 – бетонная плита 2 – утепляющий слой	0,20	–	0,06	–	–	1-114 2-49 3-114
9		0,20	–	0,06	–	–	1-133 2-25 3-133

Таблица 5 – Чердачное перекрытие

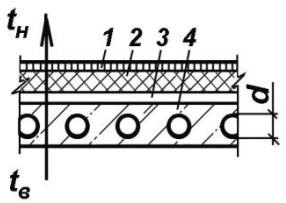
Предпоследняя цифра номера шифра	Конструкция	Толщина слоя δ , м					Наименование материала слоя (СП 50.13330. 2012 табл. Т.1)
		δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	d	
0	 <p>1 – армированная стяжка 2 – утепляющий слой 3 – пароизоляционный слой 4 – ж/б плита</p>	0,035	–	0,003	0,12	0,09	1-201 2-24 3-218 4-199
1		0,040	–	0,003	0,13	0,09	1-202 2-26 3-222 4-200
2		0,050	–	0,003	0,14	0,10	1-203 2-27 3-224 4-199
3		0,035	–	0,003	0,15	0,10	1-201 2-25 3-218 4-200
4		0,040	–	0,003	0,16	0,11	1-202 2-25 3-222 4-199
5		0,045	–	0,004	0,17	0,12	1-203 2-30 3-224 4-200
6		0,050	–	0,004	0,18	0,13	1-201 2-18 3-218 4-199
7		0,035	–	0,004	0,19	0,14	1-202 2-24 3-222 4-200
8		0,040	–	0,004	0,20	0,14	1-203 2-26 3-224 4-199
9		0,050	–	0,004	0,22	0,15	1-201 2-27 3-218 4-200

Таблица 6 – Бесчердачное покрытие

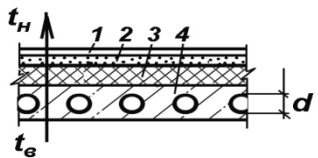
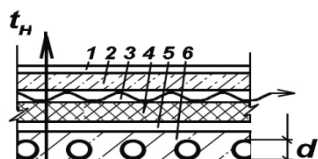
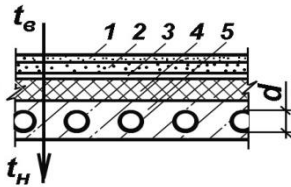
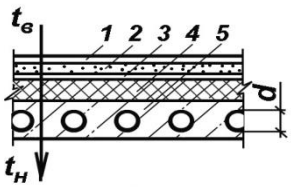
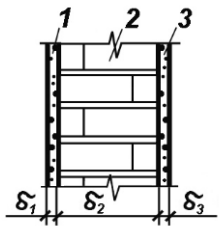
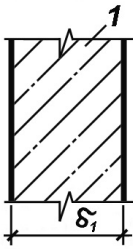
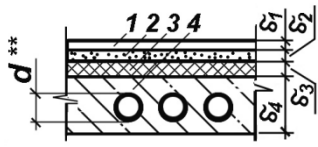
Предпоследняя цифра номера шифра	Конструкция	Толщина слоя, м							Наименование материала слоя (СП 50.13330.2012 табл. Т.1)
		δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	δ_6	d	
0	 <p>1 – гидроизоляционный ковёр 2 – стяжка 3 – утеплитель 4 – ж/б плита</p>	0,0045	0,01	–	0,12	–	–	0,09	1-218 2-201 3-24 4-199
1		0,0045	0,02	–	0,13	–	–	0,09	1-222 2-202 3-26 4-200
2		0,0045	0,01	–	0,14	–	–	0,1	1-224 2-203 3-27 4-199
3		0,0045	0,02	–	0,15	–	–	0,1	1-218 2-201 3-25 4-200
4		0,0045	0,01	–	0,16	–	–	0,11	1-222 2-202 3-25 4-199
5	 <p>1 – гидроизоляционный ковёр 2 – стяжка 3 – вентилируемая воздушная прослойка 4 – утеплитель 5 – пароизоляция 6 – ж/б плита</p>	0,0045	0,01	0,1	–	0,003	0,17	0,12	1-218 2-201 4-30 5-222 6-200
6		0,0045	0,02	0,1	–	0,003	0,18	0,13	1-222 2-202 4-25 5-223 6-200
7		0,0045	0,01	0,1	–	0,003	0,19	0,14	1-224 2-203 4-30 5-222 6-199
8		0,0045	0,02	0,1	–	0,003	0,20	0,14	1-218 2-201 4-25 5-223 6-200

Таблица 7 – Пол первого этажа

Предпоследняя цифра номера шифра	Конструкция	Толщина слоя δ , м						Наименование материала слоя (СП 50.13330.201 2 таблица Т.1)
		δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	d	
0		0,01	0,02	0,003	–	0,12	0,09	1-192 2-201 3-218 4-87 5-199
1		0,01	0,02	0,003	–	0,13	0,09	1-193 2-202 3-222 4-73 5-200
2	 <p>1 – паркет по мастике 2 – стяжка 3 – пароизоляционный слой 4 – теплоизоляционный слой 5 – ж/б плита</p>	0,01	0,02	0,003	–	0,14	0,1	1-194 2-203 3-224 4-60 5-199
3		0,01	0,02	0,003	–	0,15	0,1	1-195 2-201 3-218 4-25 5-200
4		0,01	0,02	0,003	–	0,16	0,11	1-225 2-202 3-222 4-30 5-199
5		0,003	0,02	0,003	–	0,17	0,12	1-226 2-203 3-224 4-18 5-200
6		0,003	0,02	0,003	–	0,18	0,13	1-227 2-201 3-218 4-60 5-199
7		0,003	0,02	0,003	–	0,19	0,14	1-228 2-202 3-222 4-73 5-200

8		0,003	0,02	0,003	–	0,20	0,14	1-229 2-203 3-224 4-87 5-199
9		0,003	0,02	0,003	–	0,22	0,15	1-192 2-201 3-218 4-30 5-200

Таблица 8 – Внутренние конструкции

Наименование ограждения	Конструкция	Толщина слоя δ , м				Наименование материала слоя (СП 50.13330.2012 таблица Т.1)
		δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	
Внутренние перегородки кирпичные	 <p>1,3 – облицовка 2 – кирпичная кладка</p>	0,01	0,125	0,01	-	1-40 2-183 3-40
		0,015	0,250	0,015	-	
		0,01	0,380	0,01	-	
Внутренние перегородки бетонные	 <p>1 – бетонная конструкция с поверхностями под покраску или клею обоями</p>	0,12	-	-	-	1-105
		0,10	-	-	-	1-169
		0,12	-	-	-	
		0,16	-	-	-	
Междуэтажное перекрытие	 <p>1 – покрытие пола 2 – стяжка 3 – теплозвукоизоляция 4 – ж/б плита</p>	0,01	0,02	0,05	**	1-225 2-201 3-30 4-199

** – толщину ж/б плиты принять по данным таблиц 6 или 7 согласно номера шифра.

3. Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций зданий

Целью расчёта является определение толщины утепляющего слоя с последующей её проверкой на требуемые теплозащитные свойства, нормы паро- и воздухопроницания, а также обеспечения требуемой теплоустойчивости.

Передача теплоты, фильтрация воздуха и перенос влаги взаимосвязаны и одно явление оказывает влияние на другое, поэтому определение сопротивлений тепло-, воздухо- и влагопередаче должно проводиться как общий расчёт защитных свойств наружных ограждений зданий.

Теплозащитные свойства наружных ограждений определяются двумя показателями: величиной сопротивления теплопередаче, R_0 , и теплоустойчивостью, которую оценивают по величине тепловой инерции ограждения, D . Величина R_0 определяет сопротивление ограждения передаче теплоты в стационарных условиях, а теплоустойчивость характеризует сопротивляемость ограждения передаче изменяющихся во времени периодических тепловых воздействий. В зимних условиях теплозащитные свойства ограждений принято характеризовать величиной R_0 , а в летних – их теплоустойчивостью.

Наиболее важным является определение расчётного сопротивления теплопередаче R_0 основной части (глади) конструкции ограждения, с чего обычно и начинают теплотехнический расчёт ограждения. R_0 следует принимать не менее требуемых значений, исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий, $R_0^{норм}$, и условий энергосбережения, $R_0^{мп}$. Величина R_0 должна быть равна большему из значений $R_0^{норм}$ и $R_0^{мп}$.

3.1 Теплотехнический расчёт конструкции наружной стены

3.1.1 Определить нормируемое сопротивление теплопередаче $R_0^{норм}$, м²·°С/Вт по санитарно-гигиеническим и комфортным условиям:

$$R_0^{норм} = \frac{n(t_e - t_n)}{\alpha_e \Delta t_n}, \quad (1)$$

где n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху по приложению 4 данных методических указаний;

t_e – расчётная температура внутреннего воздуха, принять по [6 или 7, табл. 1] равной 20 °С;

t_n – расчётная температура наружного воздуха, °С, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки при $\kappa = 0,92$ по [4, табл.1];

Δt_n – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С, принимаемый по [5, табл. 5];

α_g – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по [5, табл. 4], Вт/м²·°С.

3.1.2 Определить требуемое сопротивление теплопередаче по условиям энергосбережения R_0^{mp} в зависимости от назначения здания и величины градусо-сутки отопительного периода по [5, табл.3]. Градусо-сутки отопительного периода ($ГСОП$) следует определять по формуле

$$ГСОП = (t_g - t_{om.n.})z_{om.nep.}, \quad (2)$$

где t_g – то же, что в формуле (1);

$t_{om.n.}, z_{om.nep.}$ – соответственно средняя температура, °С, и продолжительность, сут., отопительного периода, принимаются по [4, табл.1].

3.1.3 Определить сопротивление теплопередаче ограждения, R_0 , м²·°С/Вт, из условия $R_0 = R_0^{норм}$ или $R_0 = R_0^{mp}$ (приравниваем к большему значению).

3.1.4 Определить толщину слоя утеплителя ограждающей конструкции, $\delta_{ут}$, м, исходя из формулы:

$$R_0 = R_B + \sum R_i + R_H, \quad (3)$$

где R_g и R_H – сопротивления теплоотдачи, соответственно, внутренней и наружной поверхности ограждающей конструкции, м² °С/Вт, определяемые по формуле:

$$R_g = 1 / \alpha_B, \quad (4)$$

$$R_H = 1 / \alpha_H, \quad (5)$$

где α_B – то же, что и в формуле (1);

α_H – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, м² °С/Вт, принимаемый по [5, табл.6];

$\sum R_i$ – сумма термических сопротивлений слоёв ограждающей конструкции, м² °С/Вт, определяемых по формуле:

$$R_i = \delta_i / \lambda_i, \quad (6)$$

где δ_i – толщина слоя, м;

λ_i – расчётный коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/м² °С, принимаемый по [5, табл. Т.1].

Определив предварительное значение толщины слоя утеплителя, следует принять фактическую толщину, округлив полученное значение в большую

сторону с кратностью округления 10 мм. Толщину утеплителя принимать не менее 50 мм.

3.1.5 Определить фактическое значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, R_0^ϕ , $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, с учётом принятой фактической толщины утепляющего слоя по формуле:

$$R_0^\phi = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_{ym}^\phi}{\lambda_{ym}} + \dots + \frac{1}{\alpha_n} \quad (7)$$

3.1.6 Определить значение коэффициента теплопередачи ограждающей конструкции, K , $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, по формуле

$$K = \frac{1}{R_0^\phi} \quad (8)$$

Необходимо обратить внимание, что в дальнейших расчётах под величиной сопротивления теплопередаче наружной стены следует понимать его фактическое значение, R_0^ϕ .

3.2 Теплотехнический расчёт конструкции чердачного (бесчердачного) перекрытия

3.2.1 Особенностью расчёта конструкции чердачного (бесчердачного) перекрытия является наличие неоднородного слоя – железобетонной панели с замкнутыми воздушными прослойками круглого сечения, для которой следует определить термическое сопротивление, $R_{жс/б}$.

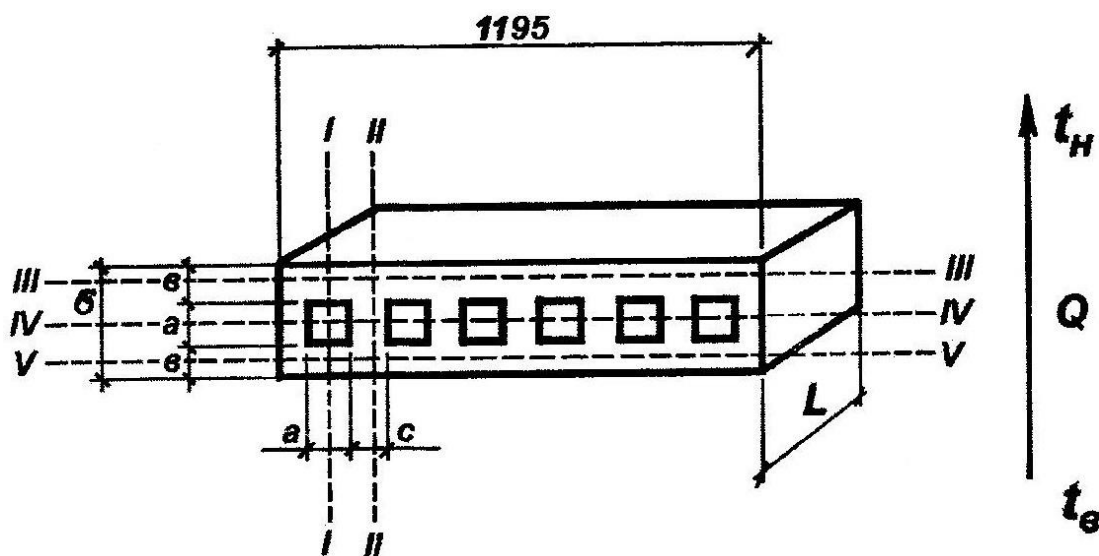


Рисунок 1. Железобетонная многопустотная панель ($a = \sqrt{\pi \cdot R^2}$; $c = \frac{1}{3} a$)

Для упрощения расчёта заменим круглые отверстия равновеликими по площади квадратными, как указано на рисунке 1. Диаметр воздушных пустот, d , приведён в таблице 2 данных методических указаний.

3.2.2 Определить термическое сопротивление $R_{ж/б}$, $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, железобетонной панели по формуле

$$R_{ж/б} = \frac{R_a + 2R_{\sigma}}{3}. \quad (9)$$

Для этого:

а) плоскостями параллельными направлению теплового потока, Q , железобетонная плита условно разрезается на участки, одни из которых могут быть однородными – сечение II-II, а другие неоднородными – сечение I-I. Термическое сопротивление ограждающей конструкции относительно параллельных сечений, R_a , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, определяется по формуле

$$R_a = \frac{F_I + F_{II}}{\frac{F_I}{R_I} + \frac{F_{II}}{R_{II}}}, \quad (10)$$

где F_I, F_{II} – площади отдельных участков ж/б конструкции, м^2

$$F_I = a \cdot l \cdot n,$$

$$F_{II} = c \cdot l \cdot m,$$

где l – длина участка железобетонной плиты, $l = 1 \text{ м}$;

a, c – размеры принять согласно рисунка 1, м;

n – количество воздушных пустот;

m – количество железобетонных участков между воздушными пустотами.

Количество участков n и m принять самостоятельно из расчёта стандартной ширины панели равной 1195 мм.

R_I – термическое сопротивление неоднородного участка железобетонной конструкции по сечению I-I определяется по формуле, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$:

$$R_I = \frac{e}{\lambda_{ж.б.}} + R_{e.n.} + \frac{e}{\lambda_{ж.б.}}; \quad (11)$$

где $R_{e.n.}$ – термическое сопротивление воздушной прослойки, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, определяется по [5, табл. Е.1 или 6, табл. 7];

e – размер принять согласно рисунка 1, м;

$\lambda_{ж.б.}$ – коэффициент теплопроводности железобетонной конструкции чердачного перекрытия приведён в таблице 2 данных методических указаний, $\text{м} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

R_{II} – термическое сопротивление однородного участка железобетонной конструкции по сечению II-II определяется по формуле, $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$:

$$R_{II} = \frac{\delta}{\lambda_{ж.б.}}, \quad (12)$$

б) плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, Q , железобетонная плита условно разрезается на слои, одни из которых могут быть однородными (сечения III-III и V-V), а другие неоднородными (сечение IV-IV). Термическое сопротивление железобетонной плиты относительно перпендикулярных сечений, R_{σ} , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, определяется по формуле

$$R_{\sigma} = R_{III} + R_{IV} + R_V, \quad (13)$$

где $R_{III} = R_V$ – термическое сопротивление однородного участка железобетонной конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

$$R_{III} = R_V = \frac{\delta}{\lambda_{ж.б.}}; \quad (14)$$

R_{IV} – термическое сопротивление неоднородного участка железобетонной конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

$$R_{IV} = \frac{F_I + F_{II}}{\frac{F_I}{R_{в.н.}} + \frac{F_{II}}{a / \lambda_{ж.б.}}}. \quad (15)$$

Величина R_a может превышать величину R_{σ} не более, чем на 25%.

3.2.3. Дальнейший теплотехнический расчёт конструкции чердачного (бесчердачного) перекрытия аналогичен теплотехническому расчёту наружной стены (далее определяем $R_0, \delta_{ум}, R_0^{\phi}, K$), при этом в качестве термического сопротивления слоя железобетонной панели с воздушными пустотами следует принимать найденное по формуле (9) термическое сопротивление, $R_{ж.б.}$.

Пример расчёта термического сопротивления неоднородной ограждающей конструкции, $R_{ж.б.}$, приведён в [3, пример 5.1.3].

3.3 Теплотехнический расчёт конструкции пола первого этажа над неотапливаемым подвалом

3.3.1 Порядок теплотехнического расчёта пола первого этажа аналогичен теплотехническому расчёту чердачного перекрытия. Необходимо обратить внимание на то, что при определении термического сопротивления воздушной прослойки, $R_{в.н.}$, следует учитывать направление теплового потока, Q .

3.4 Выбор вида конструкции оконных проёмов и входных наружных дверей

3.4.1 Определить требуемое сопротивление теплопередаче окна, R_0^{TP} , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, по [5, табл. 3].

3.4.2 По величине R_0^{TP} выбрать конструкцию стеклопакета согласно [5, табл.К.1] с сопротивлением теплопередаче R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

3.4.3 Определить коэффициент теплопередачи окна, K , $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$, по формуле:

$$K = \frac{1}{R_0}, \quad (16)$$

где R_0 – сопротивление теплопередаче принятой конструкции стеклопакета по [5, табл. К.1].

3.4.4 Определить сопротивление теплопередаче входных наружных дверей, $R_{ВНД}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, по условию, что нормируемое сопротивление теплопередаче $R_0^{норм}$ дверей должно быть не менее $0,6 R_0^{норм}$ наружных стен зданий, определённого по формуле (1).

3.4.5 Определить коэффициент теплопередачи входных наружных дверей, K , $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$, по формуле:

$$K_{ВНД} = \frac{1}{0,6R_0^{норм}}. \quad (17)$$

3.5 Теплотехнический расчёт внутренних конструкций (внутренней перегородки и междуэтажного перекрытия)

Порядок теплотехнического расчёта внутренних конструкций сводится к определению сопротивления теплопередаче ограждения, R_0 , исходя из формулы (3), и коэффициента теплопередачи, K , исходя из формулы (8).

При определении R_0 следует учесть, что:

- 1) $R_0 = R_n$, следовательно, формула (3) приобретает вид: $R_0 = 2R_B + \sum R_i$;
- 2) толщина утеплителя в междуэтажном перекрытии задана;
- 3) сопротивление теплопередаче железобетонной плиты, $R_{ж/б}$, в междуэтажном перекрытии принять таким же, как в чердачном перекрытии или полу.

3.6 Определение приведённого сопротивления теплопередаче

Конструкции ограждений современных зданий имеют определённое своеобразие. Конструкции имеют углы, выступы, оконные проёмы, теплопро-

водные включения, на большей части поверхности наружной стены со стороны помещения примыкают перегородки и междуэтажные перекрытия, конструкции стеновых панелей обычно имеют бетонные ребра и обрамления, т.е. по площади наружной стены практически нет участков, в пределах которых передачу теплоты можно было бы считать проходящей по одномерной схеме – условие плоской стенки. За счёт перечисленных конструктивных особенностей потери теплоты по всей площади ограждения оказываются часто большими, чем теплопотери, рассчитанные в предположении одномерности температурного поля.

Необходимо проверить теплозащитные свойства реального ограждения с учётом его двухмерных элементов (стыки, углы, оконный откос). Для правильного расчёта теплопотерь через ограждения сложной конструкции используют, так называемое, приведённое сопротивление теплопередаче сложного ограждения, $R_{0пр}$. Приведённым называют сопротивление теплопередаче такого условного ограждения с одномерным температурным полем, потери теплоты через которое при одинаковой площади равны теплопотерям сложного ограждения с двумерным температурным полем.

Пользуясь R_0 для одномерного ограждения, можно получить потери теплоты сложного ограждения. В результате рассмотрения теплопередачи в двумерных элементах определяются факторы формы, f , для каждого случая. Величина f показывает, во сколько раз теплопотери через характерный двумерный элемент шириной в два калибра $\alpha_f = 2R_0 \cdot \lambda$ и длиной 1 метр больше основных по площади ограждения такой же площади.

Расчёт приведённого сопротивления теплопередаче сложного ограждения (на примере конструкции наружной стены).

3.6.1 Определить элементы, формирующие двумерные температурные поля (наружный угол, оконные откосы, стыки) для наружной стены одного из помещений здания, выбранного по плану здания (помещение обозначить на плане здания).

3.6.2 Привести поясняющий рисунок с указанием двумерных температурных элементов и необходимых размеров – длин сопряжения наружной стены с данными элементами в соответствии с рисунком 2. Где l_1 – длина сопряжения наружной стены с наружным углом; l_2 – длина сопряжения наружной стены с внутренней перегородкой; l_3 – длина сопряжения наружной стены с горизонтальными перекрытиями; l_4 – длина сопряжения наружной стены с окном (по периметру окна).

Размеры окна: 1470×1760 (h), мм, или размеры окна студент может принять самостоятельно согласно плана.

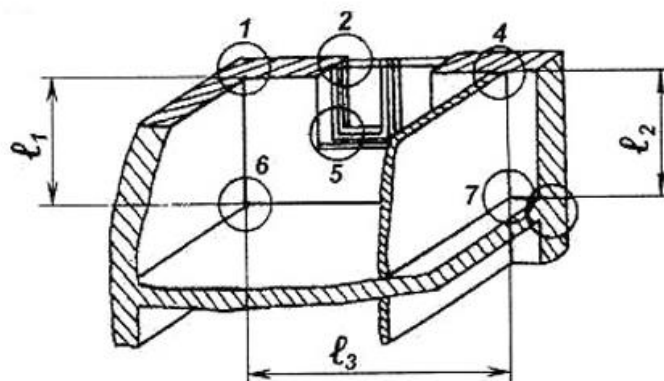


Рисунок 2. Элементы формирования двумерных (1, 2, 3, 4) и трёхмерных (5, 6, 7) температурных полей в наружных ограждениях здания

3.6.3 Определить приведённое сопротивление теплопередаче, R_{0np} , $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, по формуле:

$$R_{0np} = \frac{1}{1 + \frac{1}{F_0} \sum \alpha_f (f_i - 1) \cdot l_i} \cdot R_0, \quad (18)$$

где R_0 – сопротивление теплопередаче наружной стены (фактическое значение), $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, определяемое по формуле (7);

F_0 – площадь поверхности наружной стены по наружному обмеру (за вычетом площади окон), м^2 ;

f_i – фактор формы характерного элемента стены с двумерным температурным полем, определяемый по [1, стр. 170, табл. III.2; стр. 169, рис. III. 29; стр. 153, рис. III.13];

l_i – протяжённость участков конструкции наружной стены, сопряжённых с наружным углом, стыками, оконными откосами, м;

α_f – ширина участка поверхности наружной стены с двумерным температурным полем, равная двум калибрам (толщинам наружной стены), м:

$$\alpha_f = 2 \cdot \lambda \cdot R_0, \quad (19)$$

где λ – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя конструкции наружной стены, $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C}$;

Ширина α_f в два калибра для оконных откосов:

$$\alpha_f = 2 \cdot \lambda \cdot R'_0, \quad (20)$$

где R'_0 – сопротивление теплопередаче части ограждения до изотермы t_0 (рис. 3).

Сопротивление теплопередаче части ограждения до изотермы t_0 :

$$R'_0 = \frac{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta}{\lambda}}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\Delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_n}} \cdot R_0, \quad (21)$$

где α_e, α_n – то же, что в формулах (1 и 5);

λ – то же, что в формуле (19);

δ – расстояние от внутренней поверхности ограждения до оси расположения заполнения проёма, м, определяемая в соответствии с рис. 3;

Δ – общая толщина ограждающей конструкции наружной стены, м, определяемая в соответствии с рис. 3;

$\delta_{зан}$ – ширина коробки заполнения оконного переплёта (для однокамерных стеклопакетов $\delta_{зан} = 125$ мм; для двухкамерных стеклопакетов $\delta_{зан} = 150$ мм).

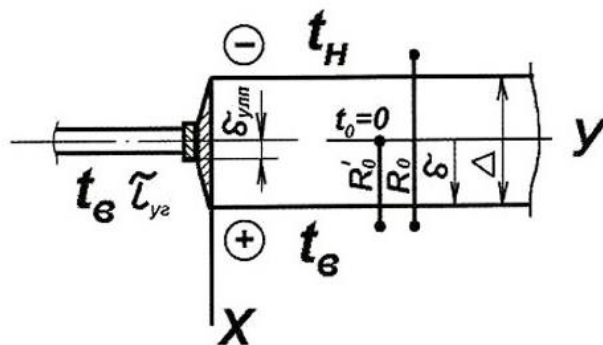


Рисунок 3. Теплопередача через оконный откос в наружной стене

3.6.4 Данные расчёта занести в таблицу 9.

Таблица 9

Наименование элемента с двумерным температурным полем	l_i , м	α_f , м	f_i	$f_i - 1$
1. Наружный угол 2. Стык наружной стены с внутренней перегородкой, $\delta_2/\delta_1 = 3$. Стык наружной стены с полом I этажа, $\delta_2/\delta_1 = 4$. Стык наружной стены с междуэтажным перекрытием, $\delta_2/\delta_1 = 5$. Оконные откосы, $\delta_{зан}/\delta = \dots$, см. рис. 3				

Примечание. δ_1 – общая толщина наружной стены; δ_2 – половина толщины внутренней перегородки (пола, междуэтажного перекрытия).

Набор элементов с двумерными температурными полями в таблице 9 приведён для помещения I этажа.

3.6.5 Определить величину теплового потока, q_1 , Вт/м², через 1 м² поверхности наружной стены по глади стены:

$$q_1 = \frac{1}{R_0} \cdot (t_g - t_n). \quad (22)$$

3.6.6 Определить величину теплового потока, q_2 , Вт/м², через 1 м² поверхности наружной стены сложной конструкции с учётом наличия и влияния конструктивных элементов:

$$q_2 = \frac{1}{R_{0np}} \cdot (t_g - t_n). \quad (23)$$

3.6.7 В заключение расчёта сравнить приведённое сопротивление теплопередачи сложного ограждения наружной стены, R_0^{np} , с сопротивлением теплопередаче по глади ограждения, R_0 , а также соответствующие тепловые потоки q_1 и q_2 . Сделать выводы о влиянии конструктивных элементов на теплозащитные свойства ограждающих конструкций.

Примеры расчёта приведённого сопротивления теплопередаче сложного ограждения приведены в [1, §3. 10].

3.7 Расчёт воздухопроницаемости ограждающих конструкций

Воздушным режимом здания называют совокупность факторов и явлений, определяющих общий процесс обмена воздуха между всеми его помещениями и наружным воздухом, включающий перемещения воздуха внутри помещений, движение воздуха через ограждения, проёмы, по каналам, воздухопроводам и обтекание здания потоком воздуха. С позиций специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция» наиболее актуальны следующие явления: инфильтрация и эксфильтрация воздуха через наружные ограждения и проёмы (неорганизованный естественный воздухообмен, увеличивающий теплопотери помещения и снижающий теплозащитные свойства наружных ограждений); аэрация (организованный естественный воздухообмен помещений); перетекание воздуха между смежными помещениями (неорганизованное и организованный).

Наибольшей воздухопроницаемостью среди строительных конструкций обла-

дают окна. Воздух фильтрует через примыкание оконной рамы к откосу проёма, притворы, стыки стекла с переплётом.

Целью расчёта является определение соответствия нормам воздухопроницаемости ограждающих конструкций (раздел 7 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»).

Данный расчёт выполнить для конструкции наружной стены.

3.7.1. Определить разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, ΔP , Па по формуле:

$$\Delta P = 0,55H(\gamma_H - \gamma_B) + 0,03\gamma_H \cdot v^2, \quad (24)$$

где H – высота здания (от поверхности земли до верха карниза здания), м;

γ_H, γ_B – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, кг/м³, определяемый по формуле:

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}, \quad (25)$$

где t – температура воздуха, принимаемая: внутреннего воздуха (для определения γ_B), наружного воздуха (для определения γ_H);

v – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, принимаемая согласно [4, табл. 1], м/с.

3.7.2 Определить действительное сопротивление воздухопроницанию ограждающей конструкции R_u , м²·ч·Па/кг, по формуле:

$$R_u = R_{u1} + R_{u2} + \dots + R_{un}, \quad (26)$$

где $R_{u1}, R_{u2}, \dots, R_{un}$ – сопротивления воздухопроницанию отдельных слоёв ограждения, м²·ч·Па/кг, принимаемые по [5, табл. С.1 или 6, табл. 17].

3.7.3 Определить требуемое сопротивление воздухопроницанию ограждающей конструкции, R_u^{mp} , м²·ч·Па/кг, по формуле:

$$R_u^{mp} = \frac{\Delta P}{G_H}, \quad (27)$$

где G_H – нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций, кг/(м²·ч), по [5, табл. 9].

3.7.4 Определить действительную воздухопроницаемость конструкций, G^o , кг/(м²·ч):

$$G^o = \frac{\Delta P}{R_u}. \quad (28)$$

Проверка: $\left. \begin{array}{l} G^d < G^H \\ R_u \geq R_u^{mp} \end{array} \right\}$ наружная стена соответствует нормам воздухопро-

ницаия ограждающих конструкций (раздел 7 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»).

3.7.5 Определение влияния инфильтрации воздуха через ограждение на тепловой режим здания.

3.7.5.1 Определить температуру на внутренней поверхности наружной стены с учётом инфильтрации:

$$\tau_{\epsilon}^{инф} = t_H + (t_{\epsilon} - t_H) \frac{e^{\frac{c_B R_X G^d}{3600}} - 1}{e^{\frac{c_B R_0 G^d}{3600}} - 1}, \quad (29)$$

где t_H, t_{ϵ} – то же, что в формуле (1);

e – основание натурального логарифма, $e = 2,72$;

c_{ϵ} – удельная теплоёмкость воздуха, $c_{\epsilon} = 1\,005$ Дж/кг·°С;

R_0 – сопротивление теплопередаче наружной стены при отсутствии инфильтрации воздуха, $m^2 \text{ °C / Вт}$, определённое по формуле (7);

R_X – термическое сопротивление части наружной стены от наружного воздуха до рассматриваемой плоскости при отсутствии инфильтрации воздуха, $m^2 \text{ °C / Вт}$:

$$R_X = R_0 - R_B, \quad (30)$$

где R_B – то же, что в формуле (4).

3.7.5.2 Определить температуру на внутренней поверхности ограждающей конструкции при отсутствии инфильтрации по формуле:

$$\tau_{\epsilon} = t_{\epsilon} - \frac{t_{\epsilon} - t_H}{R_0} \cdot R_{\epsilon} \quad (31)$$

3.7.5.3 Определить величину теплового потока при отсутствии инфильтрации, q_0 , Вт/м², по формуле:

$$q_0 = \frac{t_{\epsilon} - t_H}{R_0} \quad (32)$$

3.7.5.4 Определить величину теплового потока при инфильтрации, $q_{\epsilon}^{инф}$, Вт/м², по формуле:

$$q_{\epsilon}^{инф} = \frac{\frac{c_B G^d R_X}{3600} e^{\frac{c_B G^d R_X}{3600}}}{\frac{c_B G^d R_0}{3600} e^{\frac{c_B G^d R_0}{3600}} - 1} (t_{\epsilon} - t_H) \quad (33)$$

3.7.5.5 Определить коэффициент порового охлаждения ограждающей конструкции, ε , по формуле:

$$\varepsilon = \frac{q_{\varepsilon}^{инф}}{q_0} \quad (34)$$

3.7.6 По результатам расчёта сделать выводы о соответствии ограждающей конструкции нормам воздухопроницания и о влиянии инфильтрации воздуха на тепловой режим помещения.

Пример расчёта инфильтрации воздуха через ограждение приведён в [1, §V.3].

3.8 Расчёт паропроницания ограждающих конструкций

Целью расчёта является определение соответствия нормам паропроницания ограждающих конструкций (раздел 8 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»).

Анализ возможного влажностного режима ограждения производится при стационарном режиме с учётом диффузии водяного пара через ограждения. Известно, что с повышением влажности строительных материалов понижаются теплозащитные и гигиенические качества ограждений, снижается их прочность и долговечность. Появление влаги в ограждении может быть вызвана следующими причинами: поступлением строительной, атмосферной, грунтовой, эксплуатационной влаги, образованием гигроскопической влаги, а также процессом конденсации влаги из воздуха.

В подавляющем большинстве случаев конденсация влаги является единственной причиной повышения влажности ограждения. В результате расчёта необходимо убедиться в отсутствии конденсации водяных паров на внутренней поверхности основной глади стен, на внутренней поверхности наружного угла, а также в толще ограждения. Конденсация влаги не будет происходить на поверхности, если температура внутренней поверхности наружного ограждения на 1-2°C превышает температуру точки росы, τ_{mp} , температуру, при которой относительная влажность воздуха, φ , при охлаждении достигает 100% ($\tau_B > \tau_{mp}$, $\tau_B^{y2l} > \tau_{mp}$).

Расчёт на возможность конденсации влаги из воздуха ограждения выполнить для конструкции наружной стены.

3.8.1 Определение возможности конденсации влаги на глади наружной стены и на внутренней поверхности наружного угла.

3.8.1.1 Установить значение нормируемой относительной влажности воздуха для помещений жилого здания, ϕ_6 , %, по [5, п. 5.7 или 6, табл. 1].

3.8.1.2 Зная нормируемую относительную влажность воздуха, ϕ_6 , в помещениях жилых зданий, а также температуру воздуха, t_B , определить температуру точки росы, τ_{TP} по [3, табл. 9 или 6, табл. 3, прил. P].

3.8.1.3 Определить температуру на внутренней поверхности наружного угла, τ_B^{y2l} , из выражения:

$$\frac{\tau_B - \tau_B^{y2l}}{t_B - t_n} \approx 0,18 (1 - 0,23R_0), \quad (35)$$

где τ_B – то же, что и в формуле (31).

3.8.1.4 На основании выполненных расчётов сделать выводы о возможности конденсации водяных паров на глади стены, сравнивая τ_B и τ_{mp} ; на внутренней поверхности наружного угла, сравнивая τ_B^{y2l} и τ_{mp} .

3.8.2 Определение возможности конденсации влаги в толще наружной стены (Графоаналитический метод).

3.8.2.1 Определить температуру в характерных сечениях (на внутренней поверхности, между конструктивными слоями, на наружной поверхности) конструкции наружной стены τ_i , °C, по формуле:

$$\tau_i = t_B - \frac{t_B - t_n}{R_0} \left(R_B + \sum_{n-1} R_i \right), \quad (36)$$

где $\sum_{n-1} R_i$ – сумма термических сопротивлений (n-1) конструктивных слоёв, м²·C/Вт.

3.8.2.2 По найденным значениям температур в характерных сечениях, τ_i , °C определить соответствующие значения парциального давления (упругости) насыщенного водяного пара, E_i , Па по приложению 3 данных методических указаний. Затем построить графики изменения τ_i , E_i в характерных сечениях конструкции наружной стены (рис. 4).

3.8.2.3 Определить изменение парциального давления (упругости) водяного пара, e_i , Па в характерных сечениях ограждения по формуле:

$$e_i = e_6 - \frac{e_6 - e_n}{R_n} \cdot \sum_{n-1} R_n \quad (37)$$

где e_6 , e_n – парциальное давление водяного пара, соответственно, внутреннего и наружного воздуха, Па, определяемые из формулы: $\phi = \frac{e}{E} \cdot 100\%$ по соот-

ветствующим значениям φ_B , $E_B = f(t_B)$ и φ_H , $E_H = f(t_H)$, где φ_B и φ_H – относительная влажность, соответственно, внутреннего [5, п. 5.7 или 6, табл. 1] и наружного [4, табл. 1] воздуха, %;

E_B и E_H – парциальное давление насыщенного водяного пара, соответственно, внутреннего и наружного воздуха, Па, определяемые по приложению 3 данных методических указаний.

R_n – сопротивление паропрооницанию ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$:

$$R_n = R_{ne} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} + R_{nn}, \quad (38)$$

где R_{ne} – сопротивление влагообмену внутренней поверхности, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$:

$$R_{ne} = \left(1 - \frac{\varphi_B}{100}\right) 0,133, \quad (39)$$

R_{nn} – сопротивление влагообмену наружной поверхности, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$:

$$R_{nn} = \left(1 - \frac{\varphi_H}{100}\right) 0,133, \quad (40)$$

δ_i – толщина конструктивного слоя, м;

μ_i – расчётный коэффициент паропрооницаемости материала слоя ограждающей конструкции $\text{мг} / \text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$, принимаемый по [5, прил. Т.1];

$\sum_{n-1} R_n$ – сумма сопротивлений паропрооницаемости (n-1) слоёв ограждения, считая от его внутренней поверхности до рассматриваемого сечения, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

3.8.2.4 По найденным значениям парциального давления водяного пара, e_i , Па, построить график изменения e_i , Па в характерных сечениях ограждения (рис. 4).

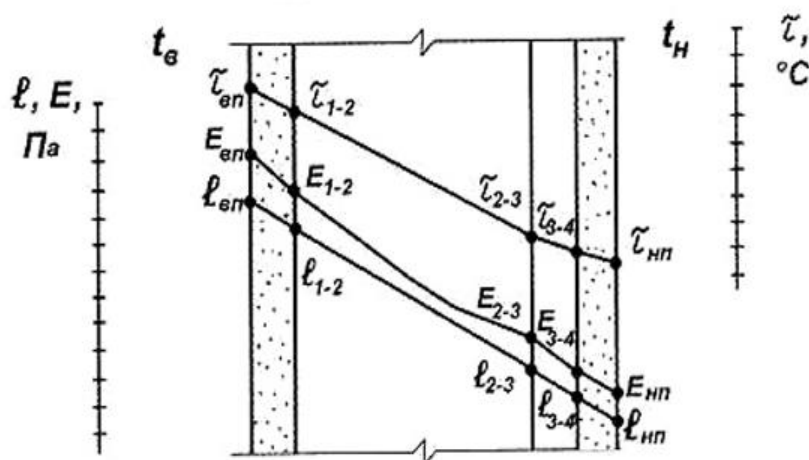


Рисунок 4. График изменения τ_i , E_i , e_i в многослойной ограждающей конструкции

3.8.3 Определение годового баланса влаги в наружной стене.

Для соблюдения годового баланса влаги в ограждении необходимо, чтобы выполнялось следующее условие: сопротивление паропроницанию, $R_{II}^{ВП-ПМУ}$, части наружной стены в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения (ПМУ) должно быть не менее:

а) наибольшего требуемого сопротивления паропроницанию R_{n1}^{mp} из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации;

б) наибольшего требуемого сопротивления паропроницанию R_{n2}^{mp} из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха.

Плоскость максимального увлажнения в многослойной конструкции ограждения совпадает с наружной поверхностью утеплителя.

Схематически изобразить конструкцию наружной стены и показать плоскость максимального увлажнения (сдвоенной линией), например:

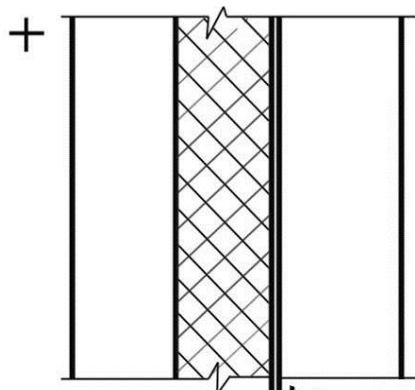


Рисунок 5. Схема наружной стены с ПМУ

3.8.3.1 Определить требуемое сопротивление паропроницанию из условия недопустимости накопления влаги, $m^2 \cdot ч \cdot Па/мг$ по формуле:

$$R_{II}^{TP} = \left(\frac{e_s - E}{E - e'_n} \right) \cdot R'_{II}, \quad (41)$$

где e_s – тоже, что и в формуле (37);

e'_n – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период, Па, принятое по таблице 1 данных методических указаний;

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

$$E = \frac{1}{12}(E_1Z_1 + E_2Z_2 + E_3Z_3), \quad (42)$$

где Z_1, Z_2, Z_3 – продолжительность, соответственно, зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, в месяцах, определяемая согласно [4, табл. .1], с учётом следующих условий:

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

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

в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха выше плюс 5°C .

По [4, табл. 5.1] определить для заданного города продолжительность периодов Z_1, Z_2, Z_3 , а также – средние сезонные температуры наружного воздуха $t_{1н}, t_{2н}, t_{3н}$, соответственно, для зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов.

E_1, E_2, E_3 – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, Па, принимаемое в зависимости от температур в плоскости максимального увлажнения, τ_1, τ_2, τ_3 , $^{\circ}\text{C}$, по приложению 3 данных методических указаний.

Значения температур в плоскости максимального увлажнения τ_1, τ_2, τ_3 определяют следующим образом:

$$\tau_1 = t_B - \frac{t_B - t_{1н}}{R_0} \cdot (R_B + \sum R), \quad (43)$$

$$\tau_2 = t_B - \frac{t_B - t_{2н}}{R_0} \cdot (R_B + \sum R), \quad (44)$$

$$\tau_3 = t_B - \frac{t_B - t_{3н}}{R_0} \cdot (R_B + \sum R), \quad (45)$$

где $\sum R$ – сумма термических сопротивлений слоёв конструкции наружной стены, расположенных между её внутренней поверхностью и плоскостью максимального увлажнения, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;

$R'_{ПН}$ – сопротивление паропрооницанию слоёв конструкции наружной стены, расположенных между её наружной поверхностью и плоскостью максимального увлажнения, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

3.8.3.2 Определить требуемое сопротивление паропрооницанию, $R'_{П2}$, из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, по формуле:

$$R_{II2}^{TP} = \frac{0,0024 \cdot Z_0 \cdot (e_B - E_0)}{\gamma_\omega \cdot \delta_\omega \cdot \Delta W_{cp} + \eta}, \quad (46)$$

где Z_0 – продолжительность периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха, $t_{но}$, °C, согласно [4, табл. 5.1], сут.;

E_0 – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, Па, принимаемое при температуре в плоскости максимального увлажнения, τ , по приложению 3 данных методических указаний. Величина τ определяется по формуле (43).

γ_ω – плотность материала увлажняемого слоя (утеплителя), кг/м³, принимаемая равной γ_o , определяемая по [5, табл. Т.1];

δ_ω – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, принимаемая равной толщине теплоизоляционного слоя многослойной наружной стены, м;

ΔW_{cp} – предельно допустимое приращение массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя (утеплителя), %, за период влагонакопления, Z_0 , принимаемое по [5, табл. 10];

η – коэффициент, определяемый по формуле:

$$\eta = \frac{0,0024(E_0 - e_{но})Z_0}{R'_{III}}, \quad (47)$$

где $e_{но}$ – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, определяемое согласно [4, табл. 7.1].

Примечание: в формулах (46) и (47) величина 0,0024 – переводной коэффициент размерностей (суток в часы, кг в г, процентов в доли единицы).

3.8.3.3 Определить сопротивление паропроницанию $R_{II}^{BIT \div ПМУ}$ слоёв наружной стены, расположенных между её внутренней поверхностью и плоскостью максимального увлажнения, м²·ч·Па/мг.

3.8.3.4 Сравнить полученное сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции $R_{II}^{BIT \div ПМУ}$ с требуемыми сопротивлениями паропроницанию, определёнными по формулам (41) и (46). $R_{II}^{BIT \div ПМУ}$ должно быть не менее наибольшего из R_{II1}^{TP} и R_{II2}^{TP} .

3.8.3.5 В результате выполненных расчётов сделать выводы о возможности конденсации водяных паров на глади наружной стены, на внутренней поверхности наружного угла, на наружной поверхности наружной стены и в её толще. В случае установления возможности конденсации влаги необходимо

предусмотреть меры против конденсации влаги. Сделать вывод по обеспечению годового баланса влаги в ограждении.

Методика и примеры расчёта паропроницаемости ограждающих конструкций приведены в [2, глава X].

3.9 Определение теплоустойчивости помещения

Тепловой режим помещения определяется поступлениями или потерями тепла через наружные ограждения, работой отопительных и вентиляционных систем, бытовыми и технологическими тепловыделениями, а также теплофизическими свойствами ограждений, мебели и оборудования.

Теплоустойчивостью помещения называется его свойство поддерживать относительное постоянство внутренней температуры при периодически изменяющихся теплоступлениях. Чем больше способность поглощать тепло от ограждений и предметов, поверхности которых обращены в помещение, тем меньше в помещении колебания внутренней температуры и тем больше его теплоустойчивость. Так, в качестве допустимого предела суточного колебания температуры воздуха в жилом помещении гигиенисты считают $A_t^{доп} = \pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (при центральном отоплении).

Помещения, в которых амплитуда колебаний температуры воздуха превышает допустимые значения, не обладают достаточной теплоустойчивостью и с санитарно-гигиенической точки зрения являются неудовлетворительными.

Свойство теплоустойчивости помещения, также как и ограждения, определяется показателями теплоусвоения и теплопоглощения помещения, а также амплитудой колебания температуры воздуха в помещении. Величины этих показателей будут зависеть от теплотехнических свойств наружных и внутренних ограждающих конструкций, свойств отопительной и вентиляционной систем, особенностей конвективного и лучистого теплообмена, наличия оборудования в помещении и т. д.

3.9.1 Начертить разрез помещения принятого для расчёта (обозначить помещение на плане здания), указать все необходимые размеры.

3.9.2 Определить и показать условно на рисунке все элементы помещения, обладающие свойством теплопоглощения (ограждающие конструкции, воздух помещения, мебель и т. д.).

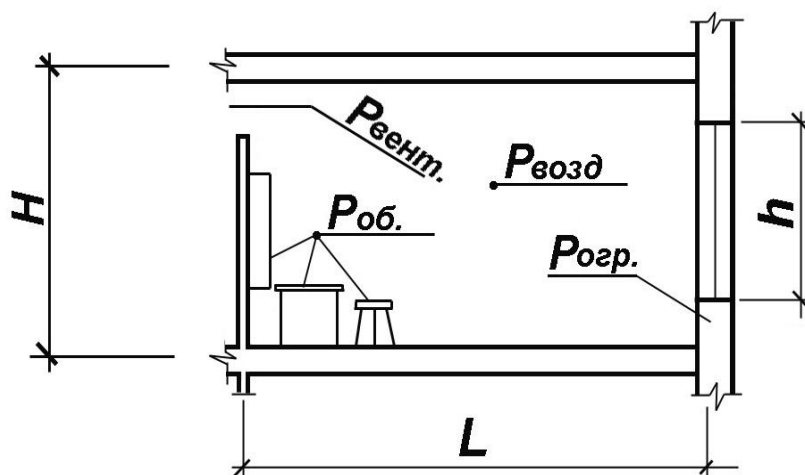


Рисунок 6. Определение показателей теплоусвоения и теплопоглощения помещения

3.9.3 Определить показатель теплопоглощения всех ограждающих конструкций, поверхности которых обращены внутрь помещения, Вт/°С, по формуле:

$$P_{огр} = \sum P_{огрi} = \sum B_i \cdot F_i, \quad (48)$$

где B_i – коэффициент теплопоглощения ограждающей конструкции, Вт/м² °С, определяемый по формуле (49);

F_i – площадь конструкции, поверхность которой обращена внутрь помещения, м².

3.9.4 Определить коэффициент теплопоглощения B_i , Вт/м² °С, для всех ограждающих конструкций, поверхности которых обращены в помещение, по формуле:

$$B_i = \frac{\mu_i}{\frac{1}{J_{Bi}} + \frac{1}{\alpha_{ki}}}, \quad (49)$$

где μ_i – коэффициент, зависящий от соотношения складываемых в знаменателе величин, следует принимать равным 1,05;

J_{Bi} – коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/м² °С, определяемый по методике, приводимой ниже в пункте 3.9.5;

α_{ki} – коэффициент конвективного теплообмена на поверхностях, определяемый по формуле:

$$\alpha_{ki} = \epsilon \sqrt[3]{\Delta t}, \quad (50)$$

где Δt – разность температур внутренней поверхности ограждения и воздуха в помещении;

ν – температурный коэффициент, определяемый по [1, табл. 1.3.].

3.9.5. Определить коэффициенты теплоусвоения внутренней поверхности всех ограждений, J_{Bi} , поверхности которых обращены внутрь помещения (потолок, пол, внутренние и наружные стены, окна, двери), Вт/м²·°С.

3.9.5.1 Определить коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности наружной стены, J_B , Вт/м²·°С.

Предварительно следует определить наружную границу расположения слоя резких колебаний в ограждении по тепловой инерции, D :

а) если $D_1 = R_1 \cdot S_1 \geq 1$, наружная граница слоя резких колебаний расположена в первом слое, то коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждения, J_B , следует принимать равным коэффициенту теплоусвоения материала этого слоя, S_1 ;

б) если $D < 1$, а $D_1 + D_2 \geq 1$, слой резких колебаний захватывает второй слой, то коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности, J_B , следует определять по формуле:

$$J_B = \frac{R_1 \cdot S_1^2 + S_2}{1 + R_1 S_2}; \quad (51)$$

в) если $D_1 + D_2 + \dots + D_{n-1} < 1$, но $D_1 + D_2 + \dots + D_n \geq 1$, слой резких колебаний расположен в нескольких слоях, т. е. наружная граница его находится в некотором n -ом слое ограждения, то коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности, J_B , следует определять, начиная с коэффициента J_B ($n-1$) слоя, по формуле:

$$J_{B(n-1)} = \frac{R_{n-1} \cdot S_{n-1}^2 + S_n}{1 + R_{n-1} \cdot S_n}. \quad (52)$$

Затем следует определить коэффициент теплоусвоения $J_{B(n-2)}$:

$$J_{B(n-2)} = \frac{R_{n-2} \cdot S_{n-2}^2 + J_{B(n-1)}}{1 + R_{n-2} \cdot J_{B(n-1)}} \quad (53)$$

и т. д., до тех пор, пока не будет определён J_{B1} первого слоя ограждения, теплоусвоение которого и будет равно теплоусвоению внутренней поверхности ограждения по формуле:

$$J_B = J_{B1} = \frac{R_1 \cdot S_1^2 + J_{B2}}{1 + R_1 \cdot J_{B2}}, \quad (54)$$

где R_i – термическое сопротивление слоя, Вт/м² °С, определяемое по формуле (6);

S_i – коэффициент теплоусвоения материала слоя, Вт/м²·°С, принимаемый по [5, табл. Т.1];

D_i – тепловая инерция слоя, определяемая по формуле $D_i = R_i S_i$.

Пример расчёта.

Определить $J_B = J_{B1}$ четырёхслойной наружной стены.

Если $D_1 + D_2 + D_3 < 1$, а $D_1 + D_2 + D_3 + D_4 > 1$, наружная граница слоя резких колебаний лежит в четвёртом слое, то определение коэффициента теплоусвоения начинаем с третьего слоя:

$$J_{B3} = \frac{R_3 \cdot S_3^2 + S_4}{1 + R_3 \cdot S_4},$$

$$J_{B2} = \frac{R_2 \cdot S_2^2 + J_{B3}}{1 + R_2 \cdot J_{B3}},$$

$$J_{B1} = \frac{R_1 \cdot S_1^2 + J_{B2}}{1 + R_1 \cdot J_{B2}}.$$

г) если $\sum D_n < 1$, слой резких колебаний выходит за пределы ограждения, т. е. наружная граница его находится вне ограждения.

В этом случае коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности последнего слоя ограждения (наружного слоя) определяют по формуле:

$$J_{вн} = \frac{R_n \cdot S_n^2 + \alpha_H}{1 + R_n \cdot \alpha_H}, \quad (55)$$

где R_n – термическое сопротивление последнего слоя ограждения, Вт/м²·°С;

S_n – коэффициент теплоусвоения материала последнего слоя ограждения, Вт/м²·°С;

α_H – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения, определяемый по формуле (5).

3.9.5.2 Определить коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности пола, J_{II} , Вт/ м²·°С, и установить соответствие полученного значения с нормативным значением показателя, $J_{II}^{норм}$, по [5, табл. 12]. Определить показатель теплоусвоения поверхности пола J_{II} , Вт/ м²·°С, следующим образом:

а) если покрытие пола (первый слой конструкции пола) имеет тепловую инерцию $D_1 = R_1 S_1 \geq 0,5$, то коэффициент теплоусвоения поверхности пола определяется по формуле:

$$J_{II} = 2S_1. \quad (56)$$

б) если первые $(n-1)$ слоёв конструкции пола имеют суммарную тепловую инерцию $D_1 + D_2 + \dots + D_{(n-1)} < 0,5$, а тепловая инерция n слоёв $D_1 + D_2 + \dots + D_n \geq 0,5$, то коэффициент теплоусвоения поверхности пола следует определять последовательно расчётом коэффициентов теплоусвоения поверхностей слоёв конструкции, начиная с $(n-1)$ до 1-ого:

$$J_{B(n-1)} = \frac{2R_{n-1} \cdot S_{n-1}^2 + S_n}{0,5 + R_{n-1} \cdot S_n}. \quad (57)$$

Для $(n-1)$, $(n-2)$, ... 1 слоя по формуле:

$$J_{B(n-2)} = \frac{4R_{(n-2)}S_{(n-2)}^2 + J_{(n-1)}}{1 + R_{(n-2)} \cdot J_{(n-1)}}, \quad (58)$$

$$J_{B(n-3)} = \frac{4R_{(n-3)}S_{(n-3)}^2 + J_{(n-2)}}{1 + R_{(n-3)} \cdot J_{(n-2)}} \quad (59)$$

Коэффициент теплоусвоения поверхности пола, J_{Π} принимается равным величине J_{B1} .

Если расчётный коэффициент теплоусвоения поверхности пола, J_{Π} , не соответствует нормативному значению, $J_{\Pi}^{норм}$, то следует сделать вывод и дать рекомендации, а к дальнейшему расчёту принять $J_{\Pi}^{норм}$.

3.9.5.3 Если ограждение целиком или отдельный слой ограждения практически не обладает инерцией (например, окно), то коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности, J_B , определяется по формуле:

$$J_B = \frac{1}{\sum R + \frac{1}{\alpha_H}}, \quad (60)$$

$$\sum R = R_{ок} - \frac{1}{\alpha_B} - \frac{1}{\alpha_H}, \quad (61)$$

где α_B – то же, что в формуле (1);

α_H – то же, что в формуле (5);

$R_{ок}$ – сопротивление теплопередаче окна, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, определяемое при подборе конструкции заполнения оконных проёмов [п. 3.4.3 данных метод. указаний].

е) при определении коэффициента теплоусвоения воздушных прослоек для практических расчётов принимается коэффициент теплоусвоения воздуха $S = 0$.

ж) для внутренних конструкций подверженных с обеих сторон воздействию периодических температурных колебаний, коэффициент теплоусвоения J_B , $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$, определяется как для наружных, но принимается в середине

ограждения $S = 0$. Для ограждений их серединой считается половина показателя тепловой инерции $\sum D$ всего ограждения.

• Внутренние перегородки:

1) Определить величину $(0,5\sum D)$ – для внутренней однослойной перегородки; $(0,5\sum D - D_1)$ – для внутренней трёхслойной перегородки и выяснить, в каком слое ограждения находится половина ограждения;

2) определить термическое сопротивление половины ограждения, R' ;

3) определить J_B по формуле (51), принимая в середине ограждения $S = 0$.

В результате преобразований формула (51) приобретает вид:

$$J_B = R' \cdot S_1^2 - \text{для однослойной внутренней перегородки,} \quad (62)$$

$$J_B = R' \cdot S_2^2 - \text{для трёхслойной внутренней перегородки.} \quad (63)$$

• Междуетажное перекрытие:

Расчёт J_B междуетажного перекрытия выполнить аналогично расчёту J_B внутренних перегородок. Если в данном расчёте принято помещение первого этажа, то следует учитывать, что междуетажное перекрытие – потолок, а 1 слой – ж/б плита.

• Внутренняя дверь:

Расчёт J_B внутренней двери аналогичен расчёту J_B однослойной внутренней перегородки. Материал внутренней двери принять – сосна – №192 или №193 по [5, табл. Т.1], где приведены необходимые для расчёта коэффициенты λ и s . Толщину двери, δ , принять самостоятельно.

Примеры и методика расчёта коэффициентов теплоусвоения ограждающих конструкций приведены в [2, глава V, §4 пример 25].

Данные расчёта показателя теплопоглощения всех ограждающих конструкций помещения внести в таблицу 10.

Таблица 10 – Показатель теплопоглощения ограждений помещения

№ п/п	Наименование ограждающей конструкции	J_{Bi} , Вт/м ² ·С	B_i , Вт/м ² ·С	F_i , м ²	$P_{огри}$, Вт/°С	$\sum P_{огри}$, Вт/°С
1	Наружная стена					
2	Внутренняя стена					
3	Окно					
4	Междуетажное перекрытие					
5	Пол первого этажа					
6	Внутренняя дверь					

Примечание. При расчёте F_i необходимо учесть: 1) в помещении может быть несколько наружных (в угловых) и внутренних стен; 2) при расчёте F_i стен следует вычитать F_i окон и внутренних дверей.

3.9.6 Определить показатель теплопоглощения воздуха, Вт/°С, по формуле:

$$P_{возд} = \frac{1,88V}{T}, \quad (64)$$

где V – объём помещения, м³;

T – период времени, равный 24 часам.

3.9.7 Определить показатель теплопоглощения предметов оборудования и мебели, Вт/°С, по формуле:

$$P_{об} = \frac{4,4}{3600T} \cdot G_{об} \cdot C_{об}, \quad (65)$$

где T – то же что в формуле (64);

$G_{об}$ – вес оборудования, кг, следует принять самостоятельно;

$C_{об}$ – удельная теплоемкость материала оборудования или мебели, Дж/кг·°С, [5, табл. Т.1].

3.9.8 Определить показатель теплопоглощения воздухообмена $P_{вент}$, Вт/°С, по формуле:

$$P_{вент} = \frac{L \cdot C \cdot \rho_B}{3600}, \quad (66)$$

где L – воздухообмен в помещении, м³/ч, (для жилых зданий $L = 3 \cdot A$, где A – площадь пола данного помещения);

C – удельная теплоёмкость воздуха, Дж/ кг °С, [п. 3.4.2 данных метод. указаний];

ρ_B – плотность воздуха, кг/м³.

3.9.9 Определить полный показатель теплопоглощения в помещении, P_{Π} , Вт/°С, по формуле:

$$P_{\Pi} = P_{огр} + P_{возд} + P_{об} + P_{вент}; \quad (67)$$

3.9.10 Определить амплитуду колебания температуры воздуха в помещении, A_t , °С по формуле:

$$A_t = \frac{\alpha \cdot m \cdot Q_{\Pi}}{P_{\Pi}} \quad (68)$$

где P_{Π} – то же, что в формуле (67);

α – поправочный коэффициент, принимаемый 0,7-0,9;

m – коэффициент неравномерности теплоотдачи приборов системы отопления, принимаемый равный 0,1;

Q_{Π} – расчётные теплотери через ограждающие конструкции в помещении, Вт, определяемые по формуле:

$$Q_{\Pi} = KA(t_g - t_n)n(1 + \sum\beta), \quad (69)$$

где K – коэффициент теплопередачи наружной стены, пола первого этажа, окна, определяемый из теплотехнического расчёта этих ограждений, Вт /м² °С;

A – площадь ограждений, м²;

n – коэффициент, учитывающий положение наружной стены, пола первого этажа, окна относительно наружного воздуха, принимается по приложению 4 методических указаний;

$\sum\beta$ – сумма коэффициентов, учитывающих добавочные теплотери:

• β_1 – добавка на ориентацию наружной стены, окна по сторонам света: для С, С-В, С-З, В величина $\beta_1 = 0,1$; для Ю-В и З величина $\beta_1 = 0,05$; для Ю, Ю-З величина $\beta_1 = 0$;

• β_2 – добавка для пола над неотапливаемым подвалом здания в местности с $t_n = -40^{\circ}\text{C}$ и ниже;

• β_3 – добавка на угловое помещение учитывает, что в таком помещении радиационная температура, t_R , ниже, чем в рядовом. Поэтому в угловом помещении жилого здания величина t_g принимается на 2°С выше.

Пример расчёта Q_{Π} приведён в [3, глава 7].

Данные расчёта занести в таблицу 11.

Таблица 11 – Расчётные теплотери через ограждающие конструкции

№	Наименование ограждения	Ориентация ограждения	Размеры ограждения, м	Площадь ограждения, A , м ²	K , Вт/м ² °С	n	$(t_g - t_n)$, °С	β_1	β_2	β_3	$(1 + \sum\beta)$	Q_{Π}
1	НС (НС) ОК ПЛ											

3.9.11 В заключение расчёта сделать вывод о соответствии данного помещения нормам теплоустойчивости. Полученное значение амплитуды колебания температуры воздуха, A_b , не должно превышать $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ (для центрального отопления).

3.10 Определение условий теплового комфорта в помещении с греющей потолочной панелью

Параметры микроклимата помещения должны быть в определённых сочетаниях между собой и не отклоняться от заданных пределов, т. е. находиться в некоторой зоне комфортности тепловой обстановки.

Тепловые условия в помещении зависят, в основном, от температуры воздуха и окружающих поверхностей, т. е. определяются его температурной обстановкой.

Температурная обстановка в помещении может быть определена двумя условиями теплового комфорта: первое условие температурного комфорта в помещении в целом; второе условие температурного комфорта на границе обслуживаемой зоны в непосредственной близости от нагретых или охлажденных поверхностей.

Цель данного расчёта – установить выполнение условий комфортности в помещении с греющей потолочной панелью.

3.10.1. К расчёту принять помещение, рассмотренное в разделе 3.9.

В помещении принимаем вариант панельного отопления с установкой греющей потолочной панели. Первоначально площадь греющей панели может быть принята равной площади конструкции потолка, т. е. $F_n = a' \cdot b$.

Данное помещение вычертить, как показано на рисунке 7, указать все необходимые для расчёта размеры и условно изобразить расположение греющей потолочной панели.

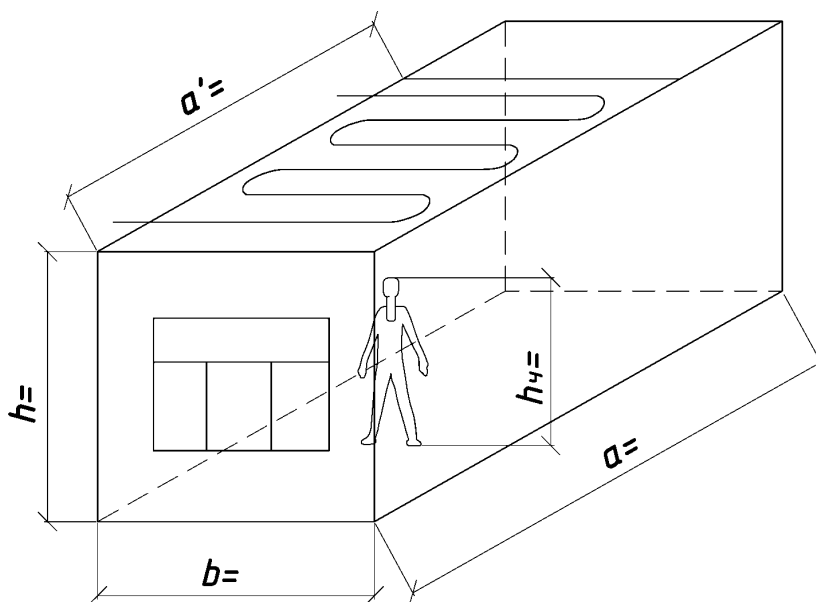


Рисунок 7. Помещение с греющей потолочной панелью

3.10.2 Для принятого варианта лучисто-панельного отопления составляем уравнение теплового баланса:

$$Q_n = Q_{пан},$$

где Q_n – расчётные теплопотери помещения, определённые в предыдущем расчёте по п. 3.9.10, Вт;

$Q_{пан}$ – теплоотдача потолочной греющей панели, Вт.

3.10.3 Определяем расчётное значение температуры на поверхности греющей потолочной панели $\tau_n^{расч}$, °С из уравнения теплообмена на поверхности:

$$Q_n = Q_{пан} = [\Phi \cdot C \cdot \epsilon \cdot (\tau_n^{расч} - \tau_в) + \alpha_k (\tau_n^{расч} - \tau_в)] \cdot F_n, \quad (70)$$

где Φ – коэффициент полной облучённости, определяемый по формуле,

$$\Phi = \frac{F_{нс} / F_n - \varphi^2}{F_{нс} / F_n - 2\varphi + 1}, \quad (71)$$

где $F_{нс}$ – площадь наружных ограждений помещения, м²;

F_n – площадь греющей панели, м²;

φ – коэффициент облучённости с поверхности на поверхность, расположенную в перпендикулярной плоскости и принимаемый в зависимости от соотношения размеров по [1, рис. 1.12];

C – коэффициент излучения поверхности серого тела для системы «панель-наружное ограждение», Вт/м² К⁴, определяемый по формуле:

$$C = E_{np} \cdot C_0, \quad (72)$$

где C_0 – коэффициент излучения абсолютно чёрного тела, = 5,77 Вт/м² К⁴;

E_{np} – приведённый относительный коэффициент излучения поверхности при теплообмене между двумя серыми поверхностями, определяемый по формуле:

$$E_{np} = E_1 \cdot E_2, \quad (73)$$

где E_1, E_2 – относительные коэффициенты излучения поверхностей, принимаемые по [1, табл. 1.1];

ϵ – температурный коэффициент, определяемый по формуле:

$$\epsilon = 0,81 + 0,01 \cdot \tau_{ср}, \quad (74)$$

где $\tau_{ср}$ – средняя температура теплообменивающихся поверхностей, °С:

$$\tau_{ср} = 0,5 \cdot (\tau_n + \tau_в),$$

где $\tau_в$ – температура на внутренней поверхности наружной стены, °С;

τ_n – средняя температура поверхности греющей панели, °С.

Среднюю температуру поверхности строительных конструкций со встроенными нагревательными элементами, τ_n , следует принимать по СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование, °С, но не выше:

для потолков при высоте помещения, м:

от 2,5 до 2,828,

от 2,8 до 3.....30,
от 3 до 3,5.....33,
от 3,5 до 4.....36;

α_k – среднее значение коэффициента конвективного теплообмена на поверхности панели, определяемое по формуле:

$$\alpha_k = 1,16 \cdot \sqrt[3]{\tau_n - t_g} . \quad (76)$$

3.10.3 Проверить, удовлетворяются ли условия комфортности.

3.10.3.1 Для проверки первого условия комфортности « $t_R = 29 - 0,57 \cdot t_g \pm 1,5$ » определяем среднюю температуру поверхностей в помещении t_R относительно человека, стоящего в центре помещения, по формуле:

$$t_R = \sum \varphi_{q-i} \cdot \tau_i \quad (77)$$

или

$$t_R = \varphi_{q-n} \cdot \tau_n^{расч} + \varphi_{q-но} \cdot \tau_{но} + \varphi_{q-во} \cdot \tau_{во} , \quad (78)$$

где φ_{q-i} – коэффициенты облучённости с человека на отдельные поверхности:

- в сторону потолочной панели – φ_{q-n} , [1, рис. 1.40, б)];
- в сторону наружных ограждений – $\varphi_{q-но}$, [1, рис. 1.40, в)];
- в сторону поверхностей внутренних ограждений – $\varphi_{q-во} = 1 - (\varphi_{q-n} + \varphi_{q-но})$.

При определении φ_{q-i} необходимо учитывать: так как человек стоит в центре помещения, то размеры a и b следует делить пополам, а полученную с графика величину φ_{q-i} – умножить на 4.

τ_i – температура, °С, соответственно, на поверхности панели, $\tau_n^{расч}$, наружных, $\tau_{но} = \tau_g$, и внутренних ограждений, $\tau_{во} = t_g$.

Проверяем, удовлетворяется ли первое условие комфортности, сравнивая полученное значение средней температуры поверхностей в помещении, t_R , с величиной t_R из выражения первого условия комфортности: $t_R = 29 - 0,57 \cdot t_g \pm 1,5$. Сделать вывод, дать рекомендации в случае невыполнения условия комфортности.

3.10.3.2 Проверяем выполнение второго условия комфортности путём сравнения значения $\tau_n^{расч}$ полученного из формулы (70) с допустимым значением для нагретой поверхности $\tau_n^{дон}$ из выражения второго условия комфортности « $\tau_n^{дон} \leq 19,2 + 8,7 / \varphi_{q-n}$ », где φ_{q-n} – коэффициент облучённости с головы человека в сторону панели, принимаемый в зависимости от соотношения размеров по [1, рис. 1.9]. При определении φ_{q-n} необходимо учитывать: так как человек стоит в центре помещения, то размеры a и b следует делить пополам, а полученную с графика величину φ_{q-n} – умножить на 4.

В заключении расчёта сделать выводы о выполнении условий комфортности в помещении с греющей потолочной панелью.

Пример и методика определения условий комфортности в помещении с греющей панелью приведены в [1, §1.19; 3, §9.4].

Рекомендуемая литература

1. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика / В. Н. Богословский. – М. : Стройиздат, 2006. – 415 с.
2. Фокин, К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания / К. Ф. Фокин. – М. : ООО ИИП «АВОК–ПРЕСС», 2006. – 252 с.
3. Малявина, Е. Г. Теплопотери здания / Е. Г. Малявина. – М. : ООО ИИП «АВОК–ПРЕСС» 2007. – 142 с.
4. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. – М. : Стройиздат, 2013. – 86 с.
5. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М. : Стройиздат, 2013. – 80 с.
6. СП 23-102-2004 Проектирование тепловой защиты. – М. : Стройиздат, 2004. – 136 с.
7. ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях, М. : Стройиздат, 1999. – 29 с.
8. СП 54.13330.2011 Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003. – М. : Стройиздат, 2011. – 27 с.
9. СП 55.13330.2011 Дома жилые одноквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-02-2001. – М. : Стройиздат, 2011. – 19 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Основные обозначения величин

Буква	Название буквы	Буква	Название буквы
Греческий алфавит			
Αα	Альфа	Νν	ню
Ββ	бета	Ξξ	кси
Γγ	гамма	Οο	омикрон
Δδ	дельта	Ππ	пи
Εε	эпсилон	Ρρ	ро
Ζζ	дзета	Σσ	сигма
Ηη	эта	Ττ	тау
Θθ	тэта	Υυ	ипсилон
Ιι	йота	Φφ	фи
Κκ	каппа	Χχ	хи
Λλ	лямбда	Ψψ	пси
Μμ	мю	Ωω	омега
Латинский алфавит			
Aa	а	Nn	эн
Bb	бэ	Oo	о
Cc	цэ	Pp	пэ
Dd	дэ	Qq	ку
Ee	у	Rr	эр
Ff	эф	Ss	эс
Gg	жэ	Tt	тэ
Hh	аш	Uu	у
Ii	и	Vv	вэ
Jj	джи	Ww	дубль-вэ
Kk	ка	Xx	икс
Ll	эль	Yy	игрек
Mm	эм	Zz	зэт

Таблица 1 – Соотношения между единицами измерений

Единицы измерения	Па	бар	мм рт. ст.	мм вод. ст.	кгс/см ²
Па	1	10 ⁻⁵	7,502·10 ⁻³	0,102	1,02·10 ⁻⁶
бар	10 ⁵	1	7,524·10 ²	1,02·10 ⁴	1,02
мм рт. ст.	133,322	1,3332·10 ⁻³	1	13,6	1,36·10 ⁻³
мм вод. ст.	9,8067	9,8067·10 ⁻⁵	7,35·10 ⁻²	1	10 ⁻⁴
кгс/см ²	9,8067·10 ⁴	0,98067	7,35·10 ²	10 ⁴	1

Таблица 2 – Соотношения между некоторыми единицами физических величин, подлежащих замене, с единицами СИ

Наименование величин	Единица				Соотношение с единицами СИ
	подлежащая замене		СИ		
	наименование	обозначение	наименование	обозначение	
количество теплоты	килокалория	ккал	килоджоуль	кДж	4,19 кДж
удельное количество теплоты	килокалория на килограмм	ккал/кг	килоджоуль на килограмм	кДж/кг	4,19кДж/кг
тепловые потери	килокалория в час	ккал/ч	ватт	Вт	1,163 Вт
	гигакалория в час	Гкал/ч	мегаватт	МВт	1,163 МВт
теплоёмкость	килокалория на градус Цельсия	ккал/°С	килоджоуль на градус Цельсия	кДж/°С	4,19 кДж
удельная теплоёмкость	килокалория на килограмм градус Цельсия	ккал/(кг°С)	килоджоуль на килограмм градус Цельсия	кДж/(кг°С)	4,19кДж/(кг°С)
теплопроводность	килокалория на метр час градус Цельсия	ккал/(м ч°С)	ватт на метр градус Цельсия	Вт/(м °С)	1,163Вт/(м °С)

Таблица 1 – Значения парциального давления насыщенного водяного пара, E , Па, для температуры t от 0 до минус 41 °С (над льдом), [2, прил. 3 или 6, прил. С]

$t, ^\circ\text{C}$	E	$t, ^\circ\text{C}$	E	$t, ^\circ\text{C}$	E	$t, ^\circ\text{C}$	E	$t, ^\circ\text{C}$	E
0	611	-5,4	388	-10,6	245	-16	151	-23	77
-0,2	601	-5,6	381	-10,8	241	-16,2	148	-23,5	73
-0,4	592	-5,8	375	-11	237	-16,4	145	-24	69
-0,6	581	-6	369	-11,2	233	-16,6	143	-24,5	65
-0,8	573	-6,2	363	-11,4	229	-16,8	140	-25	63
-1	563	-6,4	356	-11,6	225	-17	137	-25,5	60
-1,2	553	-6,6	351	-11,8	221	-17,2	135	-26	57
-1,4	544	-6,8	344	-12	217	-17,4	132	-26,5	53
-1,6	535	-7	338	-12,2	213	-17,6	129	-27	51
-1,8	527	-7,2	332	-12,4	209	-17,8	128	-27,5	48
-2	517	-7,4	327	-12,6	207	-18	125	-28	47
-2,2	509	-7,6	321	-12,8	203	-18,2	123	-28,5	44
-2,4	400	-7,8	315	-13	199	-18,4	120	-29	42
-2,6	492	-8	310	-13,2	195	-18,6	117	-29,5	39
-2,8	484	-8,2	304	-13,4	191	-18,8	116	–	–
-3	476	-8,4	299	-13,6	188	-19	113	-30	38
-3,2	468	-8,6	293	-13,8	184	-19,2	111	-31	34
-3,4	460	-8,8	289	-14	181	-19,4	109	-32	34
-3,6	452	-9	284	-14,2	179	-19,6	107	-33	27
-3,8	445	-9,2	279	-14,4	175	-19,8	105	-34	25
-4	437	-9,4	273	-14,6	172	–	–	-35	22
-4,2	429	-9,6	268	-14,8	168	-20	103	-36	20
-4,4	423	-9,8	264	-15	165	-20,5	99	-37	18
-4,6	415	–	–	-15,2	163	-21	93	-38	16
-4,8	408	-10	260	-15,4	159	-21,5	89	-39	14
-5	402	-10,2	260	-15,4	159	-22	85	-40	12
-5,2	395	-10,4	251	-15,8	153	-22,5	81	-41	11

Таблица 2 – Значения парциального давления насыщенного водяного пара E , Па, для температуры t от 0 до +30°C (над водой), [2, прил. 3]

$t, ^\circ\text{C}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	611	615	620	624	629	633	639	643	648	652
1	657	661	667	671	676	681	687	691	696	701
2	705	711	716	721	727	732	737	743	748	753
3	759	764	769	775	780	785	791	796	803	808
4	813	819	825	831	836	843	848	855	860	867
5	872	879	885	891	897	904	909	916	923	929
6	935	941	948	956	961	968	975	981	988	995
7	1 001	1 009	1 016	1 023	1 029	1 037	1 044	1 051	1 059	1 065
8	1 072	1 080	1 088	1 095	1 103	1 109	1 117	1 125	1 132	1 140
9	1 148	1 156	1 164	1 172	1 180	1 188	1 196	1 204	1 212	1 220
10	1 228	1 236	1 244	1 253	1 261	1 269	1 279	1 287	1 285	1 304
11	1 312	1 321	1 331	1 339	1 348	1 355	1 365	1 375	1 384	1 323
12	1 403	1 412	1 421	1 431	1 440	1 449	1 459	1 468	1 479	1 488
13	1 497	1 508	1 517	1 527	1 537	1 547	1 557	1 568	1 577	1 588
14	1 599	1 609	1 619	1 629	1 640	1 651	1 661	1 672	1 683	1 695
15	1 705	1 716	1 727	1 739	1 749	1 761	1 772	1 784	1 795	1 807
16	1 817	1 829	1 841	1 853	1 865	1 877	1 889	1 901	1 913	1 925
17	1 937	1 949	1 962	1 974	1 986	2 000	2 012	2 025	2 037	2 050
18	2 064	2 077	2 089	2 102	2 115	2 129	2 142	2 156	2 169	2 182
19	2 197	2 210	2 225	2 238	2 252	2 266	2 281	2 294	2 309	2 324
20	2 338	2 352	2 366	2 381	2 396	2 412	2 426	2 441	2 456	2 471
21	2 488	2 502	2 517	2 538	2 542	2 564	2 580	2 596	2 612	2 628
22	2 644	2 660	2 676	2 691	2 709	2 725	2 742	2 758	2 776	2 792
23	2 809	2 826	2 842	2 860	2 877	2 894	2 913	2 930	2 948	2 965
24	2 984	3 001	3 020	3 038	3 056	3 074	3 093	3 112	3 130	3 149
25	3 168	3 186	3 205	3 224	3 244	3 262	3 282	3 301	3 321	3 341
26	3 363	3 381	3 401	3 421	3 441	3 461	3 481	3 502	3 523	3 544
27	3 567	3 586	3 608	3 628	3 649	3 672	3 692	3 714	3 796	3 758
28	3 782	3 801	3824	4 846	3 869	3 890	3 913	3 937	3 960	3 982
29	4 005	4 029	4 052	4 076	4 100	4 122	4 146	4 170	4 194	4 218
30	4 246	4 268	4 292	4 317	4 341	4 366	4 390	4 416	4 441	4 466

Коэффициент положения ограждения относительно наружного воздуха, n , [3, табл. 16]

Ограждение	n
Наружная стена и покрытие (в том числе, вентилируемое наружным воздухом), чердачное перекрытие (с кровлей из штучных материалов) и перекрытие над проездами, перекрытие над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной климатической зоне	1
Перекрытие над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом, чердачное перекрытие (с кровлей из рулонных материалов), перекрытие над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне	0,9
Перекрытие над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	0,75
Перекрытие над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли	0,6
Перекрытие над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных ниже уровня земли	0,4

Вопросы к экзамену

1. Необходимость изучения строительной теплофизики.
2. Чем обусловлены теплозащитные свойства современных наружных ограждений?
3. Мероприятия по энергосбережению в строительной теплофизике.
4. Микроклимат помещения. Оптимальные и допустимые условия. Инженерные системы, создающие микроклимат помещения.
5. Нетрадиционные источники тепла для выработки тепловой и электрической энергии, необходимость в их использовании.
6. Конструкции современных многослойных ограждений. Функции слоев.
7. Утеплители. Эффективность. Свойства. Характеристики.
8. Стационарная теплопередача через ограждение. 1-2-3 - мерное температурное поле.
9. Особенности теплотехнического режима наружных угловых стен, стыков ограждений, оконных откосов.
10. Характеристики наружного климата.
11. Воздухопроницаемость ограждений здания. Причины, последствия. Основные характеристики.
12. Влияние воздухопроницаемости на теплопередачу в различных элементах ограждений (массив стены, стык, оконный откос).
13. Условия выпадения конденсата на внутренней поверхности ограждения, на внутренней поверхности наружного угла. Мероприятия по предотвращению.
14. Паропроницаемость ограждений здания. Причины. Последствия.
15. Значение (с точки зрения теплотехники, экономики, социальное) влажностного режима наружных ограждений.
16. Увлажнение ограждений зданий. Причины, меры по предотвращению.
17. Характеристики влажного состояния воздуха в помещении.
18. Графоаналитический метод определения конденсации влаги в толще ограждения. Меры против конденсации влаги в толще ограждения.
19. Влажностный режим бесчердачного покрытия.
20. Теплообмен в помещении, уравнение, пояснить рисунком.
21. Конвективный теплообмен в помещении.
22. Теплообмен излучением в помещении.
23. Теплоустойчивость ограждений. Характеристики.
24. Колебания теплового потока и температуры внутренней поверхности ограждений.

25. Затухание температурных колебаний в ограждении. Характеристики процесса.
26. Теплоустойчивость помещений. Характеристики.
27. Теплообмен человека с окружающей средой.
28. Два условия температурного комфорта в помещении.