

Часть 1. Строительная теплофизика

ВВЕДЕНИЕ

Практические занятия посвящаются выполнению примеров расчета теплотехнических показателей и характеристик ограждающих конструкций здания и помещения. Любое строительное проектирование требует знания не только фундаментальной базы процессов, лежащих в основе проектируемых элементов здания и инженерных систем, его обслуживающих, но и действующих норм. В связи с обострившейся проблемой энергосбережения резко ужесточились нормы теплозащиты, сменился подход к выбору внутренних условий для теплотехнического расчета ограждающих конструкций. Удовлетворение повысившихся требований к теплозащите зданий стало возможным только за счет многослойности ограждений, что усложнило их конструкцию и потребовало учета неоднородности теплового потока, проходящего сквозь ограждение.

Глава 1. Тепловлагопередача через наружное ограждение

1.1. НАРУЖНЫЕ И ВНУТРЕННИЕ УСЛОВИЯ

1.1.1 Выбор расчетных наружных условий района строительства

Климатические данные заданного района строительства определяют по табл. 1 и 2 и картам удельной энтальпии наружного воздуха по [1], где в алфавитном порядке расположены областные и краевые центры, а все остальные пункты внутри области или края. В таблице 1.1 приведены данные [1].
Определяются:

1. Средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.
2. Средняя температура наиболее холодных суток с обеспеченностью 0,98 и 0,92.

3. Средняя за сутки температура наружного воздуха, определяющая начало и конец отопительного периода (в зависимости от функционального назначения здания) принимается в соответствии с п. 5.2 СП 50.13330.2012 [2] для лечебно-профилактических, детских дошкольных учреждений и домов-интернатов для престарелых равной $+10^{\circ}\text{C}$, для всех остальных зданий $+8^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1.1

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ГОРОДОВ РФ [1, табл.1, табл.2, рис. 5]

№ п/п	Пункт	t ₅ ⁹² ,	t _{о.п}	z _{о.п}	t _{о.п}	z _{о.п}	V _{хп} ,	V	t _{хм} ,	e _{хм} ,	t _{А,Т} ,	t _{Б,Т} ,	I _{А,Т} ,	I _{Б,Т} ,	A _Т ,	V _{тп} ,	P,
		°C	(8), °C	(8), сут	(10), °C	(10), сут	м/с	(8) , м/с	°C	гПа	°C	°C	кДж/кг	кДж/кг	°C	м/с	гПа
		холодный период года										теплый период года					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Архангельск	-34	-4,5	250	-3,5	271	3,4	3,7	-13,3	2,3	19,6	24	48,6	55,3	10,7	2,3	1011,0
2	Астрахань	-21	-0,8	164	0,1	179	3,8	4,3	-4,7	3,6	28,4	33,0	61,1	64,5	12,4	3,2	1020,6
3	Белгород	-23	-1,9	191	-1	209	4,7	5,3	-8,5	3,2	23,3	27,4	51,6	53,4	10,7	3,9	990,8
4	Брянск	-26	-2,0	199	-1,1	217	3,4	4,7	-7,2	3,1	23,0	24,7	49,8	53,2	9,6	3,9	990,0
5	Владимир	-28	-3,5	213	-2,6	230	4,3	3,4	-11,1	2,6	22,0	27	49,4	52,8	10,1	3,9	994,5
6	Воронеж	-24	-2,5	190	-1,6	206	4,0	4,2	-7,3	2,9	24,1	28,6	52,3	54,8	11,2	1	998,7
7	Екатеринбург	-32	-5,4	221	-4,3	239	4,1	3,7	-13,6	1,8	22	25,3	48,1	51,1	9,9	2,7	982,2
8	Иваново	-30	-3,9	219	-2,9	236	4,3	4,2	-11,9	2,6	20,9	26,0	49,8	52,8	11,5	1	999,6
9	Иркутск	-33	-7,7	232	-6,6	249	3,0	2,3	-18,4	1,2	21,6	25,0	50,2	53,6	12,0	1,7	962,7
10	Калининград	-19	1,2	188	2,1	213	3,6	4,1	-2,2	4,4	21,2	24,7	48,6	52,8	9,3	3,6	998,5
11	Калуга	-27	-2,9	210	-1,9	228	4,2	3,9	-10,1	2,8	22	27,0	50,2	53,6	10,9	1	991,5
12	Кемерово	-39	-8,0	227	-6,9	243	3,4	4,9	-17,9	1,4	22,7	26,8	50,2	53,2	12,7	1	1001,4
13	Кострома	-29	-3,9	222	-3	239	3,5	4,9	-11,8	2,5	21,2	25,4	49,8	53,6	10,6	3,5	995,0
14	Краснодар	-9	2,5	145	3,3	165	3,7	1,4	-0,2	4,9	23,4	28,0	59,5	63,6	11,7	1	1012,8
15	Красноярск	-37	-6,7	233	-5,7	257	4,3	3,8	-16,0	1,4	21,8	25,0	49,4	51,9	11,1	1	979,7
16	Курск	-24	-2,3	194	-1,4	211	3,9	4,4	-7,3	3,1	23,0	27,0	51	53,6	9,8	3,5	986,4
17	Москва	-25	-2,2	205	-1,3	223	2,0	3,8	-7,8	2,8	22,4	26,2	49,4	54	9,6	1	997,0
18	Нижний Новгород	-31	-4,1	215	-3,2	231	5,1	3,7	-11,8	2,5	22,4	26,2	50,7	54,7	9,3	0	995,0
19	Новосибирск	-39	-8,1	221	-6,9	238	4,7	3,9	-17,3	1,4	23,0	28,0	50,2	54,8	11,9	2,0	1003,2
20	Омск	-37	-8,1	216	-6,9	232	2,8	5	-17,2	1,4	23,5	27,8	49,4	53,6	11,2	2,0	1002,8

Продолжение табл. 1																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
21	Оренбург	-32	-6,1	195	-5,1	208	5,9	4,5	-12,9	1,9	27,0	32,0	51,9	54,4	14,9	3,8	1004,5
22	Орел	-26	-2,7	205	-1,8	222	4,7	4,8	-9,7	3	23,0	28,0	49,8	53,6	10,7	4,0	991,9
23	Пенза	-29	-4,1	200	-3,2	214	4,4	4,8	-9,8	2,4	22,9	27,0	51,1	54	11,7	3,8	995,6
24	Пермь	-35	-5,5	225	-4,4	243	3,4	3,3	-13,9	1,9	21,5	27,0	50,2	53,2	10,8	1	994,7
25	Псков	-26	-1,3	208	-0,4	229	3,5	3,9	-6,3	3,4	21,4	24,7	48,1	51,9	10,5	3,3	1008,6
26	Ростов-на-Дону	-19	-0,1	166	0,7	182	4,8	4,4	-3,8	4	27,0	32,0	57,4	60,7	11,6	1	1006,1
27	Рязань	-27	-3,2	203	-2,2	220	3,5	4,8	-8,8	7,3	21,7	25,9	49,8	53,6	10,7	1	1000,0
28	Самара	-28	-5,5	200	-4,6	213	3,0	4	-12,2	5,4	24,8	28,8	52,8	55,3	10,1	2,7	1000,7
29	Санкт-Петербург	-24	-1,3	213	-0,4	232	3,3	4,2	-6,6	4,2	20,1	24,4	48,1	51,5	8,0	2,8	1012,7
30	Саратов	-25	-3,5	188	-2,6	202	4,4	4,4	-8,7	5,6	25,1	31,0	53,6	56,5	11,0	4,4	1006,2
31	Тамбов	-26	-3,3	196	-2,4	212	4,3	4	-8,6	4,7	23,2	30,0	52,3	54,4	11,1	3,3	998,2
32	Тверь	-28	-2,7	217	-1,8	236	3,9	3,6	-10,5	6,2	20,1	24,4	49,4	52,8	10,6	1	997,3
33	Томск	-39	-7,9	233	-6,8	249	2,4	4,7	-17,9	5,6	21,1	25,6	49	52,8	11,3	1	1001,0
34	Тула	-27	-3	207	-2,1	224	3,6	4	-9,9	4,9	21,9	27,0	50,2	53,6	10,8	1	994,1
35	Тюмень	-38	-7,2	225	-6,1	240	3,0	3,6	-16,2	3,9	22,4	25,8	51,5	55,3	10,8	2,3	1004,0
36	Уфа	-33	-6,0	209	-5	224	5,0	3,5	-13,7	5,5	23,8	27,0	50,7	54,4	12,0	1	1004,9
37	Хабаровск	-29	-9,5	251	-8,2	269	3,9	5,3	-21,0	5,9	23,8	26,4	60,7	65	9,9	1	1001,7
38	Челябинск	-34	-6,5	218	-5,5	233	3,2	3	-15,1	4,5	21,7	27,0	48,1	52,3	10,1	1	988,3
39	Чита	-38	-11,3	238	-10,2	252	1,6	2,4	-25,6	3,2	22,8	26,0	49,4	53,2	13,8	1,6	936,3

* - в табл. 1 приняты следующие обозначения:

t_5^{92} - температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С, обеспеченностью 0.92; $t_{0.п}(8)$, $z_{0.п}(8)$ - средняя температура воздуха, °С, и продолжительность, сут, периода со средней суточной температурой воздуха ≤ 8 , °С, $t_{0.п}(10)$, $z_{0.п}(10)$ - средняя температура воздуха, °С, и продолжительность, сут, периода со средней суточной температурой воздуха ≤ 10 , °С; $V_{хп}$ - максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с; $V(8)$ - средняя скорость ветра, м/с, за период со средней суточной температурой воздуха ≤ 8 , °С; $t_{хм}$ - минимальная средняя месячная температура воздуха; $e_{хм}$ - среднее месячное парциальное давление водяных паров для месяца с минимальной средней месячной температурой воздуха, гПа; $t_{А,Т}$, $t_{Б,Т}$ - температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,95 и 0,98 в теплый период года; $I_{А,Т}$, $I_{Б,Т}$ - удельная энтальпия воздуха, кДж/кг, для теплого периода года по параметрам «А» и параметрам «Б»; A_T - средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °С, $V_{тп}$ - минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, м/с; P - барометрическое давление, гПа.

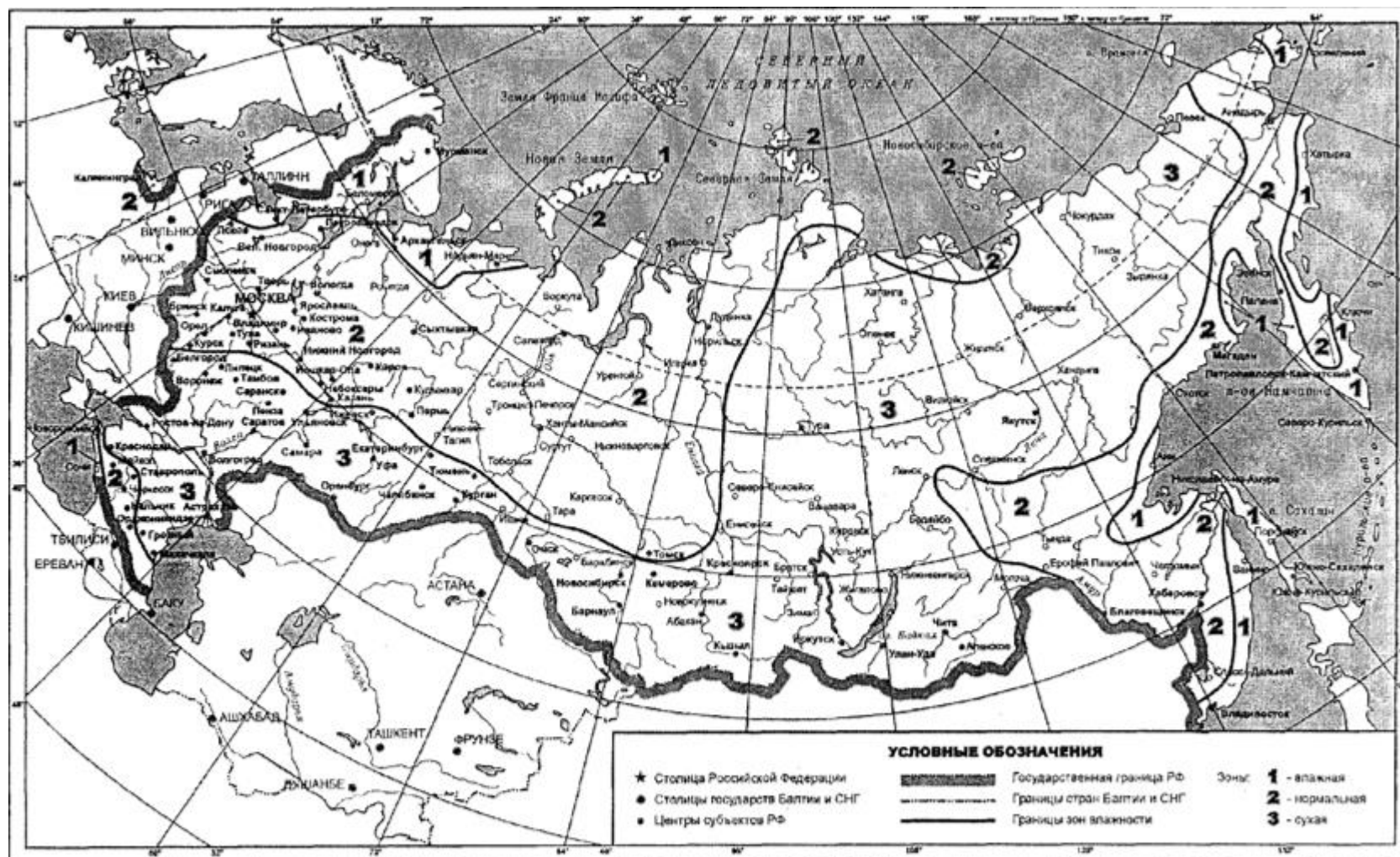


Рисунок 1.1. ЗОНЫ ВЛАЖНОСТИ ТЕРРИТОРИИ РФ [2]

4. Средняя температура отопительного периода.
5. Продолжительность отопительного периода.
6. По [2], карта из которого представлена на рисунке 1.1, зона влажности района строительства.
7. По таблице 1.1 расчетная скорость ветра для холодного периода года как максимальная из средних скоростей по румбам за январь, повторяемость которой не ниже 16%.
8. Средняя скорость ветра за период со средней суточной температурой воздуха $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$.
9. Средняя месячная (по месяцам) температура наружного воздуха и года.
10. Средняя упругость водяного пара в наружном воздухе по месяцам.
11. Расчетная температура наружного воздуха для теплого периода года:
по параметрам А;
по параметрам Б.
12. Расчетная скорость ветра для теплого периода года.
13. Средняя суточная амплитуда температуры наиболее теплого месяца года.
14. Удельная энтальпия воздуха для теплого периода года:
по параметрам А;
по параметрам Б.
15. Барометрическое давление.

1.1.2 Выбор расчетных внутренних условий

Для расчета сопротивления теплопередаче ограждений проектируемого здания определяются:

- категория помещения по классификации ГОСТ 30494-11 [3]:

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ [3]

Помещения 1 категории — помещения, в которых люди в положении лежа или сидя находятся в состоянии покоя и отдыха.

Помещения 2 категории — помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебой.

Помещения 3а категории — помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды.

Помещения 3б категории — помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя в уличной одежде.

Помещения 3в категории — помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении стоя без уличной одежды.

Помещения 4 категории — помещения для занятий подвижными видами спорта.

Помещения 5 категории — помещения, в которых люди находятся в полураздетом виде (раздевалки, процедурные, кабинеты врачей и т.п.).

Помещения 6 категории — помещения с временным пребыванием людей (вестибюли, гардеробные, коридоры, лестницы, санузлы, курительные, кладовые).

- расчетная температура внутреннего воздуха для выбора наружных ограждений как минимальное значение оптимального диапазона температуры по ГОСТ 30494-96 для помещений выбранной выше категории по таблицам 1.2 – 1.4 [3, таблицы 1 – 3];

Таблица 1.2

Оптимальные и допустимые значения параметров внутреннего микроклимата
жилых зданий [3]

Пе- риод года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движе- ния воздуха, м/с	
		опти- мальная	допусти- мая	опти- мальная	допусти- мая	опти- мальная	допусти- мая, не более	опти- мальная, не более	допусти- мая, не более
Хо- лод- ный	Жилая комната	20-22	18-24 (20-24)	19-20	17-23 (19-23)	45-30	60	0,15	0,2
	То же, в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31 °С и ниже	21-23	20-24 (22-24)	20-22	19-23 (21-23)	45-30	60	0,15	0,2
	Кухня	19-21	18-26	18-20	17-25	НН*	НН	0,15	0,2
	Туалет	19-21	18-26	18-20	17-25	НН	НН	0,15	0,2
	Ванная, совме- щенный санузел	24-26	18-26	23-27	17-26	НН	НН	0,15	0,2
	Помещение для отдыха и учебных занятий	20-22	18-24	19-21	17-23	45-30	60	0,15	0,2
	Межквартирный коридор	18-20	16-22	17-19	15-21	45-30	60	0,15	0,2
	Вестибюль, лестничная клетка	16-18	14-20	15-17	13-19	НН	НН	0,2	0,3
	Кладовая	16-18	12-22	15-17	11-21	НН	НН	НН	НН
Теп- лый	Жилая комната	22-25	20-28	22-24	18-27	60-30	65	0,2	0,3

* НН – не нормируется

Примечание: Значения в скобках относятся к домам престарелых и инвалидов

Таблица 1.3

Оптимальные и допустимые значения параметров внутреннего микроклимата
общественных зданий [3]

Пе-риод года	Наименовани е помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движе- ния воздуха, м/с	
		опти- мальная	допусти- мая	опти- мальная	допусти- мая	опти- мальная	допусти- мая, не более	опти- мальная, не более	допусти- мая, не более
Хо- лод- ный	1 категория	20-22	18-24	19-20	17-23	45-30	60	0,2	0,3
	2 категория	19-21	18-23	18-20	17-22	45-30	60	0,2	0,3
	3а категория	20- 21	19- 23	19- 20	19-22	45- 30	60	0,2	0,3
	3б категория	14- 16	12- 17	13- 15	13-16	45- 30	60	0,2	0,3
	3в категория	18- 20	16- 22	17- 20	15-21	45- 30	60	0,2	0,3
	Продолжение таблицы 3								
	4 категория	17- 19	15- 21	16- 18	14-20	45- 30	60	0,2	0,3
	5 категория	20- 22	20- 24	19- 21	19-23	45- 30	60	0,15	0,2
	6 категория	16- 18	14- 20	15- 17	13-19	НН	НН	НН	НН
	Ванные, душевые	24- 26	18- 28	23- 25	17-27	НН	НН	0,15	0,2
Теплы й	Помещения с постоянным пребыванием людей	23- 25	18- 28	22- 24	19-27	60- 30	65	0,15	0,25

Таблица 1.4

Оптимальные и допустимые значения параметров внутреннего микроклимата
детских дошкольных учреждений [3]

Пе- риод года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движе- ния воздуха, м/с	
		опти- мальная	допусти- мая	опти- мальная	допусти- мая	опти- мальная	допусти- мая, не более	опти- мальная, не более	допусти- мая, не более
Хо- лод- ный	Групповая раздевалка и туалет: - для ясельных и младших групп - для средних и дошколь-ных групп	21-23	20-24	20-22	19-23	45-30	60	0,1	0,15
		19-21	18-25	18-20	17-24	45-30	60	0,1	0,15
	Спальня: - для ясельных и младших групп - для средних и дошколь-ных групп	20-22	19-23	19-21	18-22	45-30	60	0,1	0,15
		19-21	18-23	18-22	17-22	45-30	60	0,1	0,15
Теп- лый	Помещения с постоянным пребыванием людей	23-25	18-28	22-24	19-27	60-30	65	0,3	0,5

- расчетная влажность внутреннего воздуха по п. 5.7 [2] в соответствии с которым относительная влажность для определения точки росы следует принимать: для помещений жилых зданий, больничных учреждений, диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений и детских домов – 55%, для помещений кухонь – 60%, для ванных комнат – 65%, для подвалов с разводкой коммуникаций – 75%, для «теплых» чердаков жилых зданий – 55%; для помещений общественных зданий (кроме вышеперечисленных) – 50%);

- влажностный режим помещения по таблице 1.5 ([2, таблица 1]):

Таблица 1.5

ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЯ [2]

Режим	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °C		
	до 12	св.12 до 24	св.24
Сухой	до 60	до 50	до 40
Нормальный	св.60 до 75	св. 50 до 60	св.40 до 50
Влажный	св. 75	св. 60 до 75	св.50 до 60
Мокрый	-	св.75	св. 60

Пример определения расчетных параметров наружного климата района строительства

1. Средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 - $t_5^{92} = -31^{\circ}\text{C}$ (таблица 1).

2. Средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 - $t_1^{92} = -34^{\circ}\text{C}$ и обеспеченностью 0,98 - $t_1^{98} = -38^{\circ}\text{C}$ (таблица 1).

3. Средняя за сутки температура наружного воздуха, определяющая начало и конец отопительного периода. Так как проектируется административное здание, отопительный период принимается, как период со средней суточной температурой наружного воздуха $+8^{\circ}\text{C}$ и менее.

4. Средняя температура отопительного периода $t_{0.п} = -4,1^{\circ}\text{C}$ (таблица 1).

5. Продолжительность отопительного периода – $z_{o.п} = 215$ суток (таблица 1).
6. Зона влажности г. Нижний Новгород: 2 - нормальная (рисунок 1).
7. Расчетная скорость ветра для холодного периода $v_n = 5,1$ м/с (таблица 1).
8. Средняя скорость ветра за период со средней суточной температурой воздуха $+8$ °С и ниже $v = 3,7$ м/с (таблица 1).
9. Средняя температура каждого месяца и года, °С, [1] вписана в таблицу П-1:

Таблица П-1

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
$t_n, ^\circ\text{C}$	-11,8	-11,1	-5,0	4,2	12,0	16,4	18,4	16,9	11,0	3,6	-2,8	-8,9	3,6

10. Среднемесячное и годовое парциальное давление водяного пара, гПа, (таблица 1) занесено в таблицу П-2:

Таблица П-2

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
упругость в.п., гПа	2,5	2,5	3,6	6,0	8,7	12,0	14,8	13,7	10,1	6,6	4,5	3,2	7,3

Среднее за самый холодный месяц года (январь) парциальное давление водяного пара:

$$e_{n,1} = 2,5 \text{ гПа} = 250 \text{ Па} = 0,25 \text{ кПа};$$

11. Расчетная температура наружного воздуха для теплого периода года (таблица 1)

- по параметрам А - $t_{A,T} = 22,4$ °С – температура воздуха обеспеченностью 0,95;

- по параметрам Б - $t_{B,T} = 26,2$ °С - температура воздуха обеспеченностью 0,98.

12. Средняя суточная амплитуда температуры наиболее теплого месяца: $A_T = 9,3$ °С (таблица 1).

13. Расчетная скорость ветра для теплого периода года $v = 0$ м/с - минимальная из средних скоростей ветра за июль (таблица 1).

14. Расчетная удельная энтальпия воздуха для теплого периода года:

- по параметрам А - $I_{A,T} = 50,7$ кДж/кг (таблица 1);
- по параметрам Б - $I_{B,T} = 54,7$ кДж/кг (таблица 1).

15. расчетное барометрическое давление $P = 995,0$ гПа (таблица 1).

Пример определения параметров внутренних тепловлажностных условий

Для расчета сопротивления теплопередаче ограждений административного здания определяются:

- категория помещения по классификации ГОСТ 30494-96 [3] - категория 2, (прил. 3);
- расчетная температура внутреннего воздуха для выбора наружных ограждений
- $t_B = 19^\circ\text{C}$ для помещений категории 2;
- расчетная влажность внутреннего воздуха $\phi_B = 50\%$ (по п. 5.7 [2],
- влажностный режим помещения – сухой.

1.2. ТРЕБУЕМЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ

1.2.1. Требуемое сопротивление теплопередаче исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий в случаях реконструкции зданий, для которых по архитектурным или историческим причинам невозможно утепление стен снаружи, нормируемое значение сопротивления теплопередаче стен допускается определять по формуле (5.4) [2]:

$$R_{o.}^{TP} = \frac{(t_B - t_H)}{\Delta t^H \cdot \alpha_B} \quad (1.1)$$

где t_H - расчетная зимняя температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки $t_5^{0,92}$;

Δt^H - нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по таблице 5 [2] (таблица 1.6);

α_B - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения, по таблице 4 [2] (таблица 1.7). Для стен, полов и гладких потолков равен $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Таблица 1.6

НОРМИРУЕМЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПЕРЕПАД МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВНУТРЕННЕГО ВОЗДУХА И ТЕМПЕРАТУРОЙ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ [2] табл.5

Здания и помещения	Нормируемый температурный перепад $\Delta t_n, ^\circ\text{C}$, для		
	наружных стен	покрытий и чердачных перекрытий	перекрытий над проездами, подвалами и подпольями
Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	4,0	3,0	2,0
Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным и мокрым режимом	4,5	4,0	2,5

Таблица 1.7

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ [2]

№ п.п.№ п.п.	Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{int}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
1	Стен, полов, плоских потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты ребра h к расстоянию a между гранями соседних ребер $h/a \leq 0,3$	8,7
2	Потолков с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6
3	Окон	8,0
4	Зенитных фонарей	9,9

- для входных дверей требуемое сопротивление теплопередаче дверей и ворот должно быть не менее $0,6 \cdot R_o^{TP}$ стен зданий ([2] п.5.2.), где требуемое сопротивление теплопередаче наружной стены R_o^{TP} определено по формуле (1.1).

1.2.2. Требуемое сопротивление теплопередаче исходя из энергосбережения в течение отопительного периода определяются по таблице 3 [2] (таблице 1.8) в зависимости от функционального назначения здания и числа градусосутков отопительного периода, °С·сут, по формуле (5.2) [2]:

$$ГСОП = (t_B - t_{O.П.}) \cdot z_{O.П.} \quad (1.2)$$

Таблица 1.8

**НОРМИРУЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ
НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ [2] табл.4**

Здания и помеще- ния	Градусо- сутки отопи- тельного пе- риода D _d , °С·сут	Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструк- ций R ₀ ^{тр} , (м ² ·°С)/Вт				
		стен	покрытий	чердачных перекры-тий и над холодными подвалами	окон и балконных дверей, витрин и витражей	фонарей с вертикаль-ным остеклением
1. Жилые, лечебно- профилактические и детские учреждения школы, интернаты	2000	2,1	3,2	2,8	0,30	0,30
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,60	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,70	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12000	5,6	8,2	7,3	0,80	0,55
a	-	0,00035	0,005	0,00045	-	0,000025
b	-	1,4	2,2	1,9	-	0,25
2. Общественные, кроме указанных выше, администра- тивные и бытовые, производственные и другие помеще- ния с влажным или мокрым режимом	2000	1,8	2,4	2,0	0,3	0,3
	4000	2,4	3,2	2,7	0,4	0,35
	6000	3,0	4,0	3,4	0,5	0,4
	8000	3,6	4,8	4,1	0,6	0,45
	10000	4,2	5,6	4,8	0,7	0,5
	12000	4,8	6,4	5,5	0,8	0,55
a	-	0,0003	0,0004	0,00035	0,00005	0,000025
b	-	1,2	1,6	1,3	0,2	0,25
3. Производствен- ные с сухим и нормальным режимами	2000	1,4	2,0	1,4	0,25	0,2
	4000	1,8	2,5	1,8	0,30	0,25
	6000	2,2	3,0	2,2	0,35	0,3
	8000	2,6	3,5	2,6	0,40	0,35
	10000	3,0	4,0	3,0	0,45	0,4
	12000	3,4	4,5	3,4	0,50	0,45
a	-	0,0002	0,00025	0,0002	0,000025	0,000025
b	-	1,0	1,5	1,0	0,2	0,15

Для получения значений R₀^{тр} при величинах ГСОП, отличающихся от табличных, интерполяцию можно выполнять, используя формулу:

$$R_o^{TP} = a \cdot \Gamma \text{СОП} + b \quad (1.3)$$

где a , b – коэффициенты, значения которых принимаются по таблице 8 для соответствующих групп зданий, за исключением графы 6 для группы зданий 1, где для интервала до 6000 °С·сут $a=0,000075$, $b=0,15$, для интервала 6000 – 8000 °С·сут $a=0,00005$, $b=0,3$, для интервала свыше 8000 °С·сут $a=0,000025$, $b=0,5$.

Для внутренних ограждений, разделяющих помещения с температурой внутреннего воздуха, отличающейся друг от друга на 8 °С и более, требуемое сопротивление теплопередаче определяется по формуле (1.1), при меньшем перепаде температуры сопротивление теплопередаче внутренних ограждающих конструкций не нормируется.

Пример определения требуемого сопротивления теплопередаче исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий

Для административных зданий по строке 2 таблицы 1.6 величина $\Delta t''$ равна: для наружных стен 4,5 °С; покрытий и чердачных перекрытий 4,0 °С; перекрытий над не отапливаемыми подвалами 2,5 °С;

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения α_v по таблице 7 для стен, полов и гладких потолков равен 8,7 Вт/м²·°С.

- для наружной стены $R_o^{TP} = \frac{(19 + 31)}{4,5 \cdot 8,7} = 1,28 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$;

- требуемое сопротивление теплопередаче дверей и ворот:

$$R_o^{TP} = 0,6 \cdot 1,28 = 0,77 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Пример определения требуемого сопротивления теплопередаче исходя из энергосбережения в течение отопительного периода

Для функционального назначения здания – общественного, относящегося к категории 2 число градусосуток отопительного периода по формуле (1.2) равно:

$$ГСОП = (t_B - t_{o.п.}) \cdot z_{o.п.} = (19 + 4,1) \cdot 215 = 4967 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}.$$

С учетом интерполяции по числу градусосуток, требуемое сопротивление теплопередаче:

- для наружных стен $R_0^{TP} = 2,4 + (3 - 2,4) \cdot (4967 - 4000) / 2000 = 2,69 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт};$
- для бесчердачных покрытий $R_0^{TP} = 3,2 + (4 - 3,2) \cdot (4967 - 4000) / 2000 = 3,59 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт};$
- для чердачных перекрытий и перекрытий над холодными подвалами $R_0^{TP} = 2,7 + (3,4 - 2,7) \cdot (4967 - 4000) / 2000 = 3,04 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт};$
- для окон $R_0^{TP} = 0,4 + (0,5 - 0,4) \cdot (4967 - 4000) / 2000 = 0,45 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}.$

Требуемое сопротивление теплопередаче, принимаемое для проектирования зданий с расчетной температурой внутреннего воздуха выше 12 °С нормируется исходя из энергосбережения.

- для наружных стен $R_0^{TP} = 2,69 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт};$
- для бесчердачных покрытий $R_0^{TP} = 3,59 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт};$
- для чердачных перекрытий и перекрытий над холодными подвалами $R_0^{TP} = 3,04 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт};$
- для окон $R_0^{TP} = 0,45 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт};$
- для входных дверей $R_0^{TP} = 0,77 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}.$

Глава 2. Защитные свойства наружных ограждений

2.1. ПРИВЕДЕННОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ

Приведенное сопротивление теплопередаче непрозрачной неоднородной ограждающей конструкции

Требуется найти толщину утеплителя и определить приведенное сопротивление теплопередаче многослойной наружной стены с внутренними металлическими связями, указать строительный материал, его плотность и толщину каждого слоя.

2.1.1. Определение тепловлажностных условий эксплуатации ограждения

Сначала необходимо определить тепловлажностные условия эксплуатации ограждающих конструкций по таблице 2.1 (таблица 2 [2]), руководствуясь зоной влажностной района строительства (п.1.1.1) и влажностным режимом в здании (п.1.1.2).

Таблица 2.1

Условия эксплуатации ограждающих конструкций [2]

Влажностный режим помещений зданий	Условия эксплуатации А и Б в зоне влажности		
	сухой	нормальной	влажной
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б

2.1.2. Выбор теплотехнических характеристик материалов слоев ограждения

Теплотехнические показатели строительных материалов определяются по таблице Т1 приложения Т [2] (выдержки в таблице 2.2). Их следует занести в таблицу.

Таблица 2.2

Расчетные теплотехнические показатели строительных материалов [2]

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные значения (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)						
		плотность ρ_d , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°C)	теплопроводность λ_d , Вт/(м·°C)	массового отношения влаги в материале w , %		теплопроводности λ , Вт/(м·°C)		коэффициента теплоусвоения (при периоде 24 ч) ε , Вт/(м ² ·°C)		паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
					А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
1.	Плиты из пенополистирола Экструдированный пенополистирол	15-17	1,34	0,038	2	10	0,042	0,048	0,26	0,30	0,05
2.		25 - 30	1,34	0,036	2	10	0,038	0,044	0,31	0,38	0,05
3.		35 - 38	1,34	0,037	2	10	0,040	0,046	0,38	0,45	0,05
4.		25 - 33	1,34	0,029	1	2	0,030	0,031	0,30	0,31	0,05
5		35- 38	1,34	0,0230	1	2	0,031	0,032	0,35	0,36	0,05
6.	Плиты минераловатные из каменного волокна	180	0,84	0,038	2	5	0,045	0,048	0,74	0,81	0,3
7.		140– 175	0,84	0,037	2	5	0,043	0,046	0,68	0,75	0,31
8.		80 – 125	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,53	0,59	0,32
9.		40 – 60	0,84	0,035	2	5	0,041	0,044	0,37	0,41	0,35
10.		25 – 50	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,31	0,35	0,37
11.	Плиты из стеклянного штапельного волокна	85	0,84	0,044	2	5	0,046	0,05	0,51	0,57	0,5
12.		30	0,84	0,04	2	5	0,042	0,046	0,29	0,32	0,52
13.	Кладка из мелких ячеистобетонных блоков на цементно-песчаном растворе с толщиной растворных швов 12 мм	1060	0,84	0,30	6	8	0,35	0,37	4,76	4,89	0,11
14.		880	0,84	0,22	6	8	0,26	0,24	3,71	3,59	0,14
15		700	0,84	0,17	5	6	0,23	0,25	3,14	3,27	0,17
16.	Кладка из керамического пустотного плотностью 1400 кг/м ³ (брутто) (ГОСТ 530) на цементно-песчаном растворе	1600	0,88	0,47	1	2	0,58	0,64	7,91	8,48	0,14
17	Кладка из кирпича глиняного обыкновенного (ГОСТ 530) на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,56	1	2	0,7	0,81	9,2	10,12	0,11
18.	Железобетон	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	18,95	0,03
19.	Раствор цементно-песчаный	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,6	11,09	0,09
20	Раствор сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,7	0,87	8,95	10,42	0,098

21	Сосна и ель поперек волокон	500	2,3	0,09	15	20	0,14	0,18	3,87	4,54	0,06
22	Дуб поперек волокон	700	2,3	0,1	10	15	0,18	0,23	5,0	5,86	0,05
23	Плиты древесно-волоконистые и	600	2,3	0,11	10	12	0,13	0,16	3,93	4,43	0,13
24	древесно-стружечные (ГОСТ 4598, ГОСТ 10632)	400	2,3	0,08	10	12	0,11	0,13	2,95	3,26	0,19
25	Керамическая плитка	1000	0,88	0,25	1	2	0,42	0,46	5,20	5,75	0,14
26	Линолеум поливинилхлоридный на тканевой основе (ГОСТ 7251)	1800	1,47	0,35	0	0	0,35	0,35	8,22	8,22	0,002
27	Рубероид (ГОСТ 10923)	600	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	3,53	3,53	-

2.1.3. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены с учетом линейных и точечных неоднородностей

Расчет приведенного сопротивления теплопередачи ограждения основан на представлении этой конструкции в виде набора независимых элементов (например, стена и связи), каждый из которых влияет на тепловые потери через фрагмент. Удельные потери теплоты, обусловленные каждым элементом, находятся на основе сравнения потока теплоты через узел, содержащий элемент, и через тот же узел, но без исследуемого элемента. В соответствии с последними нормативными документами этот метод должен применяться к расчету всех наружных ограждающих конструкций. Но особенно он актуален в применении к наружным стенам.

Так как современные наружные стены зданий являются слоистыми конструкциями, между слоями имеются связи, которые можно в расчете представлять в виде штыря определенного диаметра, выполненного, как правило, из металла с большой теплопроводностью. Расстановка этих точечных связей по площади наружной стены может быть равномерной и неравномерной. Рассматрива-

емый метод состоит в учете дополнительных теплопотерь через одну связь определенного диаметра и материала и умножении этой добавки на число таких связей.

Примером линейной неоднородности является узел примыкания окна к стене, в котором одномерное температурное поле меняется на трехмерное. Протяженность каждого оконного откоса (периметр окна) считается достаточно длинной, чтобы не учитывать углы откосов. Тогда температурное поле откоса можно считать двухмерным (сечение поперек откоса). Определение дополнительных теплопотерь через поперечное сечение откоса на длине 1 м является промежуточной целью расчета. Результат получается умножением полученных дополнительных теплопотерь на длину всех откосов данной конструкции всех окон во фрагменте наружной стены.

Последовательность расчета такова:

1. Выделяют ограждающую конструкцию или ее фрагмент. Определяют его площадь. Перечисляют, из каких плоских элементов он состоит. Какие линейные теплотехнические неоднородности в этом фрагменте. Какие точечные теплотехнические неоднородности в этом фрагменте.

2. Определяют абсолютные размеры (геометрические характеристики) теплотехнических неоднородностей.

3. Определяют относительные геометрические характеристики.

4. Находят удельные потоки теплоты, обусловленные элементом:

Ψ_j – удельные потери теплоты через линейную неоднородность j -ого вида, Вт/(м°С), полученные расчетом двухмерного температурного поля, например, методом конечных разностей в прямоугольных координатах. При инженерном расчете принимается по СП 230.1325800.2015 [4] (таблица 2.3);

χ_k – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -го вида, Вт/°С, полученные расчетом трехмерного температурного поля, например, методом конечных разностей в цилиндрических координатах. При упрощенном расчете принимается по СП 230.1325800.2015 [4] (таблица 2.3).

5. С учетом требования равенства или превосходства значения приведенного сопротивления теплопередаче расчетной ограждающей конструкции над требуемым:

$$R_o^{np} \geq R_o^{mp} \quad (2.1)$$

по формуле (5) рассчитываем толщину утепляющего слоя:

$$\delta_{ym} \geq \lambda_{ym} \left[\frac{1}{\frac{1}{R_o^{mp}} - (\sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k)} - \left(\frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\alpha_n} \right) \right] \quad (2.2)$$

где R_o^{mp} –требуемое сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания либо выделенной ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

l_j – протяженность линейной неоднородности j -го вида, приходящаяся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, $\text{м}/\text{м}^2$;

Ψ_j – то же, что в предыдущем пункте;

n_k – количество точечных неоднородностей k -го вида, приходящихся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, $\text{шт}/\text{м}^2$;

χ_k – то же, что в предыдущем пункте;

α_{ϵ} - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, по таблице 4 [2];

Таблица 2.3

**Приближенные значения удельных потерь теплоты через точечные и линейные
неоднородности**

Узел	Детали	Удельные по- тери теплоты
Кронштейны вентфасада	Из коррозионностойкой стали, площадь сечения $<250 \text{ мм}^2$	$\chi = 0,02 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$
	Из коррозионностойкой стали, площадь сечения $\geq 250 \text{ мм}^2$ Из стали площадь сечения $<250 \text{ мм}^2$	$\chi = 0,04 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$
	Из стали площадь сечения $\geq 250 \text{ мм}^2$, но $<600 \text{ мм}^2$ Из алюминия площадь сечения $<250 \text{ мм}^2$	$\chi = 0,06 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$
	Из стали площадь сечения $\geq 600 \text{ мм}^2$ Из алюминия площадь сечения $\geq 250 \text{ мм}^2$, но $<600 \text{ мм}^2$	$\chi = 0,09 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$
Дюбели со сталь- ным сердечником	Диаметром $< 8 \text{ мм}$	$\chi = 0,006 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$
Откосы	Вентилируемый и штукатурный фасады утеплитель внахлест на раму	$\Psi = 0,1 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$
	Вентилируемый и штукатурный фасады утеплитель вровень с основанием	$\Psi = 0,18 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$
	Вентилируемый и штукатурный фасады утеплитель не закрывает полностью основание	$\Psi = 0,4 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$
	Однослойная стена – кладка из штучных материалов, тановка оконного блока в четверть	$\Psi = 0,11 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$
	Панель установка оконного блока в утеплитель	$\Psi = 0,08 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$
Стык многослойной стены с плитой пере- крытия или балко- ном (для стен с облиц- овкой из кирпичной кладки)	Перекрытие перфорированное	$\Psi = 0,3 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$
	Перекрытие не перфорированное	$\Psi = 0,8 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$
Стыки в трехслой- ных ж/б панелях	Нет разрыва утеплителя панелей в м естах их сопряжения	$\Psi = 0,15 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$
	Утеплитель разорван в местах их сопряжения панелей	$\Psi = 0,3 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$
Гибкие связи в трех- слойных ж/б панелях (на каждую единицу арматуры)	Связи из коррозионностойкой стали	$\chi = 0,015 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$
	Связи из стали диаметром $< 10 \text{ мм}$	$\chi = 0,025 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$
	Связи из стали диаметром $\geq 10 \text{ мм}$	$\chi = 0,04 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$
Стык перекрытия с парапетом и вентили- ационными, лиф-	Парапет и шахты утеплены	$\Psi = 0,1 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$

товыми, лестничными и др. шахтами.		
------------------------------------	--	--

α_n - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C), по таблице 6 [2].

$\delta_1, \delta_2, \dots$ – толщины всех слоев в ограждающей конструкции, кроме слоя утеплителя, м;

$\lambda_1, \lambda_2, \dots$ – теплопроводности всех слоев в ограждающей конструкции, кроме слоя утеплителя, Вт/(м·°C), определяемые принимаемая по результатам испытаний в аккредитованной лаборатории; при отсутствии таких данных расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м·°C) в зависимости от тепловлажностных условий эксплуатации ограждающей конструкции А или Б, принимается по [2].

Таблица 2.4

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции в холодный период года [2]

п.п.№ п.п.	Наружная поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи α_n , Вт/(м ² ·°C)
1	Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными подвалами (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне	23
2	Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне	17
3	Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	12
4	Перекрытий над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6
5	На поверхности конструкций, обращенной в сторону вентилируемой наружным воздухом прослойки	10,8

6. По формуле (2.3) рассчитывают приведенное сопротивление теплопередаче R_o^{np} , м² °C/Вт, ограждающей конструкции или ее фрагмента:

$$R_o^{np} = \frac{1}{\frac{1}{R_o^{ysl}} + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} \quad (2.3)$$

где: U_i - коэффициент теплопередачи однородной i -той части ограждающей конструкции или ее фрагмента (удельные потери теплоты через плоский элемент i -го вида), Вт/(м² °C).

$$U_i = \frac{1}{R_{o,i}^{ysl}} \quad (2.4)$$

$l_j, n_k, \chi_k, \psi_j, \alpha_6, \alpha_n$ – то же, что в формуле (2.2);

a_i – площадь плоского элемента конструкции i – го вида, приходящаяся на 1 м² фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, м²/м²:

$$a_i = \frac{A_i}{\sum A_i} \quad (2.5)$$

A_i – площадь i -той части фрагмента, м²;

$R_{o,i}^{ysl}$ - условное сопротивление теплопередаче однородной части ограждающей конструкции или ее фрагмента i -го вида, м² °C/Вт, которое определяется либо экспериментально либо расчетом по формуле:

$$R_{o,i}^{ysl} = \frac{1}{\alpha_6} + \sum_s R_{r,s} + \frac{1}{\alpha_n} \quad (2.6)$$

R_T - термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, (м²·°C)/Вт; определяемое для невентилируемых воздушных прослоек по таблице Е1 приложения Е [2]; для материальных слоев по формуле:

$$R_{r,s} = \frac{\delta_s}{\lambda_s} \quad (2.7)$$

здесь δ_s, λ_s – то же, что в формуле (2.2).

Определяется коэффициент теплотехнической однородности, r , вспомогательная величина, характеризующая эффективность утепления конструкции, по формуле:

$$r = \frac{R_o^{np}}{R_o^{ysl}} \quad (2.8)$$

Коэффициент теплопередачи стены, Вт/м²°С, находим по формуле:

$$K_{nc} = 1/R_o^{np} \quad (2.9)$$

Таблица 2.5

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек [2]

Толщина воздушной прослойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, $R_{e,n}$, м ² °C/Вт			
	горизонтальной при потоке теплоты снизу вверх и вертикальной		горизонтальной при потоке теплоты сверху вниз	
	при температуре воздуха в прослойке			
	положи- тельной	отрицательной	положи- тельной	отрицательной
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,2 – 0,3	0,15	0,19	0,19	0,24

Примечание: При наличии на одной или обеих поверхностях воздушной прослойки теплоотражающей алюминиевой фольги термическое сопротивление следует увеличить в два раза.

2.1.4. Определение распределения температуры по сечению наружной стены и на ее поверхностях

Связи практически изменяют сопротивления теплопередаче тех слоев, в которые они заложены. Однако считают, что сопротивление теплопередаче равномерно уменьшается в каждом слое и на поверхностях с коэффициентом пропорциональности, равным коэффициенту теплотехнической однородности $r = 0,83$.

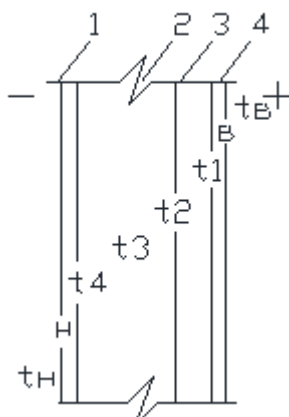


Рисунок 2.1 Схема обозначения температуры по сечению стены

Распределение температуры по толщине конструкции, схема которого представлена на рисунке (2.1) определяется по формуле:

$$t_x = t_B - \frac{R_x}{R_o^{III}} (t_B - t_H); \quad t_x = t_H + \frac{R_x}{R_o^{III}} (t_B - t_H) \quad (2.10)$$

Температура на внутренней поверхности наружного угла определяется по формуле [8]:

$$\tau_y = t_B - 0,75(R_B \cdot r / R_o^{III})^{2/3} \cdot (t_B - t_H) \quad (2.11)$$

Пример определения приведенного сопротивления теплопередаче непрозрачной неоднородной ограждающей конструкции

Рассматривается четырехслойная стена (рисунок П1), строительный материал, его плотность и толщина каждого слоя которой указаны в таблице П3 (нумерация слоев снаружи внутрь):

0,5 м – шаг раскладки гибких связей.

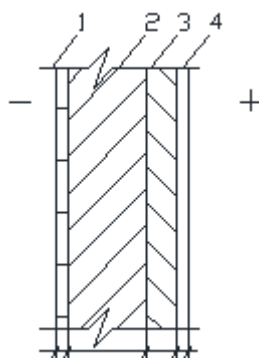


Рисунок П1. Схема сечения наружной стены (номера слоев соответствуют таблице П3)

Район строительства здания относится к нормальной влажностной зоне (п.1.1.1). В здании поддерживается сухой влажностный режим (п. 1.1.2).

По таблице 9 определяем, что при сухом влажностном режиме помещения и нормальной зоне влажности района строительства все ограждения объекта находятся в условиях эксплуатации, относящихся к градации А.

По таблице 10 находим теплотехнические показатели строительных материалов и заносим их в таблицу П3:

Таблица П3

Материал слоя	Плотность материала ρ_0 , кг/м ³	Толщина слоя δ , м	Удельная теплоемкость материала c_0 , кДж/(кг·°С)	Характеристики материалов		
				теплопроводность λ_A , Вт/(м·°С)	теплоусвоение S_A , Вт/(м ² ·°С)	паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
1. Штукатурка (сложный раствор)	1700	0,02	0,84	0,7	8,95	0,098
2. Плиты минераловатные из каменного волокна	125	?	0,84	0,042	0,53	0,32

3. Кладка из сплошного глиняного кирпича на цементно-песчанном растворе	1800	0,25	0,88	0,7	9,2	0,11
4. Штукатурка (цементно-песчаный раствор)	1800	0,02	0,84	0,76	9,6	0,09

Геометрические и конструктивные особенности рассчитываемого здания:

Периметр одного окна: 7 м.

Площадь окна: 3 м².

Количество окон в здании: 20 шт.

Суммарная длина оконных откосов: 140 м.

Суммарная площадь окон: 60 м².

Периметр одной двери: 5,8 м.

Площадь двери: 1,8 м².

Количество дверей: 2 шт.

Суммарная длина дверных откосов: 11,6 м.

Суммарная площадь дверей: 3,6 м².

Общая площадь фасада (с учетом площади занимаемой оконными и дверными проемами)/(без учета окон и дверей): 889,2/825,6 м².

Отапливаемый объем: 3330 м³.

Количество дюбелей для крепления теплоизоляции : 5 шт на 1 м².

Удельные потери теплоты (таблица 11):

- через оконные и дверные откосы: $\Psi=0,18 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C})$;

- через дюбели: $\chi=0,006 \text{ Вт}/^\circ\text{C}$.

Общая протяженность линейных неоднородностей (дверных и оконных откосов): 140+11,6=151,6 м.

Протяженность линейных неоднородностей на 1 м² фасада определяется как отношение общей протяженности линейных неоднородностей к общей площади фасада без учета окон и дверей: $l_j = 151,6/825,6 = 0,184$ м/м².

Количество точечных неоднородностей (дюбелей) на 1 м² фасада $n_k = 5$ шт/м².

Площадь глади стены считаем без иных плоских элементов, тогда $A_i = \Sigma A_i$.

$$a_i = 1 \text{ м}^2/\text{м}^2.$$

Толщина теплоизоляционного слоя по формуле (5):

$$\delta_{yt} \geq 0,042 \cdot \left[\frac{1}{\frac{1}{2,69} - (0,184 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,006)} - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{1}{23} \right) \right] = 0,112 \text{ м}.$$

С учетом номенклатурного ряда теплоизоляционных изделий принимаем толщину теплоизоляционного слоя: 0,11 м, т. к. отбрасываемые 2 мм толщины утеплителя составляют менее 2% (допустимо).

Коэффициент теплопередачи однородной части наружной стены здания по формулам (7) и (9):

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,11}{0,042} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{1}{23}} = \frac{1}{3,189} = 0,314 \text{ Вт/м}^2\text{°С}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены здания по формуле 6:

$$R_o^{np} = 1/(1 \cdot 0,314 + 0,18 \cdot 0,184 + 5 \cdot 0,006) = 2,65 \text{ м}^2\text{°С/Вт}.$$

Для наружной стены здания $R_{o,nc}^{np} = 2,65 \text{ м}^2\text{°С/Вт} < R_o^{mp} = 2,69 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$, но величина снижения приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены по сравнению с требуемым сопротивлением теплопередаче составляет менее 2% (допустимо).

Коэффициент теплотехнической однородности по формуле (11):

$$r = 2,65/3,19 = 0,83.$$

Коэффициент теплопередачи стены по формуле (12):

$$K_{nc} = 1 / 2,65 = 0,377 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}).$$

Пример определения распределения температуры в толще стены и на ее поверхностях при температуре наружного воздуха, равной $t_5^{0,92} = -31^\circ\text{C}$.

Связи практически изменяют сопротивления теплопередаче трех слоев 1,2,3. Однако будем считать, что сопротивление теплопередаче равномерно уменьшается в каждом слое и на поверхностях с коэффициентом пропорциональности, равным коэффициенту теплотехнической однородности $r = 0,83$.

$$\tau_B = t_B - \frac{R_B^{VCL} \cdot r}{R_o^{PP}} (t_B - t_H) = 19 - \frac{1/8,7 \cdot (19 + 31) \cdot 0,83}{2,65} = 17,2 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_1 = t_B - \frac{(R_B^{VCL} + R_4^{VCL}) \cdot r}{R_o^{PP}} (t_B - t_H) = 19 - \frac{(1/8,7 + 0,02/0,76) \cdot 0,83}{2,65} \cdot 50 = 16,8 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_2 = t_B - \frac{(R_B^{VCL} + R_4^{VCL} + R_3^{VCL}) \cdot r}{R_o^{PP}} (t_B - t_H) = \\ = 19 - \frac{(1/8,7 + 0,02/0,76 + 0,25/0,7) \cdot 0,83}{2,65} \cdot 50 = 11,2 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_3 = t_H + \frac{(R_H^{VCL} + R_1^{VCL} + R_2^{VCL} / 2) \cdot r}{R_o^{PP}} (t_B - t_H) = \\ -31 + \frac{[1/23 + 0,02/0,7 + 0,11/(2 \cdot 0,042)] \cdot 0,83}{2,65} \cdot 50 = -9,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_4 = t_H + \frac{(R_H^{VCL} + R_1^{VCL}) \cdot r}{R_o^{PP}} (t_B - t_H) = -31 + \frac{[1/23 + 0,02/0,7] \cdot 0,83}{2,65} \cdot 50 = -29,9 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_{H.П.} = t_H + \frac{R_H \cdot r}{R_o^{PP}} (t_B - t_H) = -31 + \frac{1/23 \cdot 0,83}{2,65} \cdot 50 = -30,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Таким образом, значения температуры во всех интересующих сечениях при температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 - $t_5^{0,92} = -31^{\circ}\text{C}$, найдены. Убедимся в том, что наибольший темп падения температуры происходит в слое утеплителя (наиболее крутая линия), построив график (рисунок П2) распределения температуры в сечении стены в М 1:10.

По температуре масштаб удобно принять таким, чтобы по вертикали рисунок занимал около 8-15 см. В нашем случае удобно принять в 1 см 5°C .

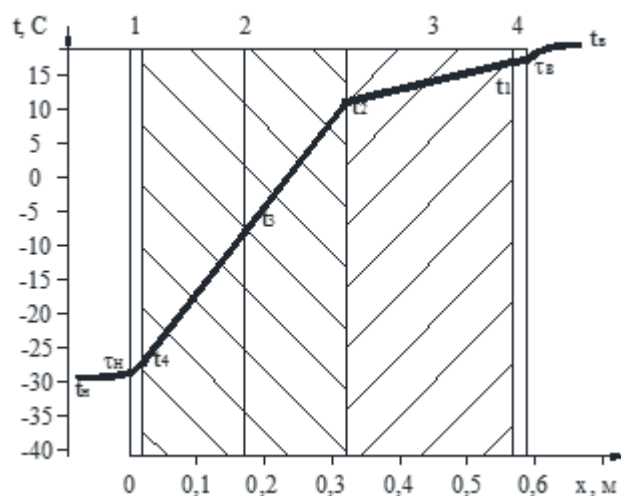


Рисунок П2. Распределение температуры по сечению наружной стены

Температура на внутренней поверхности наружного угла определяется по формуле (14):

$$t_{\text{уг}} = 19 - 0,75 \cdot (0,115 \cdot 0,83 / 2,65)^{2/3} (19 + 31) = 14,9^{\circ}\text{C}.$$

2.2. ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ

2.2.1. Проверка возможности конденсации водяного пара на внутренней поверхности глади наружной стены и в наружном углу, а также в толще наружной стены

Условием выпадения конденсата является формирование температуры на какой-либо поверхности или в толще ограждения ниже точки росы. Иначе то же

самое условие может формулироваться, как получение в расчете парциального давления водяных паров в какой-либо точке ограждения, которое превосходит по величине давление насыщенного водяного пара при той же температуре, чего не может быть. Это свидетельствует о том, что мы имеем дело не с паром, а со сконденсировавшейся водой.

Так как влажностные процессы протекают медленно и не успевают реагировать на короткие изменения температуры наружного воздуха, в качестве расчетного, наиболее опасного периода с точки зрения возможности выпадения конденсата, принимают наиболее холодный месяц года. Расчет выполняют по средним показателям этого месяца. Однако, в связи с тем, что средние за месяц температура и парциальное давление водяного пара усредняются порознь, и относительная влажность в холодный период года довольно высока, часты случаи, когда среднее за месяц парциальное давление водяного пара оказывается выше давления насыщения водяного пара при среднемесячной температуре наружного воздуха. Для устранения физически неприемлемой ситуации в расчет принимается парциальное давление водяного пара, которое не превышает максимально возможное парциальное давление водяного пара при среднемесячной температуре.

Последовательность расчета следующая.

1. Определяется распределение температуры по сечению ограждающей конструкции, схема обозначений которой приведена на рисунке 2, при температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодного месяца – января.

2. Определяем парциальное давление водяных паров влажного воздуха в состоянии насыщения соответствующее температуре в расчетных сечениях наружной стены по таблице Р1 Приложения Р [5], (таблица 14).

3. Определяем парциальное давление водяного пара в наружном и внутреннем воздухе по формуле:

$$e = E \cdot \varphi \quad (2.12)$$

где φ - относительная влажность воздуха.

4. Находим температуру, при которой из внутреннего воздуха начинает выпадать конденсат (точку росы). Для этого по таблице 2.6 определим температуру, при которой найденное парциальное давление водяного пара e_v является давлением насыщения.

Таблица 2.6.

Значения парциального давления насыщенного водяного пара e , Па, при барометрическом давлении 100,7 кПа [5]

t, °C	E, Па	t, °C	E, Па	t, °C	E, Па	t, °C	E, Па	t, °C	E, Па	t, °C	E, Па
-25	63	-9	284	-1	563	7	1001	15	1705	23	2809
-24	69	-8,5	296	-0,5	586	7,5	1037	15,5	1761	23,5	2894
-23	77	-8	310	0	611	8	1072	16	1817	24	2984
-22	85	-7,5	324	0,5	633	8,5	1109	16,5	1877	24,5	3074
-21	93	-7	338	1	657	9	1148	17	1937	25	3168
-20	103	-6,5	354	1,5	681	9,5	1188	17,7	2000	25,5	3262
-19	113	-6	369	2	705	10	1228	18	2064	26	3363
-18	125	-5,5	385	2,5	732	10,5	1269	18,5	2129	26,5	3461
-17	137	-5	402	3	759	11	1312	19	2197	27	3567
-16	151	-4,5	419	3,5	785	11,5	1355	19,5	2266	27,5	3672
-15	165	-4	437	4	813	12	1403	20	2338	28	3782
-14	181	-3,5	456	4,5	843	12,5	1449	20,5	2412	28,5	3890
-13	199	-3	476	5	872	13	1497	21	2488	29	4005
-12	217	-2,5	495	5,5	904	13,5	1547	21,5	2564	29,5	4122
-11	237	-2	517	6	935	14	1599	22	2644	30	4246
-10	260	-1,5	540	6,5	968	14,5	1651	22,5	2725	30,5	4366

5. Определяем общее сопротивление паропрооницанию наружной стены, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, по формуле:

$$R_{o,\Pi} = R_{\Pi.B.} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} + R_{\Pi.H} \quad (2.13)$$

где $R_{\Pi.B.}$ и $R_{\Pi.H.}$ – сопротивления влагоотдаче на внутренней и наружной поверхностях стены, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$. $R_{\Pi.B.} = 0,0267 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$; $R_{\Pi.H.} = 0,0052 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$;

μ_i – паропроницаемость материала слоя i , мг/(м·ч·Па).

Если в конструкции наружного ограждения имеются тонкие слои пароизоляции или гидроизоляции, их сопротивление паропроницанию принимается по приложению Ш [5].

6. Находим интенсивность потока водяного пара, мг/(м²·ч):

$$g = \frac{e_B - e_H}{R_{o,П}} \quad (2.14)$$

где e_B и e_H – парциальные давления водяного пара во внутреннем и наружном воздухе, Па.

Таблица 2.7.

Сопротивление паропроницанию листовых материалов и тонких слоев пароизоляции [5]

Материал	Толщина слоя, мм	Сопротивление паропроницанию $R_{п}$, м ² ·ч·Па/мг
1. Картон обыкновенный	1,3	0,016
2. Листы асбестоцементные	6	0,3
3. Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	10	0,12
4. Листы древесно-волокнистые жесткие	10	0,11
5. Листы древесно-волокнистые мягкие	12,5	0,05
6. Окраска горячим битумом за один раз	2	0,3
7. Окраска горячим битумом за два раза	4	0,48
8. Окраска масляная за два раза с предварительной шпатлевкой и грунтовкой	-	0,64
9. Окраска эмалевой краской	-	0,48
10. Покрытие изольной мастикой за один раз	2	0,60
11. Покрытие битумно-кукерсольной мастикой за один раз	1	0,64
12. Покрытие битумно-кукерсольной мастикой за два раза	2	1,1
13. Пергамин кровельный	0,4	0,33
14. Полиэтиленовая пленка	0,16	7,3
15. Рубероид	1,5	1,1
16. Толь кровельный	1,9	0,4
17. Фанера клееная трехслойная	3	0,15

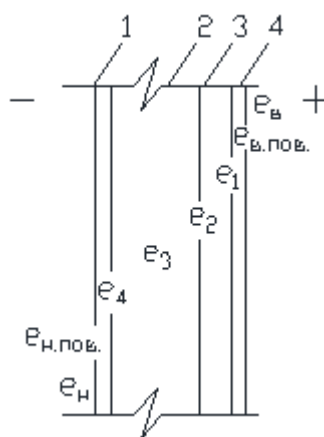


Рисунок 2.2. Схема обозначений распределения парциальных давлений водяного пара в сечении наружной стены

7. Определяем распределение парциального давления водяного пара по сечению стены, схема обозначений которых приведена на рисунке 3, при температуре наружного воздуха, равной средней температуре, °С, января $t_n = t_{я}$. Парциальное давление водяного пара в любой точке x в сечении стены рассчитывается по формулам (18):

$$e_x = e_B - \frac{R_{o,П,x-в}}{R_{o,П}} \cdot (e_B - e_H); \quad e_x = e_H + \frac{R_{o,П,x-н}}{R_{o,П}} \cdot (e_B - e_H) \quad (2.15)$$

где $R_{o,П,x-в}$ и $R_{o,П,x-н}$ – сопротивления паропрооницанию части наружной стены от рассматриваемой точки до внутреннего и наружного воздуха, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

Пример проверки возможности конденсации водяного пара на внутренней поверхности глади наружной стены и в наружном углу, а также в толще наружной стены

1. Определяем распределение температуры по сечению стены, схема обозначений которой приведена на рисунке 2, при температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодного месяца - января $t_n = t_{я} = -11,8$ °С:

$$\tau_B = t_B - \frac{R_B^{VCL} \cdot r}{R_o^{ПП}} (t_B - t_H) = 19 - \frac{1/8,7 \cdot (19 + 11,8) \cdot 0,83}{2,65} = 17,7 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_1 = t_B - \frac{(R_B^{VCL} + R_4^{VCL}) \cdot r}{R_o^{ПП}} (t_B - t_H) = 19 - \frac{(1/8,7 + 0,02/0,76) \cdot 0,83}{2,65} \cdot 30,8 = 17,6 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_2 = t_B - \frac{(R_B^{VCL} + R_4^{VCL} + R_3^{VCL}) \cdot r}{R_o^{ПП}} (t_B - t_H) = 19 - \frac{(1/8,7 + 0,02/0,76 + 0,25/0,7) \cdot 0,83}{2,65} \cdot 30,8 = 14,2 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_3 = t_H + \frac{(R_H^{VCL} + R_1^{VCL} + R_2^{VCL} / 2) \cdot r}{R_o^{ПП}} (t_B - t_H) = -11,8 + \frac{[1/23 + 0,02/0,7 + 0,11/(2 \cdot 0,042)] \cdot 0,83}{2,65} \cdot 30,8 = 1,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_4 = t_H + \frac{(R_H^{VCL} + R_1^{VCL}) \cdot r}{R_o^{ПП}} (t_B - t_H) = -11,8 + \frac{[1/23 + 0,02/0,7] \cdot 0,83}{2,65} \cdot 30,8 = -11,1 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_{H.П.} = t_H + \frac{R_H \cdot r}{R_o^{ПП}} (t_B - t_H) = -11,8 + \frac{1/23 \cdot 0,83}{2,65} \cdot 30,8 = -11,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

2. Определяем парциальное давление водяного пара влажного воздуха в состоянии насыщения соответствующее температуре в расчетных сечениях наружной стены по таблице 17: $E_B = 2197 \text{ Па}$; $E_{B.П.} = 2025 \text{ Па}$; $E_1 = 2013 \text{ Па}$; $E_2 = 1620 \text{ Па}$; $E_3 = 681 \text{ Па}$; $E_4 = 239 \text{ Па}$; $E_{H.П.} = 230 \text{ Па}$; $E_H = 220 \text{ Па}$.

3. Определяем парциальное давление водяного пара в наружном и внутреннем воздухе по формуле (15) с учетом того, что $\varphi_B = 55\%$:

$$e_B = 2197 \cdot 0,55 = 1208 \text{ Па};$$

Так как среднее за январь парциальное давление водяного пара $e_H = 250 \text{ Па}$ (таблица П2) больше давления насыщения водяного пара при средней за январь температуре $E_H = 220 \text{ Па}$, для дальнейших расчетов принимаем $e_H = 220 \text{ Па}$.

4. Находим температуру, при которой из внутреннего воздуха начинает выпадать конденсат (точку росы). Для этого по таблице 14 определим температуру, при которой найденное парциальное давление водяного пара $e_B = 1208 \text{ Па}$ является давлением насыщения, то есть при $E = 1208 \text{ Па}$ $t = 9,7 \text{ } ^\circ\text{C}$. Таким образом, точка росы $t_p = 9,7 \text{ } ^\circ\text{C}$. Так как при температуре наиболее холодной пятидневки температура внутренней поверхности наружной стены $\tau_B = 17,3 \text{ } ^\circ\text{C}$

(п.2.1.4) и внутренней поверхности наружного угла $t_y=14,9^{\circ}\text{C}$ (п.2.1.4) выше, чем $t_p = 9,7^{\circ}\text{C}$:

$$\tau_B = 17,3^{\circ}\text{C} > t_p = 9,7^{\circ}\text{C};$$

$$t_y = 14,9^{\circ}\text{C} > t_p = 9,7^{\circ}\text{C},$$

можно быть уверенным в том, что выпадения конденсата на этих поверхностях не будет.

5. Определяем общее сопротивление паропроницанию наружной стены по формуле (16):

$$R_{o,II} = 0,0267 + \frac{0,02}{0,098} + \frac{0,11}{0,32} + \frac{0,25}{0,11} + \frac{0,02}{0,09} + 0,0052 = 3,07 \text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{мг}.$$

6. Находим интенсивность потока водяного пара по формуле (17):

$$g = \frac{1208 - 220}{3,07} = 322 \text{ мг}/(\text{м}^2\cdot\text{ч}).$$

7. Определяем распределение парциального давления водяного пара по сечению стены при $t_H = t_J = -11,8^{\circ}\text{C}$:

$$e_{B,II} = e_B - (R_{II,B}/R_{o,II})(e_B - e_H) = 1208 - (0,0267 / 3,07)(1208 - 220) = 1208 \text{ Па};$$

$$e_1 = e_B - \frac{R_{II,B} + R_{II,4}}{R_{o,II}} \cdot (e_B - e_H) = 1208 - \frac{0,0267 + 0,02/0,09}{3,07} \cdot 988 = 1128 \text{ Па};$$

$$e_2 = e_B - \frac{R_{II,B} + R_{II,4} + R_{II,3}}{R_{o,II}} \cdot (e_B - e_H) = 1208 - \frac{0,0267 + 0,02/0,09 + 0,25/0,11}{3,07} \cdot 988 = 396 \text{ Па};$$

$$e_3 = e_H + \frac{R_{II,H} + R_{II,1} + R_{II,2}/2}{R_{o,II}} \cdot (e_B - e_H) = 220 + \frac{0,0052 + 0,02/0,098 + 0,11/(2 \cdot 0,32)}{3,07} \cdot 988 = 343 \text{ Па};$$

$$e_4 = e_H + \frac{R_{II,H} + R_{II,1}}{R_{o,II}} \cdot (e_B - e_H) = 220 + \frac{0,0052 + 0,02/0,098}{3,07} \cdot 988 = 287 \text{ Па};$$

$$e_{H,II} = e_H + \frac{R_{II,H}}{R_{o,II}} \cdot (e_B - e_H) = 220 + \frac{0,0052}{3,07} \cdot 988 = 222 \text{ Па}.$$

Полученные результаты расчета сведем в таблицу П4:

Таблица П4

Сечение	Температура, °С	Давление насыщения, Па	Парциальное давление, Па
внутренний воздух	19,0	2197	1208
внутренняя поверхность	17,7	2025	1208
1	17,6	2013	1128
2	14,2	1620	396
3	1,5	681	343
4	-11,1	239	287
наружная поверхность	-11,4	230	222
наружный воздух	-11,8	220	220

То, что в сечении между наружной штукатуркой и утеплителем парциальное давление водяного пара превысило максимально возможную величину для соответствующей температуры (давление насыщения), свидетельствует о возможности конденсации водяного пара в толще ограждения (сечение 4: 287 Па > 239 Па). Вопрос о необходимости дополнительной пароизоляции с внутренней стороны наружной стены должен быть решен на основе расчета требуемых сопротивлений паропрооницанию ограждения между внутренней поверхностью и плоскостью возможной конденсации по СП 50.13330.2012.

По полученным в таблице данным построим график (рисунок П3) распределения температуры, парциального давления и давления насыщения в сечении стены М 1:10, по температуре масштаб удобно принять таким, чтобы по вертикали график температуры занимал около 8-15 см. В нашем случае удобно принять в 1 см 5 °С. По парциальному давлению удобно принять масштаб в 1 см 100 Па. Допустимо, чтобы графики температуры и парциального давления накладывались друг на друга, т.к. они выполняются в разных шкалах. Можно каждый из трех графиков представить разными цветами.

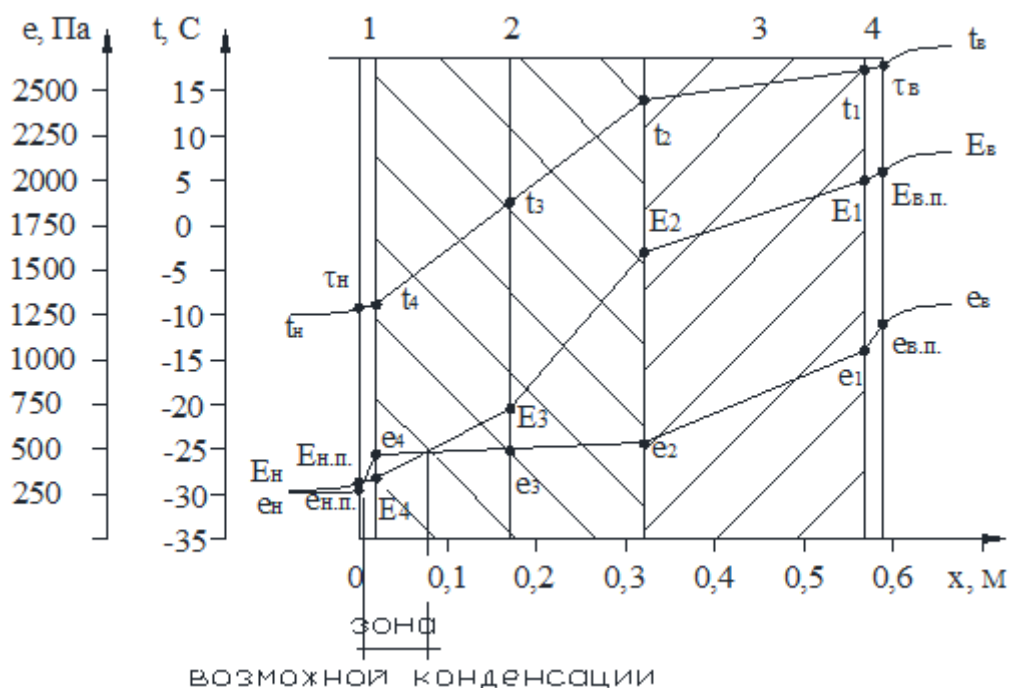


Рисунок ПЗ. К определению возможной конденсации в наружной стене

2.3. ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ

2.3.1 Выбор конструкции окна

Для установки в здании принимают по таблице 2.8 конструкцию окна с R_o^{PP} сопротивлением теплопередаче, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, равным R_o^{TP} требуемому (или ближайшим большим) по таблице Л1 приложения Л [5].

Таблица 2.8.

Приведенное сопротивление теплопередаче окон [5]

Заполнение светового проема	Приведенное сопротивление теплопередаче R_o , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$	
	в деревянных или ПВХ переплетах	в алюминиевых переплетах
1. Двойное в спаренных переплетах остекление из стекла - обычного	0,4	-
- с твердым селективным покрытием	0,55	-
2. Двойное в отдельных переплетах остекление из стекла - обычного	0,44	0,34
- с твердым селективным покрытием	0,57	0,45
3. Тройное в раздельно-спаренных переплетах остекление из стекла - обычного	0,55	0,46
- с твердым селективным покрытием	0,60	0,50

4. Однокамерный стеклопакет из стекла: - обычного	0,35	0,34
- с твердым селективным покрытием	0,51	0,43
- с мягким селективным покрытием	0,56	0,47
5. Двухкамерный стеклопакет из стекла:		
- обычного (с межстекольным расстоянием 6 мм)	0,50	0,43
- обычного (с межстекольным расстоянием 12 мм)	0,54	0,45
- с твердым селективным покрытием	0,58	0,48
- с мягким селективным покрытием	0,68	0,52
- с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,65	0,53
6. Обычное стекло и однокамерный стеклопакет в раздельных переплетах из стекла: - обычного	0,56	0,50
- с твердым селективным покрытием	0,65	0,56
- с мягким селективным покрытием	0,72	0,60
- с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,69	0,60
7. Обычное стекло и двухкамерный стеклопакет в раздельных переплетах из стекла:		
- обычное	0,65	-
- с твердым селективным покрытием	0,72	-
- с мягким селективным покрытием	0,80	-
- с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,82	-
8. Два однокамерных стеклопакета в спаренных переплетах	0,70	-
9. Два однокамерных стеклопакета в раздельных переплетах	0,74	-
10. Четырехслойное остекление в двух спаренных переплетах	0,80	-

С целью определения требуемого сопротивления воздухопроницанию сначала находится ΔP , Па – разность давлений воздуха по обе стороны окна первого этажа по формуле (7.2) [2]:

$$\Delta P = 0,55H(\gamma_H - \gamma_B) + 0,03\gamma_H v^2 \quad (2.16)$$

где H - высота здания от нижней отметки входа в здание до верха вентиляционной шахты;

γ_H, γ_B - удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м³, определяются в зависимости от наружной и внутренней температур по формуле (7.3) [2]:

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t} \quad (2.17)$$

v - расчетная скорость ветра для холодного периода, как максимальная из средних скоростей по румбам за январь, повторяемость которой не ниже 16%.

Показателем необходимой плотности окна является требуемое сопротивление воздухопроницанию R_u^{tp} , м²·°C/кг, (формула (7.5) [2]):

$$R_u^{tp} = \frac{1}{G^H} \left(\frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^{2/3} \quad (2.18)$$

Таблица 2.9.

Нормируемая воздухопроницаемость ограждающих конструкций [2]

№п.п. № п.п.	Ограждающие конструкции	Воздухопроницаемость G^H , кг/(м ² ·ч)
1	Наружные стены, покрытия и перекрытия жилых, общественных, административных и бытовых зданий и помещений	0,5
2	Наружные стены, перекрытия и покрытия производственных зданий и помещений	1,0
3	Стыки между панелями наружных стен: а) жилых зданий б) производственных зданий	0,5* 1,0*
4	Входные двери в квартиры	1,5
5	Входные двери в жилые, общественные и бытовые здания	7,0
6	Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений в деревянных переплетах; окна и фонари производственных зданий с кондиционированием воздуха	6,0
7	Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений в пластмассовых или алюминиевых переплетах.	5,0
8	Окна, двери и ворота производственных зданий	8,0
9	Фонари производственных зданий	10,0
* в кг/(м·ч)		

где G^H - нормативная воздухопроницаемость окна, кг/(ч·м²), принимаемая в зависимости от конструкции окна, витража, витрин по таблице 9 [2] (таблица 17);
 ΔP_0 - разность давлений воздуха по обе стороны окна, при которой проводятся исследования воздухопроницаемости окон, $\Delta P_0 = 10$ Па.

Необходимо чтобы фактическое сопротивление воздухопроницанию окна R_u^{ϕ} было равно или больше требуемого $R_u^{\phi} \geq R_u^{mp}$. Поэтому значение сопротивления воздухопроницанию, которое принимается в качестве установочного - фактического, берется несколько большим, чем требуемое.

Пример выбора заполнения светопроема.

Заказчиком согласованы окна в металлических переплетах. В соответствии с предыдущими расчетами требуемое сопротивление теплопередаче для окна равно $R_o^{TP} = 0,45 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$.

Для установки в административном здании принимаем по таблице 16 окно из двухкамерного стеклопакета с межстекольным расстоянием 12 мм в алюминиевых переплетах. Приведенное сопротивление выбранного окна $R_o^{TP} = 0,45 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$.

Коэффициент теплопередачи окна $K=1/0,45=2,22 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$.

Определяем ΔP , Па – разность давлений воздуха по обе стороны окна первого этажа по формуле (19):

$$\Delta P = 0,55 \cdot 15,3 \cdot (14,3 - 11,9) + 0,03 \cdot 14,3 \cdot 5,1^2 = 31,4 \text{ Па}.$$

где H - высота здания от нижней отметки входа в здание до верха вентиляционной шахты; в нашем случае трехэтажного здания с расстоянием от пола I этажа до пола II этажа - 4,2 м и расстоянием от пола II и III этажей до пола вышележащих этажей – соответственно, 3,25 м и 3,35 м, с высотой вентиляционной шахты 3,5 м и отметкой низа входа (земли): -1 м:
 $H=1+4,2+3,25+3,35+3,5=15,3 \text{ м};$

γ_H, γ_B - удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м^3 , определяются по формуле (20):

$$\text{для внутреннего воздуха } \gamma = 3463 / (273 + t_B) = 3463 / (273 + 19) = 11,9 \text{ Н/м}^3;$$

для наружного воздуха $\gamma = 3463 / (273 + t_5^{0,92}) = 3463 / (273 - 31) = 14,3 \text{ Н/м}^3$;

v - расчетная скорость ветра для холодного периода $v = v_H = 5,1 \text{ м/с}$.

Требуемое сопротивление воздухопроницанию по формуле (21):

$$R_H^{TP} = (1/5) \cdot (31,4/10)^{2/3} = 0,429 \text{ м}^2\text{ч/кг},$$

где G^H - нормативная воздухопроницаемость окна в алюминиевых переплетах для жилых и общественных зданий, $G^H = 5 \text{ кг/(ч·м}^2\text{)}$ по таблице 17;

ΔP_0 - разность давлений воздуха по обе стороны окна, при которой проводятся исследования воздухопроницаемости окон, $\Delta P_0 = 10 \text{ Па}$.

Принимаем фактическое сопротивление воздухопроницанию $R_u^\phi = 0,44 \text{ м}^2\text{ч/кг}$ (больше требуемого) и требуем от заказчика закупки окон, в которых по сертификату сопротивление воздухопроницанию не меньше принятого $R_u^\phi = 0,44 \text{ м}^2\text{ч/кг}$ и используемого в дальнейших расчетах.

Глава 3. Стационарная теплопередача

3.1. Инженерные методы расчета сопротивления теплопередачи через сложное наружное ограждение

3.1.1. Расчет сопротивления теплопередаче ограждения методом сложения проводимостей

Пустотная панель перекрытий имеет сквозные (по длине) отверстия. В результате этого в панели формируется двумерное температурное поле. Размеры панели и пустот в ней представлены на рисунке 4.

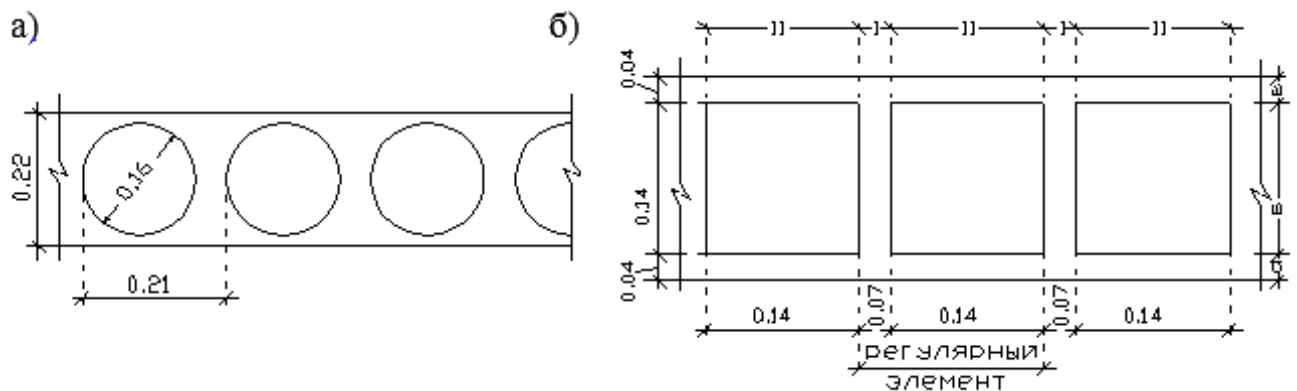


Рисунок 4. К расчету пустотной плиты перекрытия: а) разрез по фрагменту плиты; б) расчетная схема плиты с выделенным регулярным элементом

Для простоты расчета принимаем схему сечения плиты с квадратными вместо круглых отверстиями в плите. Сторона эквивалентного по площади квадрата ($A_{\text{КВАДРАТА}} = A_{\text{КРУГА}}$) равна:

$$a = \sqrt{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \text{ м} \quad (22)$$

Выделяем регулярный элемент. Делим его плоскостями параллельными тепловому потоку (смотрите на схеме). Получаем два параллельных участка: I и II. Участок I однородный, участок II - неоднородный, состоящий из двух

одинаковых по толщине слоев a и b и горизонтальной воздушной прослойки. Сопротивления теплопередаче, $\text{м}^2\text{°C/Вт}$, этих участков равны:

$$R_I = \delta_1 / \lambda_1 \quad (23)$$

$$R_{II} = R_A + R_{\text{ВОЗД.ПР}} + R_B = 2R_A + R_{\text{ВОЗД.ПР}} = 2 \cdot d_A / \lambda_A + R_{\text{ВОЗД.ПР}} \quad (24)$$

Термическое сопротивление воздушной прослойки $R_{\text{ВОЗД.ПР}}$, определяем по таблице 13 с учетом того, что в панели чердачного перекрытия горизонтальная воздушная прослойка с потоком тепла снизу вверх отделена от холодного чердака слоем утеплителя, поэтому в ней воздух находится при положительной температуре. В панели перекрытия над неотапливаемым подвалом, если утеплитель лежит под железобетонной плитой, горизонтальная воздушная прослойка отделена от холодного техподполья слоем утеплителя, поэтому в ней воздух находится при положительной температуре, тепловой поток направлен сверху вниз.

Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2\text{°C/Вт}$, всего регулярного элемента при разбивке его плоскостями, параллельными тепловому потоку:

-для чердачного перекрытия:

$$R_{\text{ПАРАЛЛ.}} = \frac{A_I + A_{II}}{A_I / R_I + A_{II} / R_{II}} \quad (25)$$

-для перекрытия над подвалом:

$$R_{\text{ПАРАЛЛ.}} = \frac{A_I + A_{II}}{A_I / R_I + A_{II} / R_{II}} \quad (26)$$

здесь A_I и A_{II} – площади I и II участков в регулярном элементе плиты шириной 1 м, м^2 .

Делим регулярный элемент плоскостями перпендикулярными тепловому потоку (на схеме справа). Получаем три параллельных участка: а, б, в. Участки а и в однородные, участок б - неоднородный, состоящий из горизонтальной воздушной прослойки и слоя железобетона шириной I и толщиной б. Сопротивления теплопередаче, $\text{м}^2\text{°C/Вт}$, этих участков равны:

$$R_A = R_B = \delta_A / \lambda_A \quad (27)$$

Сопротивление теплопередаче R_B , $\text{м}^2\text{°C/Вт}$, определяем:

-для чердачного перекрытия:

$$R_B = \frac{A_I + A_{II}}{A_I / R_{Ж/Б} + A_{II} / R_{ВОЗД.ПП}} \quad (28)$$

-для перекрытия над подвалом:

$$R_B = \frac{A_I + A_{II}}{A_I / R_{Ж/Б} + A_{II} / R_{ВОЗД.ПП}} \quad (29)$$

Сопротивление теплопередаче всего регулярного элемента при разбивке его плоскостями, перпендикулярными тепловому потоку:

$$R_{ПЕРП} = R_A + R_B + R_B = 2R_A + R_B = 2 \cdot R_A + R_B \quad (30)$$

Термическое сопротивление всей плиты:

$$R = \frac{R_{ПАРАЛЛ} + 2R_{ПЕРП}}{3} \quad (31)$$

Если величина $R_{ПАРАЛЛ}$ превышает величину $R_{ПЕРП}$ более чем на 25% или ограждающая конструкция не является плоской, то приведенное термическое со-

противление R_K ограждающей конструкции следует определять расчетом трехмерного температурного поля или экспертно оценивать коэффициент теплотехнической однородности r .

Полученные термические сопротивления плит перекрытия используются как известные величины при дальнейшем определении толщины теплоизоляции в чердачном перекрытии и перекрытии над неотапливаемым подвалом (техподпольем).

Пример определения термического сопротивления пустотной панели

Размеры панели и пустот в ней представлены на рисунке 4.

Сторона эквивалентного кругу по площади квадрата ($A_{\text{КВАДРАТА}} = A_{\text{КРУГА}}$) равна:

$$a = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4}} = 0,14 \text{ м}$$

При делении регулярного элемента плоскостями параллельными тепловому потоку (смотрите на схеме) получаем два параллельных участка: I и II. Сопротивления теплопередаче этих участков равны:

$$R_I = 0,22/1,92 = 0,115 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$$

$$R_{II} = 2 \cdot 0,04/1,92 + R_{\text{ВОЗД.ПР}} = 0,04 + R_{\text{ВОЗД.ПР}} \text{ м}^2\text{°C/Вт}$$

Термическое сопротивление воздушной прослойки $R_{\text{ВОЗД.ПР}}$, определяем по таблице 13 с учетом того, что в панели чердачного перекрытия горизонтальная воздушная прослойка с потоком тепла снизу вверх отделена от холодного чердака слоем утеплителя, поэтому в ней воздух находится при положительной температуре. Для прослойки толщиной 0,14 м в этих условиях $R_{\text{ВОЗД.ПР}} = 0,15 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$; в панели перекрытия над неотапливаемым подвалом, если утеплитель лежит под железобетонной плитой горизонтальная воздушная прослойка с холодного техподполья сверху вниз отделена от теплого помещения слоем

утеплителя, поэтому в ней воздух находится при положительной температуре.

Для прослойки толщиной 0,14 м в этих условиях $R_{\text{ВОЗД.ПР}} = 0,19 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$.

Для чердачного перекрытия $R_{\text{И}} = 0,04 + R_{\text{ВОЗД.ПР}} = 0,04 + 0,15 = 0,19 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$

Для перекрытия над подвалом $R_{\text{И}} = 0,04 + R_{\text{ВОЗД.ПР}} = 0,04 + 0,19 = 0,23 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$

Сопротивление теплопередаче всего регулярного элемента при разбивке его плоскостями, параллельными тепловому потоку:

-для чердачного перекрытия:

$$R_{\text{ПАРАЛЛ.}} = \frac{0,07 + 0,14}{0,07/0,115 + 0,14/0,19} = 0,155 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$$

-для перекрытия над подвалом:

$$R_{\text{ПАРАЛЛ.}} = \frac{0,07 + 0,14}{0,07/0,115 + 0,14/0,23} = 0,173 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$$

При делении регулярного элемента плоскостями перпендикулярными тепловому потоку (смотрите на схеме справа) получаем три параллельных участка: а, б, в. Участки а и в однородные, участок б - неоднородный, состоящий из горизонтальной воздушной прослойки и слоя железобетона шириной I и толщиной б ($R_{\text{Ж/Б}} = 0,14/1,92 = 0,073 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$). Сопротивления теплопередаче этих участков равны:

$$R_A = R_B = 0,04 / 1,92 = 0,02 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$$

Сопротивление теплопередаче R_B определяем:

-для чердачного перекрытия:

$$R_B = \frac{0,07 + 0,14}{0,07/0,073 + 0,14/0,15} = 0,111 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$$

-для перекрытия над подвалом:

$$R_B = \frac{0,07 + 0,14}{0,07/0,073 + 0,14/0,19} = 0,124 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$$

Сопротивление теплопередаче всего регулярного элемента при разбивке его плоскостями, перпендикулярными тепловому потоку:

$$R_{\text{ПЕРП}} = 2 \cdot 0,02 + R_B$$

-для чердачного перекрытия $R_{\text{ПЕРП}} = 2 \cdot 0,02 + 0,111 = 0,151 \text{ м}^2\text{°C/Вт};$

-для перекрытия над подвалом $R_{\text{ПЕРП}} = 2 \cdot 0,02 + 0,124 = 0,164 \text{ м}^2\text{°C/Вт}.$

Термическое сопротивление плиты:

-для чердачного перекрытия:

$$R_{\text{плиты}} = \frac{0,155 + 2 \cdot 0,151}{3} = 0,152 \text{ м}^2\text{°C/Вт};$$

-для перекрытия над подвалом:

$$R_{\text{плиты}} = \frac{0,173 + 2 \cdot 0,164}{3} = 0,167 \text{ м}^2\text{°C/Вт}.$$

3.2 Удельная теплозащитная характеристика здания (проверка выполнения комплексного требования к теплозащитной оболочке здания)

Комплексное требования к теплозащитной оболочке здания состоит в том, чтобы значение удельной теплозащитной характеристики здания, $k_{об}$, Вт/(м³ °C), было не более нормируемого, $k^{mp}_{об}$.

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания, $k^{mp}_{об}$, Вт/(м³ °C), следует принимать в зависимости от отапливаемого объема здания и градусо-суток отопительного периода района строительства по таблице 7 [1] с учетом примечаний, представленной в таблице 18.

Таблица 18.

НОРМИРУЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗДАНИЯ [1]

Отапливаемый объем здания, $V_{от}$, м ³	Значения $k^{mp}_{об}$, Вт/(м ³ °C), при значениях ГСОП, °C·сут/год				
	1000	3000	5000	8000	12000
150	1,206	0,892	0,708	0,541	0,321
300	0,957	0,708	0,562	0,429	0,326
600	0,759	0,562	0,446	0,341	0,259
1200	0,606	0,449	0,356	0,272	0,207
2500	0,486	0,360	0,286	0,218	0,166
6000	0,391	0,289	0,229	0,175	0,133

Отапливаемый объем здания, $V_{от}$, м^3	Значения $k_{об}^{mp}$, Вт/($\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$), при значениях ГСОП, $^\circ\text{C} \cdot \text{сут/год}$				
	1000	3000	5000	8000	12000
15 000	0,327	0,242	0,192	0,146	0,111
50 000	0,277	0,205	0,162	0,124	0,094
200 000	0,269	0,182	0,145	0,111	0,084

Примечания:

1. Для промежуточных значений величин объема зданий и ГСОП, а также для зданий с отапливаемым объемом более 200000 м^3 значение $k_{об}^{mp}$ рассчитываются по формулам:

$$k_{об}^{mp} = \begin{cases} \frac{4,74}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{V_{от}}} & V_{от} \leq 960 \\ 0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{от}}} & V_{от} > 960 \end{cases} \quad (32)$$

$$k_{об}^{mp} = \frac{8,5}{\sqrt{\text{ГСОП}}} \quad (33)$$

2. При достижении величиной $k_{об}^{mp}$, вычисленной по (32), значений меньших, чем определенных по формуле (33), следует принимать значения $k_{об}^{mp}$ определённые по формуле (33).

Удельная теплозащитная характеристика здания, $k_{об}$, Вт/($\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$), рассчитывается по формуле:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}} \sum_i \left(n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{np}} \right) = K_{комп} \cdot K_{общ} \quad (34)$$

где $R_{o,i}^{np}$ - приведенное сопротивление теплопередаче i -го фрагмента теплозащитной оболочки здания, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

$A_{\phi,i}$ – площадь соответствующего фрагмента теплозащитной оболочки здания, м^2 ;

$V_{от}$ – отапливаемый объем здания, м^3 ;

$n_{t,i}$ – коэффициент учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчете ГСОП, определяется по формуле (5.3);

$K_{общ}$ – общий коэффициент теплопередачи здания, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, определяемый по формуле:

$$K_{общ} = \frac{1}{A_n^{сум}} \sum_i \left(n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{np}} \right) \quad (35)$$

$A_n^{сум}$ – сумма площадей (по внутреннему обмеру) всех наружных ограждений теплозащитной оболочки здания, м^2 .

Коэффициент компактности здания, $K_{комп}$, м^{-1} , определяется по формуле:

$$K_{комп} = \frac{A_n^{сум}}{V_{от}}. \quad (36)$$

Если комплексное условие не выполняется, то надо увеличить теплозащиту здания, уменьшив общий коэффициент теплопередачи здания, или поменять форму здания, снизив коэффициент компактности. Но так как последнее находится в ведении архитекторов, то в проекте можно начать с подбора других окон с большим сопротивлением теплопередаче.

Пример расчета удельной теплозащитной характеристики здания

С учетом равенства отапливаемого объема здания $V_{от} = 3330 \text{ м}^3$, расчет по формуле (35) выполняем в таблице П5, куда записываем и другие исходные данные.

Таблица П5.

Наименование фрагмента	$n_{t,i}$	$A_{\phi,i}$, м ²	$R_{o,i}^{np}$ (м ² ·°C)/Вт	$n_{t,i} A_{\phi,i} / R_{o,i}^{np}$ Вт/°C	%
Стена	1	825,6	2,65	311,55	52,78
Окна	1	60	0,45	133,33	22,6
Наружные двери	1	3,6	0,8	4,50	0,76
Бесчердачное покрытие	1	300	3,64	82,42	13,96
Перекрытие над неотапливаемым подвалом	0,6	300	3,08	58,44	9,9
Сумма	-	$A_H^{сум} =$ 1489,2	-	590,24	100

$$K_{общ} = \frac{1}{1489,2} \cdot 590,24 = 0,396 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

Коэффициент компактности здания, $K_{комп}$, м⁻¹, определяется по формуле (32):

$$K_{комп} = \frac{1489,2}{3330} = 0,447 \text{ 1/м.}$$

Совокупность фрагментов теплозащитной оболочки здания, характеристики которых используются в формуле (34) должна полностью замыкать оболочку отапливаемой части здания.

Удельная теплозащитная характеристика здания, $k_{об}$, Вт/(м³·°C):

$$k_{об} = \frac{1}{3330} \cdot \left(1 \cdot \frac{825,6}{2,65} + 1 \cdot \frac{60}{0,45} + 1 \cdot \frac{3,6}{0,8} + 1 \cdot \frac{300}{3,64} + 0,6 \cdot \frac{300}{3,08} \right) = \frac{590,24}{3330} = 0,396 \cdot 0,447 = 0,177 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{°C)}.$$

Нормируемая удельная теплозащитная характеристика здания принята в зависимости от отапливаемого объема здания и градусо-суток отопительного периода района строительства по таблице 18 с учетом примечаний по формуле (32):

$$k_{об}^{mp} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{3330}}}{0,000134742 + 0,61} = \frac{0,333}{1,226} = 0,271 \text{ Вт/(м}^3 \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Проверка по формуле (33):

$$k_{об}^{mp} = \frac{8,5}{68,86} = 0,12 \text{ Вт/(м}^3 \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Так как результат по формуле (32) больше полученного по формуле (33), принимаем в качестве требуемого нормируемого значения удельной теплозащитной характеристики здания величину:

$$k_{об}^{mp} = 0,271 \text{ Вт/(м}^3 \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Полученное значение удельной теплозащитной характеристики здания меньше максимально допустимой по [1] величины:

$$k_{об} = 0,177 \text{ Вт/(м}^3 \cdot ^\circ\text{C)} < k_{об}^{mp} = 0,271 \text{ Вт/(м}^3 \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Таким образом, комплексное требование к теплозащитной оболочке здания выполняется.

Список литературы к части 3

1. Ананьев А.И., Иванов Л.В., Комов В.М.. Исследование наружных кирпичных стен жилых зданий и нормирование теплозащитных качеств. Сб. докладов пятой научно-практической конференции 26-28 апреля 2000 г. (Академические чтения) под ред. В.Г.Гагарина и И.В.Бессонова «Проблемы строительной теплофизики, систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях», . – М: НИИСФ, 2000.

Микроклимат зданий

Глава 4. Параметры микроклимата помещения и наружного климата

4.1. ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО И ВНУТРЕННЕГО КЛИМАТА

4.1.1. Правила выбора климатических параметров

Характеристика климата местности

Климатические данные заданного района строительства определяют по табл. 3.1 и 4.1 и картам удельной энтальпии наружного воздуха [1]. Необходимо выписать следующие характеристики климата:

- расчетное **барометрическое** давление **B** , Па – по табл.4.1[1], колонка 2;
- для **теплого периода** года (ТП) по табл.4.1 [1]: **температуру t_n** , °С, наружного воздуха по параметрам “А” и “Б” (соответственно колонка 3 с обеспеченностью 0,95 и колонка 4 с обеспеченностью 0,98) и его удельную **энтальпию I_n** , кДж/кг (также по параметрам “А” и “Б” – по картам удельной энтальпии); **скорость** ветра, м/с (колонка 13), **но не менее 1 м/с**, и среднюю суточную **амплитуду температуры** наружного воздуха **A_{tn}** , °С (колонка 7);

- для **холодного периода** года (ХП) по параметру “Б” по табл.3.1 [1]: **температуру t_n** , °С (колонка 5, т.е. средняя температура наиболее холодной пятидневки **$t_{н5}$** обеспеченностью 0,92) и **относительную влажность φ_n** , % (колонка 16, т.е. средняя в 15 часов для наиболее холодного месяца) наружного воздуха; **скорость** ветра (колонка 19, т.е. максимальная из средних по румбам за январь), м/с. Дополнительно также определяется температура по параметру “А” (колонка 6 с обеспеченностью 0.94) и удельная энтальпия по параметру “А” по Приложению 8 [2].

Для **переходного периода** (ПП) в любом районе строительства принимается температура +10°С и удельная энтальпия 26,5 кДж/кг по параметру “А”.

Для расчета систем **вентиляции (В)** в ТП и ПП применяются **параметры “А”**, а в ХП – **параметры “Б”**. Параметры “А” в ХП используются сейчас только при проектировании вентиляции сельскохозяйственных зданий. Для расчета систем кондиционирования воздуха в ТП и ХП применяются **параметры “Б”** (см. пример в п.4.1.1). **Температура $t_{н5}$** , т.е. по параметру “Б” в ХП используется также для определения мощности системы **отопления (О)**.

По температуре и удельной энтальпии в ТП и по температуре и относительной влажности в ХП с помощью **I-d диаграммы** или **аналитически** вычисляют остальные параметры состояния наружного воздуха (удельное влагосодержание, температуру мокрого термометра, температуру точки росы, парциальное давление водяного пара, парциальное давление насыщенного водяного пара при той же температуре, а также плотность и удельный вес).

Значения расчетных параметров, в том числе и определенных по **I-d-диаграмме** или аналитически, заносят в таблицу (см. пример в п.4.1.1).

Расчетные характеристики микроклимата в помещениях

Расчетные параметры воздуха принимают в зависимости от назначения помещений, периода года (холодный, теплый и переходные условия), а также от режима работы помещения (“отопление”, “отопление и вентиляция или кондиционирование воздуха”, “вентиляция или кондиционирование воздуха”).

Режим работы помещения: “отопление” – это **холодный период года**.

В курсовой работе предполагается, что отопительные приборы системы отопления не оборудованы автоматическими терморегуляторами. В этом случае при проектировании **отопления**, в т.ч. для расчета теплопотерь, в качестве **расчетной температуры воздуха в обслуживаемой зоне** помещения в жилых зданиях следует принимать **минимальную из оптимальных**, а в общественных – **минимальную из допустимых** температур по [3]. Такая температура обозначается $t_{в.от}$. Если при этом возникает значительная разность температур между соседними помещениями, возможно и в этом режиме принимать более высокие

значения, но опять-таки в пределах допустимого диапазона (см. примеры п.4.1.1).

Требования [3] приведены ниже.

Классификация помещений:

Помещения 1 категории – помещения, в которых люди в положении лежа или сидя находятся в состоянии покоя и отдыха.

Помещения 2 категории – помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебой.

Помещения 3а категории – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды.

Помещения 3б категории – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя в уличной одежде.

Помещения 3в категории – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении стоя без уличной одежды.

Помещения 4 категории – помещения для занятий подвижными видами спорта.

Помещения 5 категории – помещения, в которых люди находятся в полураздетом виде (раздевалки, процедурные кабинеты, кабинеты врачей и т.п.).

Помещения 6 категории – помещения с временным пребыванием людей (вестибюли, гардеробные, коридоры, лестницы, санузлы, курительные, кладовые).

Таблица 1

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий и общежитий

Пе-риод года	Наименование по-мещения	Температура воздуха, °С		Результирующая темпера-тура, °С		Относитель-ная влаж-ность, %		Скорость движе-ния воздуха, м/с	
		опти-маль-ная	допу-сти-мая	опти-мальная	допу-сти-мая	опти-маль-ная	допу-сти-мая, не более	опти-маль-ная, не более	допу-стимая, не бо-лее
ХП, ПП	Жилая комната	20-22	18-24 (20-24)	19-20	17-23 (19-23)	45-30	60	0,15	0,2
	То же, в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обес-печенностью 0,92) минус 31 °С и ниже	21-23	20-24 (22-24)	20-22	19-23 (21-23)	45-30	60	0,15	0,2
	Кухня	19-21	18-26	18-20	17-25	НН*	НН	0,15	0,2
	Туалет	19-21	18-26	18-20	17-25	НН	НН	0,15	0,2
	Ванная, совмещен-ный санузел	24-26	18-26	23-27	17-26	НН	НН	0,15	0,2
	ХП, ПП	Помещения для от-дыха и учебных за-нятий	20-22	18-24	19-21	17-23	45-30	60	0,15
ХП, ПП	Межквартирный коридор	18-20	16-22	17-19	15-21	45-30	60	0,15	0,2
	Вестибюль, лест-ничная клетка	16-18	14-20	15-17	13-19	НН	НН	0,2	0,3
	Кладовые	16-18	12-22	15-17	11-21	НН	НН	НН	НН
	ТП	Жилая комната	22-25	20-28	22-24	18-27	60-30	65	0,2

* НН – не нормируется

Примечание – Значения в скобках относятся к домам для престарелых и инва-лидов

Таблица 2

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне общественных зданий

Период года	Наименование помещения или категория	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая, не более	оптимальная, не более	допустимая, не более
ХП, ПП	1 категория	20-22	18-24	19-20	17-23	45-30	60	0,2	0,3
	2 »	19-21	18-23	18-20	17-22	45-30	60	0,2	0,3
	3а »	20-21	19-23	19-20	19-22	45-30	60	0,2	0,3
	3б »	14-16	12-17	13-15	13-16	45-30	60	0,2	0,3
	3в »	18-20	16-22	17-20	15-21	45-30	60	0,2	0,3
	4 »	17-19	15-21	16-18	14-20	45-30	60	0,2	0,3
	5 »	20-22	20-24	19-21	19-23	45-30	60	0,15	0,2
	6 »	16-18	14-20	15-17	13-19	НН*	НН	НН	НН
	Ванные, душевые	24-26	18-28	23-25	17-27	НН	НН	0,15	0,2
ХП, ПП	Детские дошкольные учреждения:								
	Групповая, раздевальная и туалет:								
	для ясельных и младших групп	21-23	20-24	20-22	19-23	45-30	60	0,1	0,15
	для средних и дошкольных групп	19-21	18-25	18-20	17-24	45-30	60	0,1	0,15
	Спальня:								
	для ясельных и младших групп	20-22	19-23	19-21	18-22	45-30	60	0,1	0,15
ТП	для средних и дошкольных групп	19-21	18-23	18-22	17-22	45-30	60	0,1	0,15
	Помещения с постоянным пребыванием людей	23-25	18-28	22-24	19-27	60-30	65	0,3	0,5

* НН – не нормируется

Примечание – Для детских дошкольных учреждений, расположенных в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31 °С и ниже, допустимую расчетную температуру воздуха в помещении следует принимать на 1 °С выше указанной в таблице.

Режим работы помещения: “Отопление и вентиляция или кондиционирование воздуха” – это рабочее время суток в **холодный период года** или в **переходных условиях**.

В холодный период года при проектировании **вентиляции** температура внутреннего воздуха обычно принимается на 2 ... 4 °С выше расчетной, принятой для расчета отопления ($t_{в.от}$), но **в пределах допустимого** (для жилых зданий – оптимального) диапазона по [3]. В переходный период температура принимается на минимальном уровне, т.е. равная расчетной для отопления $t_{в.от}$.

Для помещений с **кондиционируемым** воздухом (большие актовые, зрительные, спортивные залы, обеденные залы ресторанов, столовых и другие помещения, которые выбирают по согласованию с консультантом проекта) параметры принимают **из оптимальных диапазонов** по [3].

Для этих помещений выбирают сочетание температуры и относительной влажности воздуха в обслуживаемой зоне помещения. Например, температура воздуха 20 °С и относительная влажность 45% или 22 °С и 30% и т.д. Для уменьшения затрат на приготовление воздуха целесообразно принимать влажность, минимальную из оптимальных, т.е. около 30%.

Режим работы помещения: “вентиляция или кондиционирование воздуха” – это рабочее время суток в **теплый период года**.

При проектировании **вентиляции** температура, относительная влажность и подвижность воздуха принимаются из **допустимого диапазона** по [3]. При этом температура внутреннего воздуха должна быть не более чем на 3 °С выше расчетного значения температуры наружного воздуха по параметрам "А" $t_{нА}$ [2]. Если, однако, величина $t_{нА}$ равна или выше +25 °С, допустимый диапазон можно расширить до +33 °С.

Для помещений с **кондиционируемым** воздухом в теплый период года температуру, относительную влажность и подвижность принимают **из оптималь-**

ного диапазона по [3]. Для сокращения затрат на приготовление воздуха целесообразно принимать влажность, равную максимальной из оптимальных, т.е. около 60%.

Принятые **допустимые** и **оптимальные** значения **температуры**, °С; **относительной влажности**, %, и **подвижности** воздуха, м/с, в рассчитываемых помещениях заносятся в таблицу (см. пример в п.4.1.1). Определенные аналитически или по *I-d* диаграмме остальные параметры внутреннего воздуха помещений заносятся в тот же бланк.

Замечание: при проектировании **вентиляции** окончательные значения относительной влажности определяются после расчета воздухообмена по построению на *I-d*-диаграмме процесса изменения состояния воздуха в помещении. Тогда же производится и их проверка на соответствие допустимым диапазонам [3]. Поэтому все остальные параметры определяются также после этого построения, а на начальном этапе работы среди **допустимых** параметров принимается только **температура и подвижность**.

Формулы для аналитического расчета остальных параметров воздуха:

Парциальное давление водяного пара при полном насыщении, Па:
$$P_{HAC} = A \cdot e^{\left(\frac{-c}{t+273,15}\right)},$$
 (где $A=1,8424 \times 10^{11}$ при $t > 0$, $A=2,498 \times 10^{11}$ при $t < 0$; $c = 5331$ при $t > 0$, $c = 5419$ при $t < 0$);

Парциальное давление водяного пара, Па: $P_{ВП} = P_{HAC} \frac{\varphi_B}{100}$;

Влагосодержание, г/кг: $d = 630 \frac{P_{ВП}}{B}$ (где B – барометрическое давление, Па);

Энтальпия, кДж/кг: $I = 1,005 \cdot t + 2,49 \cdot d$;

Температура точки росы, °С: $t_p = \frac{c}{D - \ln P_{ВП}} - 273,15$ (где $D = 25,94$ при $t > 0$ и 26,24 при $t < 0$);

Температура мокрого термометра, °С: $t_M = 4,47\sqrt{I} - 13,83$ (при $I > 0$);
 $t_M = 0,82 \cdot I - 5,54$ (при $I < 0$);

Плотность, кг/м³: $\rho = \frac{353}{t + 273}$; Удельный вес, Н/м³: $\gamma = 9,81 \cdot \rho$.

Пример выбора расчетных параметров наружного климата

Для здания в Москве выбрать параметры наружного климата.

Таблица 3

Расчетные параметры наружного климата для Москвы¹

Расчетный период года	Параметры "А"		Параметры "Б"	
	$t_n, ^\circ\text{C}$	$I_n, \text{кДж/кг}$	$t_n, ^\circ\text{C}$	$I_n, \text{кДж/кг}$
ТП	22,6 (В) (табл.2 [1], колонка 3, обеспеченность 0.95)	50,5 (карта) (В)	26,3 (КВ) (табл.2 [1], колонка 4, обеспеченность 0.98)	54,7 (карта) (КВ)
ПП	10 (В)	26,5 (В)	—	—
ХП	−15 (табл.1 [1], колонка 6, обеспеченность 0.94)	−11,7 Приложение 8 [2]	−28 (ОВ и КВ) (табл.1 [1], колонка 5, $t_{н5}$, обеспеченность 0.92)	−27,4 (В и КВ) (через ϕ_n — см. табл. 4)

Барометрическое давление $B = 99500$ Па (табл.2 [1], колонка 2).

Скорость ветра в ТП 0 м/с (табл.2 [1], колонка 19), для расчета принимаем 1 м/с; в ХП 4.9 м/с (табл.1 [1], колонка 19), средняя суточная амплитуда температуры наружного воздуха $A_{\text{гн}} = 10,5^\circ\text{C}$ (табл.2 [1], колонка 7).

Остальные параметры рассчитываем по формулам из п.5.1.1 и заносим в таблицу 4:

¹ В данном примере приняты по данным [1] в редакции 2004 г. В курсовой работе следует пользоваться актуализированной редакцией [1] от 2018 г.

Параметры состояния наружного воздуха для Москвы

Параметры наружного воздуха	ТП-В	ТП-КВ	ПП-В	ХП-ВиКВ
$t_n, ^\circ\text{C}$	22,6	26,3	10	-28
$I_n, \text{кДж/кг}$	50,5	54,7	26,5	-27,4
$d_n, \text{г/кг}$	11,16	11,35	6,61	0,31
$\varphi_n, \%$ по табл. 1[1], колонка 16	64,1	52,2	84,6	77
$t_m, ^\circ\text{C}$	17,94	19,23	9,18	-27,99
$t_p, ^\circ\text{C}$	15,47	15,74	7,51	-31,51
$P_{вп}, \text{Па}$	1754	1784	1038	48,3
$P_{нас}, \text{Па}$	2736	3418	1227	62,8
$\rho_n, \text{кг/м}^3$	1,194	1,179	1,247	1,440
$\gamma_n, \text{Н/м}^3$	11,71	11,56	12,23	14,13

Примечание: жирным шрифтом выделены основные параметры, выбираемые из табл.1 и 2 [1], служащие исходными данными для вычисления остальных.

Пример выбора расчетных параметров внутреннего микроклимата

Для здания школы в Москве выбрать параметры внутреннего микроклимата для расчета систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Решение: в соответствии с [3] основные помещения здания школы относятся к 2-й категории (умственный труд, учеба). Для этой категории по табл. 2 выбираем основные расчетные параметры внутреннего микроклимата и заносим в табл.5.

Таблица 5

Расчетные параметры внутреннего микроклимата для здания школы в Москве

Расчетный период года	Допустимые параметры (для В)				Оптимальные параметры (для КВ)			
	$t_{в}, ^\circ\text{C}$		$\varphi_{в}, \%$		$t_{в}, ^\circ\text{C}$		$\varphi_{в}, \%$	
	Рекоменд.	Принято	Рекоменд.	Принято	Рекоменд.	Принято	Рекоменд.	Принято
ТП	18-28, но $\leq t_{нА}+3$	25,6 = 22,6+3 (см. табл.1.2.1)	≤ 65	по расчету	23-25	24 (среднее)	60-30	60 (по максимуму)
ПП	18-23*	18**	≤ 60	То же	—	—	—	—
ХП	18-23*	21**	≤ 60	То же	19-21*	20 (среднее)	45-30	30 (по минимуму)

*) диапазоны, установленные для помещений 2-й категории. Для помещений других категорий см. табл. 2.

**) в ПП – минимальная из допустимых ($= t_{в.от}$), в ХП – на 2 ... 4 градуса выше, но также в пределах допустимого диапазона.

Нормируемую подвижность воздуха для помещений 2-й категории записываем в таблицу.

Расчетный период года	Подвижность воздуха $v_{норм}$, м/с, не более:	
	Допустимая (В)	Оптимальная (КВ)
ТП	0,5	0,3
ПП	0,3	0,2
ХП	0,3	0,2

Остальные характеристики внутреннего воздуха вычисляем по формулам из п.4.1.1 и заносим в таблицу 6.

Таблица 6

Параметры состояния внутреннего воздуха для здания школы в Москве

Параметры внутреннего воздуха	ТП-В (до- пустимые)	ТП-КВ (оп- тимальные)	ПП-В (до- пустимые)	ХП-В (до- пустимые)	ХП-КВ (оп- тимальные)
$t_{в}, ^\circ\text{C}$	25,6	24	18	21	20
$I_{в}, \text{кДж/кг}$	52,0	52,7	36,1	25,1	31,2
$d_{в}, \text{г/кг}$	10,54	11,47	7,22	1,59	4,47
$\varphi_{в}, \%$	50	60	55	10	30
$t_{м}, \text{C}$	18,39	18,61	13,01	8,55	11,15
$t_{р}, \text{C}$	14,58	15,90	8,82	-12,10	1,85
$P_{вп}, \text{Па}$	1656	1802	1134	249	703
$P_{нас}, \text{Па}$	3312	3003	2063	2494	2342
$\rho_{в}, \text{кг/м}^3$	1,182	1,188	1,212	1,200	1,204
$\gamma_{в}, \text{Н/м}^3$	11,59	11,65	11,89	11,77	11,81

Примечания: жирным шрифтом выделены основные параметры, выбираемые из табл.5, служащие исходными данными для вычисления остальных. Относительная влажность для допустимых условий (режим вентиляции) принята ориентировочно с последующим уточнением по результатам расчета воздухообмена и построения процесса изменения состояния воздуха в помещении на $I-d$ -диаграмме.

Глава 5. Тепловая нагрузка на системы отопления-охлаждения и определение воздухообмена в помещении

5.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ

5.1.1. Методика расчета теплопотерь здания через ограждающие конструкции

Система отопления должна компенсировать теплопотери через строительные ограждающие конструкции, теплопотери на нагревание наружного воздуха, поступающего через открываемые наружные двери, а также через щели притворов окон и не открываемых зимой дверей (инфильтрация), теплопотери на нагревание вносимой холодной одежды или ввозимых материалов и оборудования.

При определении тепловой мощности отопительных приборов следует учитывать постоянные тепловыделения в помещениях (например, бытовые тепловыделения в квартирах **жилых зданий**). В этом случае из суммарных теплопотерь помещений, кроме лестничных клеток, следует вычитать бытовые тепловыделения $Q_{\text{быт}}$, Вт, в размере:

$$Q_{\text{быт}} = q_{\text{быт}} A_{\text{пл}},$$

где $A_{\text{пл}}$ – площадь пола отапливаемого помещения, м^2 , $q_{\text{быт}}$ – удельные тепловыделения. Величина $q_{\text{быт}}$ принимается равной 17 Вт/м^2 при норме общей площади $20 \text{ м}^2/\text{чел}$ и менее; 10 Вт/м^2 при норме общей площади $40 \text{ м}^2/\text{чел}$ и выше, а при норме от 20 до $40 \text{ м}^2/\text{чел}$ значение $q_{\text{быт}}$ следует определять интерполяцией [4].

Теплопотери через строительные конструкции $\Sigma Q_{\text{тп}}$ складываются из основных Q_0 и добавочных теплопотерь (учитываются добавками β_i , см. далее) и рассчитываются как сумма теплопотерь через все ограждения помещения по формуле, Вт:

$$Q_0 = K_{O,i} A_{O,i} (t_B - t_H) n_i; \quad \Sigma Q_{\text{тп}} = \Sigma Q_{O,i} (1 + \Sigma \beta_i),$$

где $K_{O,i}$ – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $A_{O,i}$ – расчетная площадь поверхности ограждения, вычисленная по правилам его обмера, м^2 . Следует иметь в виду, что **площадь окон и внутренних дверей из**

площади стен не вычитается. Вместо этого вычитают коэффициент теплопередачи стены из коэффициента теплопередачи окна или внутренней двери, например $K_{ок}^* = K_{ок} - K_{нс}$.

t_B и t_H – соответственно расчетная температура внутри и снаружи помещения, °С.

Величина t_H принимается для ХП по параметрам «Б».

Примечание. Если в смежном более холодном помещении температура воздуха ниже, чем в рассчитываемом, на 4 градуса и более, то обязателен расчет теплопотерь через внутреннее ограждение, разделяющее эти помещения. При этом t_H принимают равной температуре воздуха в более холодном помещении. При расчете теплопотерь в более холодном помещении эти же теплопотери учитываются со знаком «минус», т.е. как теплопоступления, и вычитаются из общей суммы теплопотерь более холодного помещения.

β_i – коэффициент, учитывающий добавочные теплопотери в долях от основных;
 n_i – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху по [5].

Коэффициент n

При расчете теплопотерь через ограждения, обращенные своей наружной поверхностью в сторону неотапливаемых помещений (подвальные и чердачные помещения, холодные подполья, тамбуры, закрытые веранды и лоджии и пр.), в которых температура воздуха будет выше расчетной температуры наружного воздуха, на расчетную разность температуры ($t_B - t_H$) вводят поправочный коэффициент n . Для пола над неотапливаемым подвалом (подпольем), как правило, $n=0,6$; для чердачного перекрытия $n=0,9$. Подробнее см. [5], [6], [7].

Правила обмера поверхности ограждающей конструкции помещения

Площадь наружных и внутренних ограждений при расчете теплопотерь вычисляют **с точностью до 0,01 м²**, используя размеры ограждений в метрах, снятые с точностью **0.1 м** с планов и разрезов здания [7], [8].

Наружные стены (НС)

Длину наружных стен угловых помещений принимают по внешней поверхности от наружных углов до осей внутренних стен.

Длину наружных стен рядовых (не угловых) помещений принимают по расстоянию между осями внутренних стен.

Высоту наружных стен по разрезам здания – на первом этаже в зависимости от конструкции пола: от внешней поверхности пола, расположенного непосредственно на грунте, или от нижнего уровня подготовки под конструкцию пола на лагах, или от нижней поверхности перекрытия над холодным пространством (подпольем, подвалом, проездом) до уровня чистого пола второго этажа;

– на средних этажах – от поверхности пола этажа до поверхности пола вышерасположенного этажа;

– на верхнем этаже – от поверхности пола до верха конструкции чердачного перекрытия или бесчердачного покрытия (в месте пересечения с внутренней поверхностью наружной стены).

Внутренние стены (ВС)

Для вычисления площади поверхности внутренних стен по планам измеряют: длину стен от внутренней поверхности наружных стен до осей внутренних стен или между осями внутренних стен. По разрезам – высоту стен от поверхности пола до поверхности потолка.

Окна, двери, ворота

Площадь окон, дверей, ворот и световых фонарей определяют по наименьшим размерам строительных проемов.

Перекрытия

Площадь потолков (ПТ) и полов (ПЛ) над холодным пространством измеряют между осями внутренних стен и внутренней поверхностью наружных стен.

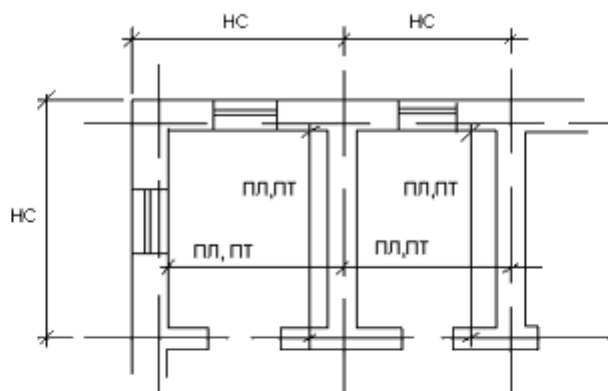
Полы

Полы над холодным пространством см. «Перекрытия». Неутепленные полы по грунту и подземные части наружных стен разбиваются на зоны: три ленточные, параллельные наружным стенам и имеющие расчетную ширину 2 м (ПлI, ПлII, ПлIII), и 4-я (ПлIV) – оставшаяся часть пола в центре здания).

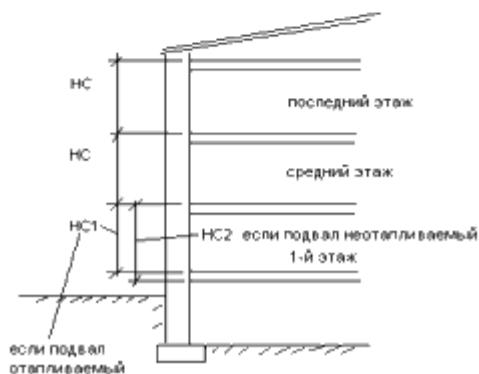
***Примечание.** Теплотери через часть наружных стен отапливаемых цокольных или подвальных помещений определяют по площади условных зон шириной 2 метра, отсчитываемых от поверхности земли. Теплотери через пол этих помещений находят также по площади последующих условных зон, причем пол рассматривают как продолжение подземной части наружных стен.*

Графически правила обмера ограждений представлены на следующих схемах (рис. 1), а более подробно – в примерах.

а) По плану:



б) По разрезу:



в) В подвале

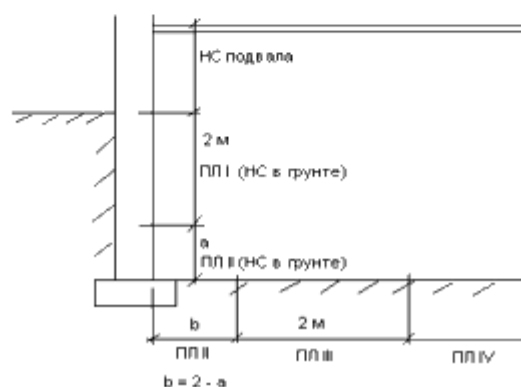


Рис.1. Правила обмера ограждений

Учет добавочных теплопотерь

Добавочные теплопотери через ограждающие конструкции помещений, зданий и сооружений определяют в долях от основных теплопотерь.

Добавку на ориентацию ограждения по сторонам горизонта принимают для всех наружных вертикальных и наклонных (в проекции на вертикаль) ограждений, обращенных:

- на север, восток, северо-восток и северо-запад в размере $\beta = 0,1$;
- на запад и юго-восток $\beta = 0,05$ от основных теплопотерь через эти ограждения.

Схематически добавки на ориентацию можно представить себе следующим образом [7], [8] (Рис.2).

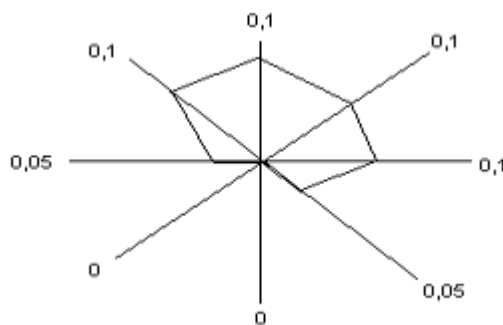


Рис.2. Схема определения добавок на ориентацию к основным теплопотерям

Добавку для вертикальных ограждений (наружные стены, окна и двери) **в угловых помещениях** (имеющих две и более наружных стен) общественных, административно-бытовых и производственных зданий и сооружений – принимают в размере по 0,05 от основных теплопотерь для каждой наружной стены, окна и двери, если хотя бы одно ограждение ориентировано на север, восток, северо-восток или северо-запад, т.е. если есть хотя бы одна добавка на ориентацию, равная 0,1. В противном случае добавку следует принимать в размере по 0,1.

Примечания:

1) В угловых помещениях жилых и тому подобных зданий, например, в спальнях детских учреждений, повышают расчетную температуру внутреннего воздуха на 2 градуса, а добавку 0,05 или 0,1 не вводят.

2) Угловыми считаются помещения, имеющие две и более наружные стены разной ориентации, причем необязательно смежные, но и противоположные.

Добавку β на врывание в здания и сооружения холодного воздуха через входы, не оборудованные воздушными и воздушно-тепловыми завесами, принимают – при высоте здания H , м, в размере:

	Добавка β
для одинарных дверей	$0,22H$

для двойных дверей с тамбуром между ними	$0,27H$
то же, но без тамбура	$0,34H$
при наличии двух тамбуров между тройными дверями	$0,2H$
для наружных ворот, не оборудованных воздушными завесами, и без тамбура $\beta=3,0$	
то же, но с тамбуром $\beta=1,0$ от основных теплопотерь через эти двери или ворота	

***Примечание.** Добавочные теплопотери для запасных или летних дверей и ворот (например, балконных дверей) не учитывают.*

Добавка на высоту помещения. Для помещений общественных зданий (кроме лестничных клеток) высотой более 4 метров и суммарные теплопотери (с учетом добавок) увеличивают на 2% на каждый метр высоты сверх 4 метров, но не более чем на 15%.

Добавку на проветривание холодного подполья зданий в районах вечной мерзлоты при $t_H < -40$ °С – принимают в размере 0,05 основных теплопотерь через полы помещения на первом этаже здания.

Пример расчета теплопотерь подвального помещения

Рассмотрим расчет теплопотерь для подвального помещения (кладовки), расположенного в общественном здании в Москве. В этом случае расчетная температура наружного воздуха в ХП по параметру “Б” (t_{H5}) равна -28 °С (см. пример выбора расчетных параметров наружного климата п.4.1.1.). Расчетную температуру внутреннего воздуха для определения мощности системы отопления в ХП ($t_{в.от}$) принимаем $+16$ °С – в пределах допустимого диапазона для помещений 6-й категории, к которым относится кладовая (см. табл.2), но на 2° выше минимальной из допустимых во избежание появления значительной разности температур

с соседними помещениями. Разрез и план помещения представлены на рис. 3 и 4. Конструктивные характеристики ограждений и расчет коэффициентов теплопередачи для данного примера приведены в табл. 7.1, 7.2, 7.3, 7.4. Результаты расчета теплотерь через ограждения сведены в табл. 8.

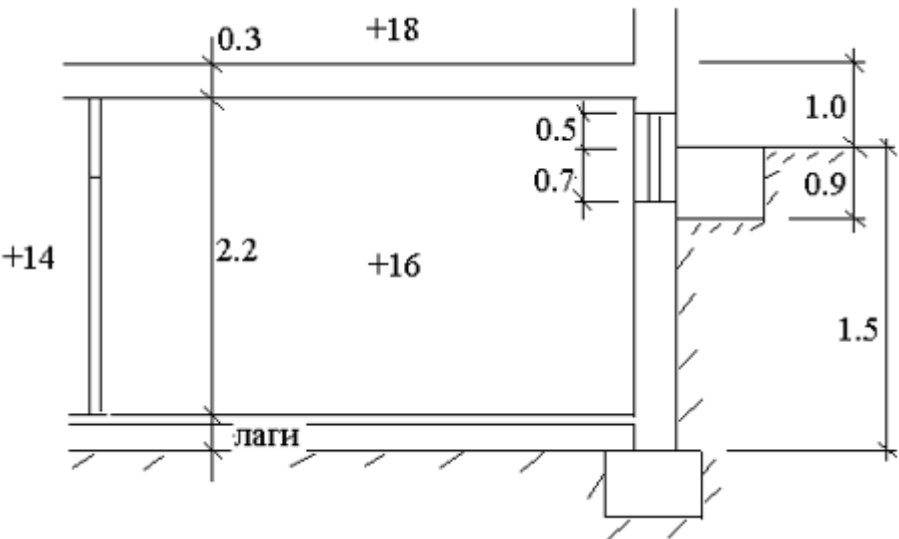


Рис.3. Разрез подвального помещения (кладовка)

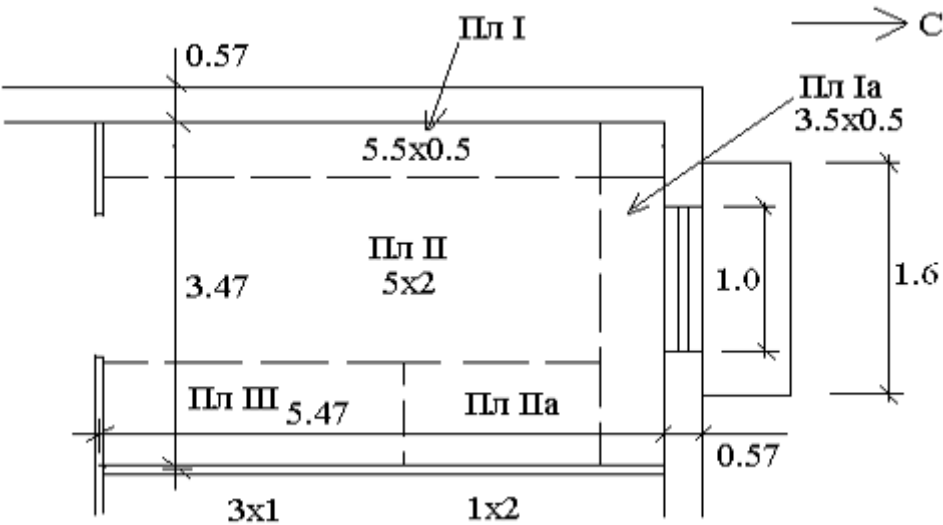


Рис.4. План помещения кладовки

Таблица 7.1.

Характеристики наружной стены и расчет коэффициента теплопередачи

Конструкция наружной стены (нумерация слоев изнутри):

№ п/п		Толщина		Сопротивление слоя	Примечание
-------	--	---------	--	--------------------	------------

	Наименование материала	слоя δ_i , м	Теплопроводность материала слоя λ_i , Вт/(м·К), по Прил.Д [5]*	теплопередаче $R_{сл}$, м ² ·К/Вт (= δ_i/λ_i)	Конструкция приведена только для рассматриваемого примера. В курсовой работе конструкция и R_o принимаются по результатам первой части работы.		
1	Штукатурка	0,02	0,87	0,023			
2	Кладка из глиняного кирпича	0,38	0,81	0,469			
3	Плита минераловатная	0,14	0,048	2,917			
4	Штукатурка	0,03	0,87	0,034			
Коэффициент теплотехнической однородности НС $r = 0,8$				2,755	м ² ·К/Вт		
Общее сопротивление теплопередаче слоев стены, равное дополнительному сопротивлению утепляющего слоя для НС в грунте с учетом теплотехнической однородности $r \Sigma R_{сл} = R_{ут.сл} 1 =$							
Суммарное сопротивление стены теплопередаче $R_o = (\Sigma R_{сл} + 1/\alpha_{в} + 1/\alpha_{н})r =$				2,881	м ² ·К/Вт	$\geq 2.7^{***}$	
Коэффициент теплопередачи стены $K_{нс} = 1/R_o =$				0,347	Вт/(м ² ·К)		

***) по табл.4 СНиП 23-02-2003 или табл. 3 СП 50.13330.2018

Таблица 7.2.

Расчет коэффициента теплопередачи окна (тройной стеклопакет из обычного стекла 4×6×4×6×4)

$R_{ок} =$	0,51	$\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$
$K_{ок} = 1/R_{ок}$	1,961	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
$K_{ок} = K_{ок} - K_{нс}$	1,614**	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

**) поскольку площадь окна не вычитается из площади стены, необходимо вычитать $K_{нс}$ из $K_{ок}$

Таблица 7.3.

Конструкция пола подвала по лагам:

№ п/п	Наименование материала	Толщина слоя δ_i , м	Теплопроводность материала слоя λ_i , Вт/(м·К), по Прил.Д [5]*	Сопротивление слоя теплопередаче $R_{сл}$, м ² ·К/Вт ($=\delta_i/\lambda_i$)	Примечание
1	Деревянный настил	0,045	0,18	0,25	
2	Воздушная прослойка	0,15	—	0,19	По табл.7 [4]
3	Шлак 800 кг/м ³	0,05	0,26	0,192	
Общее сопротивление теплопередаче слоев пола, равное дополнительному сопротивлению утепляющего слоя для зон пола по грунту ПлII – ПлIV $\Sigma R_{сл} = R_{ут.сл2} =$				0,632	м ² ·К/Вт

*) В курсовой работе λ_i принимаются по Приложению Т актуализированной редакции [4].

Таблица 7.4.

Расчет коэффициентов теплопередачи зон пола по грунту:

Зона пола по грунту	$R_{ну}$, м ² ·К/Вт, для неутепленного пола [8]	$R_{ут.пл}$, м ² ·К/Вт, для утепленного пола	Формула	Коэффициент теплопередачи для утепленного пола $K_{ут.пл} = 1/R_{ут.пл}$ Вт/(м ² ·К)
НС в грунте	2,1	4,855	$R_{ну} + R_{ут.сл1}$	0,206
Пл I	2,1	3,224	$(\geq 3.05)^{***}$ $1,18(R_{ну} + R_{ут.сл2})$ для пола по лагам	0,310
Пл II	4,3	5,820		0,172
Пл III	8,6	10,894		0,092
Пл IV	14,2	17,502		0,057

Таблица 8.

Расчет теплотерь через ограждения для помещения кладовки

№ помещения	Наименование помещения и $t_{в.от}, ^\circ\text{C}$	Характеристика ограждения						Рас- четная раз- ность темпе- ра- туры, ($t_{в}$ - $t_{н}$) $\times n$	Основ- ные теп- лопо- тери Q_0 , Вт	Добавки β		Коэф- фици- ент ($1+\sum\beta$)	Теп- лопо- тери через ограж- дения $Q_{тп}$, Вт	Теплопотери	
		Наименова- ние	Ори- ен- та- ция	Раз- меры $a\times b$, м	Пло- щадь A , м ²	Коэффи- циент теплопе- редачи K , Вт/(м ² ·К)	На ори- ента- цию			Про- чие	при ин- филь- трации $Q_{и}$, Вт			Об- щие $Q_{от}$, Вт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ПОДВАЛ															
001	Кладовка	НС	З	6	1	6	0,347	44	91,62	0,05	0,05	1,1	101		
	+16 °C	НС	С	4	1	4	0,347	44	61,08	0,1	0,05	1,15	70		
		НС (прямоук)	С	1,6	0,9	1,44	0,347	44	21,99	0,1	0,05	1,15	25		
		ТО	С	1	1,2	1,2	1,614	44	85,20	0,1	0,05	1,15	98		
) Площадь – за вычетом прямка		НС в грунте	-	9	1,5	12,06	0,206	44	109,31	0	0	1	109		
		ПлI	-	5,5	0,5	2,75	0,310	44	37,53	0	0	1	38		
		ПлIа	-	3,5	0,5	1,75	0,310	44	23,88	0	0	1	24		
		ПлII	-	5	2	10	0,172	44	75,60	0	0	1	76		
		ПлIIа	-	1	2	2	0,172	44	15,12	0	0	1	15		
		ПлIII	-	3	1	3	0,092	44	12,12	0	0	1	12		
												Итого	568		

Примечание: в курсовой работе коэффициенты теплопередачи наружной стены, окон и покрытия (или чердачного перекрытия), а также перекрытия над неотапливаемым подвалом (при его наличии) принимаются по данным первой части курсовой работы, выполненной для того же здания.

Пример расчета теплотерь помещения лестничной клетки

Рассмотрим расчет теплотерь для помещения лестничной клетки, расположенной в общественном здании в Москве. Так же, как и в предыдущем примере, считаем $t_{н5} = -28^{\circ}\text{C}$, а расчетную температуру внутреннего воздуха для определения мощности системы отопления в ХП ($t_{в.от}$) принимаем $+16^{\circ}\text{C}$ – в пределах допустимого диапазона для помещений 6-й категории, к которым относится лестничная клетка (см. табл.2), но на 2° выше минимальной из допустимых во избежание появления значительной разности температур с соседними помещениями. Разрез и план помещения представлены на рис. 5. Результаты расчета теплотерь через ограждения сведены в табл. 9. Туда же включены конструктивные характеристики ограждений и расчет коэффициентов теплопередачи, а также пояснения к выбору размеров ограждений.

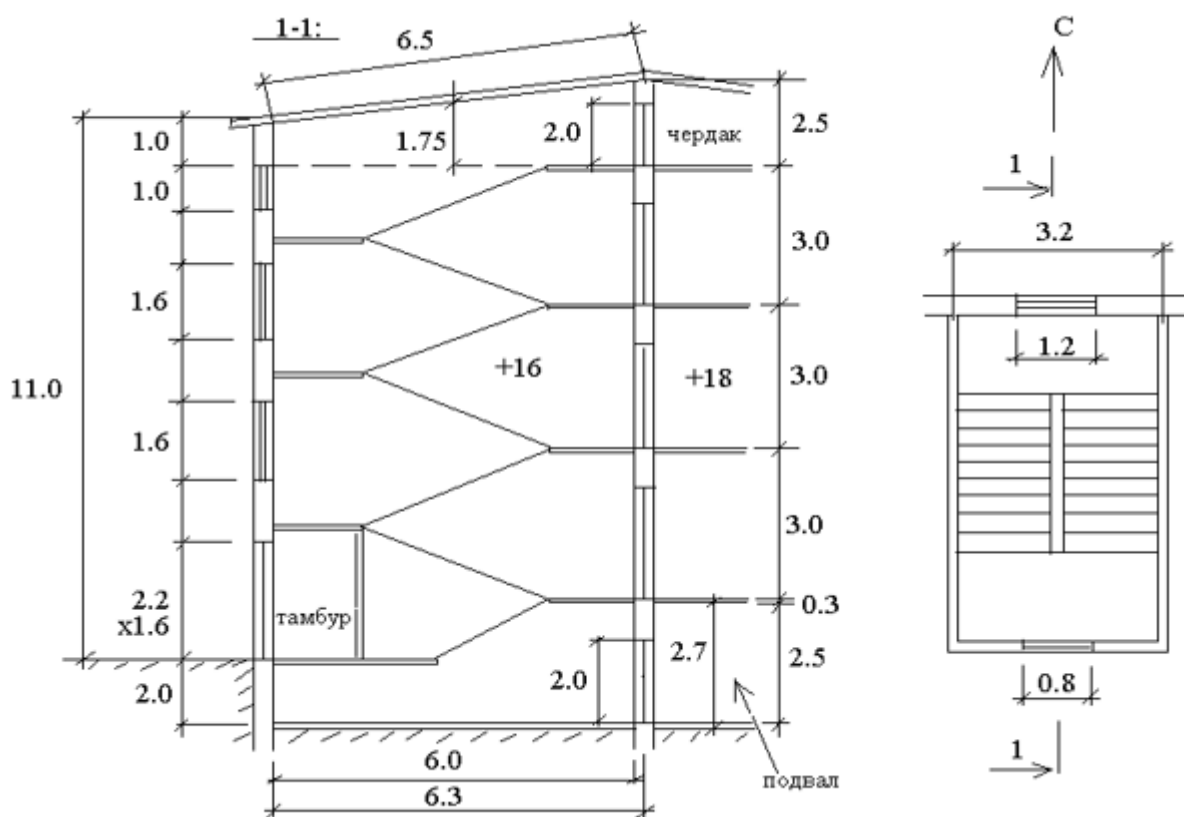


Рис.5. План и разрез помещения лестничной клетки

Таблица 9.

Расчет теплотерь через ограждения для помещения лестничной клетки

№ по- меще- ния	Наимено- вание по- мещения и $t_{в,от}$, °C	Характеристика ограждения						Расчетная разность темпера- туры, ($t_{в}-t_{н}$) $\times n$	Основ- ные теп- лопо- тери Q_0 , Вт	Добавки β		Коэффи- циент ($1+\sum\beta$)	Теп- лопо- тери че- рез ограж- дения $Q_{тп}$, Вт	Теплопотери	
		Наиме- нование	Ори- ента- ция	Размеры $a\times b$, м	Пло- щадь A , м ²	Коэффи- циент теплопе- редачи K , Вт/(м ² ·К)	На ори- ента- цию			Про- чие	при ин- фильтра- ции $Q_{и}$, Вт			Об- щие $Q_{от}$, Вт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ПОДВАЛ															
A	ЛК	НС*	С	3,2	11	31,68	0,347	44	483,77	0,1	0	1,1	532		
	16	ДО	С	1,2	1	1,2	1,614	44	85,20	0,1	0	1,1	94		
		ДО×2 шт.	С	1,2	1,6	3,84	1,614	44	272,66	0,1	0	1,1	300		
2.97=0.27H=0.27×11		ДД	С	1,6	2,2	3,52	2,300	44	356,22	0,1	2,97	4,07	1450		
0.025=0.1×(2.5-1)/6		Пт	(С)	3,2	6,5	20,8	0,278	44	254,22	0,025	0	1,025	261		
		Вс.ч	-	3,2	2,5	8	1,441	39,6=44×0, 9	456,48	0	0	1	456		
1.75=(1+2.5)/2		Вс.ч×2 шт.	-	6,3	1,75	22,05	1,441	39,6	1258,18	0	0	1	1258		
		Вд.ч	-	0,8	2	1,6	1,459	39,6	92,45	0	0	1	92		
		НС в грунте	-	3,2	2	6,4	0,206	44	58,01	0	0	1	59		
ПлII-IV рассм. как неутепленные		ПлII	-	3,2	2	6,4	0,233	44	65,49	0	0	1	65		
		ПлIII	-	3,2	2	6,4	0,116	44	32,74	0	0	1	33		
2.3=(6.3-2-2)		ПлIV	-	3,2	2,3	7,36	0,070	44	22,81	0	0	1	23		
2.7 - до низа утеп- лителя		Вс.п	-	3,2	2,7	8,64	1,280	26,4=44×0, 6	292,06	0	0	1	292		
		Вс.п×2 шт.	-	6,3	2,7	34,02	1,280	26,4	1149,97	0	0	1	1150		
		Вд.п	-	0,8	2	1,6	1,620	26,4	68,41	0	0	1	68		
												Итого	6133		

Примечание: Коэффициенты теплопередачи наружной стены, окон и наружной стены в грунте приняты как в примере расчета для подвального помещения.

ДД: наружная двойная дверь с тамбуром, $K_{\text{ДД}} = 2,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

Пт: $R_{\text{Пт}} = 3,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (табл.4 [4]); $K_{\text{Пт}} = 1/R_{\text{Пт}} = 0,278 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

Внутренние стены, чердак $R_{\text{вс.ч}} = 0,694 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ $K_{\text{вс.ч}} = 1/R_{\text{вс.ч}} = 1,441 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ $n = 0,9$

подвал $R_{\text{вс.п}} = 0,781 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; $K_{\text{вс.п}} = 1/R_{\text{вс.п}} = 1,280 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ $n = 0,6$

Внутренние двери: $K_{\text{ВД}} = 2,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

чердак: $K_{\text{ВД.ч}} = K_{\text{ВД}} - K_{\text{вс.ч}} = 1,459 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ $n = 0,9$

подвал: $K_{\text{ВД.п}} = K_{\text{ВД}} - K_{\text{вс.п}} = 1,620 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ $n = 0,6$

5.1.2. Методика расчета теплотерь на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха

Исходные данные:

Температура наружного воздуха t_n и средняя по зданию температура внутреннего воздуха $t_{в}$, скорость ветра в ХП v_H , м/с. Значения t_n и v_H принимаются для ХП по параметрам «Б».

Характеристики здания:

высота здания – H , м; длина – L , м; ширина – B , м; $A_{о.н}$, $A_{о.б1}$, $A_{о.б2}$, $A_{о.з}$ – площади остекления наветренного, 1-го и 2-го боковых и заветренного фасадов, м² – определяются по чертежам;

экономайзерный коэффициент $A_э$ – принимается в зависимости от конструкции окна из первой части курсовой работы;

$h_{iэ}$ – высота от уровня земли до центра окна i -го этажа, м;

сопротивление воздухопроницанию окон $R_{и.ок}$, м²·ч/кг, также принимается из первой части курсовой работы;

средние величины аэродинамических коэффициентов фасадов по [9]:

наветренный фасад – $C_H = 0,8$;

заветренный фасад – $C_З = -0,6$

боковой фасад – $C_Б$ принимают равным C_H или -0.4 .

Инфильтрация происходит в зоне, где давление наружного воздуха P_H , Па, оказывается больше внутреннего давления воздуха в здании P_0 . Для удобства будем рассматривать избыточные давления по отношению к атмосферному. Тогда величина удельного расхода инфильтрующегося воздуха $g_{инф}$, кг/(ч·м²), определяется по следующему выражению:

$$g_{инф} = \frac{1}{R_{и.ок}} \left(\frac{\Delta P_p}{10} \right)^{2/3}$$

Здесь $\Delta P_p = P_H - P_0$ – **расчетная разность давлений** воздуха по обе стороны остекления, Па. **Наружное** давление складывается из **гравитационного** (аэростатического) P_{HG} и **ветрового** P_{VH} на наветренной стороне здания и P_{VB} – на боковой. **Внутреннее** давление так же состоит из **гравитационной** составляющей P_{0G} , зависящей от максимальной величины P_{HG} , и из **ветровой** P_{0V} , связанной с P_{VH} , P_{VB} и площадью остекления здания на наветренной, заветренной и боковых сторонах здания. Поэтому при неравномерной остекленности здания величина P_{0V} , а значит, и в целом P_0 , будет зависеть от направления ветра.

Предварительные вычисления:

Плотность воздуха снаружи здания: $\rho_H = \frac{353}{273 + t_H}$, кг/м³.

Плотность воздуха в здании: $\rho_B = \frac{353}{273 + t_B}$, кг/м³.

Разность удельного веса воздуха снаружи и в здании:

$$\Delta\gamma = 9,81 \cdot (\rho_H - \rho_B), \text{ Н/м}^3.$$

Максимальная величина избыточного гравитационного давления на уровне земли: $P_G = H \cdot \Delta\gamma$, Па.

Избыточное ветровое давление на наветренном фасаде:

$$P_{VH} = (c_H - c_3) \cdot \rho_H \cdot \frac{V_H^2}{2}, \text{ Па.}$$

Избыточное ветровое давление на боковом фасаде:

$$P_{VB} = (c_B - c_3) \cdot \rho_H \cdot \frac{V_H^2}{2}, \text{ Па.}$$

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА:

1. Принимаем направление ветра на 1-й фасад.
2. Вычисляем избыточное давление воздуха в здании P_0 , Па:

$P_0 = P_{0Г} + P_{0В}$, где $P_{0Г} = 0,5P_Г$ – гравитационная составляющая P_0 ;

$$P_{0В} = \frac{P_{ВН} \cdot A_{0.Н} + P_{ВБ} \cdot A_{0.Б1} + P_{ВБ} \cdot A_{0.Б2}}{A_{0.Н} + A_{0.Б1} + A_{0.Б2} + A_{0.3}} - \text{ветровая составляющая.}$$

3. Вычисляем избыточное давление воздуха с наветренной стороны здания на уровне центра окон каждого этажа:

$$P_{НiЭ} = P_{НГ} + P_{ВН}; \quad P_{НГ} = (H - h_{iЭ})\Delta\gamma, \text{ Па};$$

и то же для боковой стороны: $P_{НiЭ.Б} = P_{НГ} + P_{ВБ}$, Па.

4. Вычисляем расчетную разность давления с двух сторон окон каждого этажа на наветренной стороне.

$$\Delta P_{iЭ} = P_{НiЭ} - P_0, \text{ Па}; \text{ и то же для боковой стороны: } \Delta P_{iЭ.Б} = P_{НiЭ.Б} - P_0, \text{ Па.}$$

Если $\Delta P_{iЭ}$ или $\Delta P_{iЭ.Б} > 0$, то продолжаем вычисления с п. 5 по п .8.

5. Вычисляем расход воздуха, проходящего через 1 м² окна на каждом этаже для наветренной и боковой сторон:

$$g_{инф.iЭ} = \frac{1}{R_{и.ок}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{iЭ}}{10} \right)^{\frac{2}{3}}; \quad g_{инф.iЭ.Б} = \frac{1}{R_{и.ок}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{iЭ.Б}}{10} \right)^{\frac{2}{3}}, \text{ кг/(ч} \cdot \text{м}^2 \text{)}.$$

6. Вычисляем удельный поток теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха на каждом этаже для наветренной или боковой сторон:

$$q_{инф.iЭ} = 0,278 \cdot g_{инф.iЭ} \cdot c_B \cdot (t_B - t_H) \cdot A_{Э};$$

$$q_{инф.iЭ.Б} = 0,278 \cdot g_{инф.iЭ.Б} \cdot c_B \cdot (t_B - t_H) \cdot A_{Э}, \text{ Вт/м}^2.$$

7. Повторяем все расчеты, принимая направление ветра на другие фасады здания.

Результаты удобнее представить в виде заполненных таблиц (см. пример).

8. Вычисляем теплотозатраты на инфильтрацию по помещениям $Q_{и}$, Вт:

$$\text{а) Если помещение выходит на один фасад, то: } Q_{и} = q_{инф.iЭ} \cdot \sum A_{ок};$$

где $q_{инф.iЭ}$ берется для соответствующего этажа из варианта, когда наветренным является фасад, на который выходит помещение; $\sum A_{ок}$ – суммарная площадь окон в помещении, м².

б) Если помещение выходит на два или более фасада: сравниваем варианты суммарных теплотрат на инфильтрацию при различных направлениях ветра, например $Q_1 = q_{инф.в}^1 \cdot A_1 + q_{инф.б}^1 \cdot A_2$; $Q_2 = q_{инф.в}^2 \cdot A_2 + q_{инф.б}^2 \cdot A_1$. Здесь A_1 и A_2 – площадь окон в помещении, выходящих соответственно на 1-й и 2-й фасад, м²; индексы 1 и 2 у значений $q_{инф}$ означают номера вариантов.

Пример расчета инфильтрационных теплотерь

Общественное двухэтажное здание: Амбулатория на 100 посещений в смену с аптекой IV группы в конструкциях.

Район строительства – г. Краснодар. Температура наружного воздуха в ХП по параметрам «Б» $t_{н5} = -19^\circ\text{C}^2$, расчетная скорость ветра $v_H = 3,2$ м/с [1], но поскольку $v_H < 5$, для расчета принимаем $v_H = 5$ м/с как для типового проекта. **В курсовой работе принимается скорость ветра по [1], такая же, как в 1-й части работы.** Средняя по зданию температура внутреннего воздуха в ХП для расчета системы отопления $t_b = +18^\circ\text{C}$ [3].

Характеристика здания:

Высота $H = 7,7$ м; длина $L = 27$ м; ширина $B = 27$ м, площадь остекления фасадов $A_{о.н} = 15,12$ м²; $A_{о.б1} = 12,96$ м²; $A_{о.б2} = 10,8$ м²; $A_{о.з} = 19,44$ м², высота этажа $h_{эт} = 3.3$ м; высота от уровня Земли до центра окна 1-го этажа $h_{з1} = 2$ м.

Сопротивление окон воздухопроницанию: $R_{н.ок} = 0,26$ м²ч/кг.

Экономайзерный коэффициент, учитывающий влияние встречного теплового потока в конструкции окна: $A_э = 0,8$.

Средние величины аэродинамических коэффициентов фасада – по [9]:
навстречный фасад – $C_H = +0,8$; заветренный фасад – $C_з = -0,6$;
боковой фасад – $C_б = -0,4$.

² В данном примере приняты по данным [1] в редакции 2004 г. В курсовой работе следует пользоваться актуализированной редакцией [1] от 2018 г.

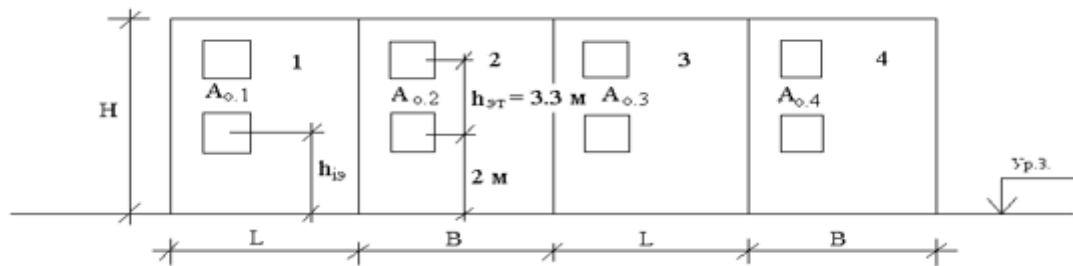


Рис.6. Развертка фасадов здания с обозначением геометрических параметров

Предварительный расчет:

Плотность воздуха снаружи: $\rho_H = \frac{353}{273 + (-19)} = 1,4, \text{ кг/м}^3.$

Плотность воздуха в здании: $\rho_B = \frac{353}{273 + 18} = 1,2, \text{ кг/м}^3.$

Разность удельного веса воздуха снаружи и в здании:

$$\Delta\gamma = 9,81 \cdot (\rho_H - \rho_B) = 9,81 \times (1,4 - 1,2) = 1,962 \text{ Н/м}^3.$$

Максимальная величина избыточного гравитационного давления на уровне земли: $P_r = H \cdot \Delta\gamma = 7,7 \times 1,962 \approx 15,1 \text{ Па}.$

Избыточное ветровое давление на наветренном фасаде:

$$P_{vH} = (0,8 - (-0,6)) \cdot 1,4 \cdot \frac{5^2}{2} \approx 24,5 \text{ Па}.$$

Избыточное ветровое давление на боковом фасаде:

$$P_{vB} = (-0,4 - (-0,6)) \cdot 1,4 \cdot \frac{5^2}{2} \approx 3,5 \text{ Па}.$$

Направление ветра на 1 фасад (ЮВ):

1. Вычисляем внутреннее избыточное давление воздуха в здании:

$$P_{0r} = 0,5 P_r = 0,5 \cdot 15,1 \approx 7,55 \text{ Па};$$

$$P_{0v} = \frac{24,5 \cdot 15,12 + 3,5 \cdot 12,96 + 3,5 \cdot 10,8}{15,12 + 12,96 + 10,8 + 19,44} \approx 8,3 \text{ Па};$$

$$P_0 = P_{0r} + P_{0v} = 7,55 + 8,3 = 15,85 \text{ Па}.$$

2. Вычисляем избыточное давление воздуха с наветренной стороны здания на уровне центра окон каждого этажа.

I этаж: $P_{HГ} = (7,7 - 2) \cdot 1,962 \approx 11,2 \text{ Па};$

$$P_{H1Э} = P_{HГ} + P_{vH} = 11,2 + 24,5 = 35,7 \text{ Па}.$$

II этаж: $P_{HГ} = (7,7 - 5,3) \cdot 1,962 \approx 4,7 \text{ Па};$

$P_{H1Э} = P_{HГ} + P_{VН} = 4,7 + 24,5 = 29,2 \text{ Па}.$

боковой фасад:

I этаж: $P_{H1Э} = P_{HГ} + P_{VБ} = 11,2 + 3,5 = 14,7 \text{ Па};$

II этаж: $P_{H2Э} = P_{HГ} + P_{VБ} = 4,7 + 3,5 = 8,2 \text{ Па}.$

3. Вычисляем расчетную разность давления с двух сторон окон каждого этажа:

I этаж: $\Delta P_{1Э} = P_{H1Э} - P_0 = 35,7 - 15,85 = 19,85 \text{ Па};$

II этаж: $\Delta P_{2Э} = P_{H2Э} - P_0 = 29,2 - 15,85 = 13,35 \text{ Па}.$

Т.к. $\Delta P_э > 0$, продолжаем расчеты.

боковой фасад:

I этаж: $\Delta P_{1ЭБ} = P_{H1ЭБ} - P_0 = 14,7 - 15,85 = -1,15 \text{ Па}.$

II этаж: $\Delta P_{2ЭБ} = P_{H2ЭБ} - P_0 = 8,2 - 15,85 = -7,65 \text{ Па}.$

4. Вычисляем расход воздуха, проходящего через 1 м^2 окна на каждом этаже (только для наветренной стороны, поскольку на боковой стороне для обоих этажей $\Delta P < 0$):

I этаж: $g_{инф.1Э} = \frac{1}{0,26} \cdot \left(\frac{19,85}{10} \right)^{\frac{2}{3}} \approx 6,07 \text{ кг/(ч} \cdot \text{м}^2 \text{)}.$

II этаж: $g_{инф.2Э} = \frac{1}{0,26} \cdot \left(\frac{13,35}{10} \right)^{\frac{2}{3}} \approx 4,66 \text{ кг/(ч} \cdot \text{м}^2 \text{)}.$

5. Вычисляем удельный поток теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха:

I этаж: $q_{инф.1Э} = 0,278 \cdot 6,07 \cdot 1,005 \cdot (18 - (-19)) \cdot 0,8 = 50,2 \text{ Вт/м}^2.$

II этаж: $q_{инф.1Э} = 0,278 \cdot 4,66 \cdot 1,005 \cdot (18 - (-19)) \cdot 0,8 = 38,5 \text{ Вт/м}^2.$

Аналогично вычисляем для других направлений ветра, результаты сводим в табл. 10 и 11:

Расчет избыточного давления воздуха в здании

№ фас.	H, м	B, L, м	$A_{\text{фас.}i}, \text{м}^2$	$A_{O,i}, \text{м}^2$	$f_{\text{ост}}$	$P_{0Г}, \text{Па}$	$P_{0V}, \text{Па}$	$P_0, \text{Па}$
1	7.7	27; 27	207.9	15.12	0.073	7.55	8.3;	15.85;
2	7.7	27; 27	207.9	12.96	0.062		7.5;	15.05;
3	7.7	27; 27	207.9	19.44	0.094		9.6;	17.15;
4	7.7	27; 27	207.9	10.8	0.052		6.6	14.15
				$\Sigma=58.32$				

Примечания: $f_{\text{ост}} = \frac{A_{O,i}}{A_{\text{фас.}i}}$ – коэффициент остекленности i-го фасада (контрольная величина); $A_{\text{фас.}i} = H \times B$ или $H \times L$ – площадь i-го фасада; значения P_{0V} и P_0 , перечисленные в двух последних колонках через точку с запятой, соответствуют результатам расчетов при направлении ветра на 1-й, 2-й, 3-й и 4-й фасад.

Таблица 11

Расчет удельных потерь теплоты от инфильтрации

Этаж	H _{иэ} , м	$P_{нг}, \text{Па}$	$P_{ниэ}, \text{Па}$	$\Delta P_{iэ}, \text{Па}$	$g_{инф.иэ}, \text{кг}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$	$q_{инф.иэ}, \text{Вт}/\text{м}^2$	$\Delta P_{iэ.б}, \text{Па}$	$q_{инф.иэ.б}, \text{Вт}/\text{м}^2$
1	2	11,2	35,7	19,85; 20,65; 18,55; 21,55	6,07; 6,2; 5,8; 6,4	50,2; 51,3; 48; 52,9	-1,15; -0,35; -2,45; +0,55	-; -; -; 4,6
2	5,3	4,7	29,2	13,35; 14,15; 12,05; 15,05	4,66; 4,8; 4,4; 5,1	38,5; 39,7; 36,4; 42,2	-7,65; -6,85; -8,95; -5,95	-; -; -; -

В данной таблице значения в пяти последних колонках, перечисленные через точку с запятой, также соответствуют результатам расчетов при направлении ветра на 1-й, 2-й, 3-й и 4-й фасад.

Таким образом, инфильтрация на боковых сторонах имеет место только в варианте, когда наветренным является 4-й фасад, и только на 1-м этаже. Это следует из того, что у 4-го фасада минимальная площадь остекления и, следовательно, в варианте с 4-м наветренным фасадом будет минимальное значение P_{0V} , а значит, максимальные ΔP .

Итоговые теплотери здания определяют, суммируя теплотери помещений по этажам и лестничным клеткам (рассчитанных по всей высоте клеток без деления по этажам).

Удельную тепловую характеристику здания $q_{от}$, Вт/(м³·К), вычисляют делением итоговых теплопотерь здания на объем его отапливаемой части и расчетную разность температуры (для основных помещений):

$$q_{от} = \frac{Q_{зд}}{V_{зд}(t_B - t_H)},$$

где $Q_{зд}$ – итоговые теплопотери здания, Вт;

$V_{зд}$ – объем отапливаемой части здания, м³;

$(t_B - t_H)$ – разность температуры внутреннего воздуха в среднем по зданию или для характерных помещений здания (например, в здании школы – для классов) и наружного воздуха для ХП по параметрам «Б», К.

5.2. РАСЧЕТ ПОСТУПЛЕНИЙ ТЕПЛОТЫ, ВЛАГИ И УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

5.2.1. Методика и пример расчета поступлений теплоты, влаги и СО₂ от людей

Тепло- и влагопоступления от людей определяют по табл. 12 [10] с учетом температуры внутреннего воздуха в помещении и интенсивности физической нагрузки людей.

Таблица 12

Количество теплоты и влаги, выделяемое взрослыми людьми (мужчинами)

Показатель	Количество теплоты, Вт/чел, и влаги $m_{ч}$, г/(ч·чел), выделяемых одним человеком при температуре воздуха в помещении, °С					
	10	15	20	25	30	35
В состоянии покоя						
Теплота явная $q_{ч.я}$	140	120	90	60	40	10
Полная $q_{ч.п}$	165	145	120	95	95	95
Влага $m_{ч}$	30	30	40	50	75	115

При легкой работе						
$q_{ч.я}$	150	120	99	65	40	5
$q_{ч.п}$	180	160	151	145	145	145
$m_{ч}$	40	55	75	115	150	200
При работе средней тяжести						
$q_{ч.я}$	165	135	105	70	40	5
$q_{ч.п}$	215	210	205	200	200	200
$m_{ч}$	70	110	140	185	230	280
При тяжелой работе						
$q_{ч.я}$	200	165	130	95	50	10
$q_{ч.п}$	290	290	290	290	290	290
$m_{ч}$	135	185	240	295	355	415

Примечание: для женщин значения необходимо умножать на 0,85; для детей – на 0,75.

Выделение в помещение **влаги** рекомендуется уточнять по следующей формуле, кг/ч:

$$M_{ВП} = \frac{3,6 \cdot Q_{СКР}}{r_0 + c_{ВП} \cdot t_B}, \text{ где } Q_{СКР} = Q_{П} - Q_{Я}, \text{ Вт} - \text{разность поступлений полной и явной}$$

теплоты, т.е. **поток скрытой теплоты**; $r_0 = 2500$ кДж/кг – удельная теплота парообразования воды при нулевой температуре; $c_{ВП}$ – теплоемкость водяных паров, равная 1,8 кДж/(кг·К).

Выделение в помещение **углекислого газа**, выдыхаемого людьми, определяется в одинаковом размере для всех периодов года с учетом интенсивности физической нагрузки по табл. 13 ([11], с изменениями):

Таблица 13

Количество углекислого газа, выделяемого взрослыми людьми (мужчинами)

Интенсивность нагрузки	Поступления CO_2 , m_{CO_2} , л/ч от 1 чел.
------------------------	---

Покой	18
Легкая работа	25
Работа средней тяжести	35
Тяжелая работа	50

Примечание: для женщин значения необходимо умножать на 0,85; для детей – на 0,75.

Пример расчета поступлений теплоты, влаги и углекислого газа в помещение общественного здания.

Исходные данные:

Общественное двухэтажное здание: Амбулатория на 100 посещений в смену с аптекой IV группы в конструкциях.

Район строительства – г. Краснодар.

Помещение №1 (Зал обслуживания населения).

Размеры: 18,29 (площадь пола)×3,3 (высота) м. В помещении находятся: 7 человек (3 женщины, 4 мужчины) и 1 продавец (женщина), т.е. всего 4 женщины и 4 мужчины. Расчетные параметры наружного и внутреннего климата приняты аналогично примерам п.5.1.1 для рассматриваемого района строительства и с учетом категории помещения по [3].

Расчеты: Коэффициент снижения тепlopоступлений от людей:

$\eta_{ЖЕН} = 0,85$; $\eta_{МУЖ} = 1$. Категория работы – легкая.

Явная теплота:

III $t_B = 30,4 \text{ }^{\circ}\text{C} = t_{нА} + 3 = 27,4 + 3$ (по требованиям [2] при $t_{нА} > +25^{\circ}$ разрешается принимать допустимую t_B по-прежнему на уровне $t_{нА} + 3$, т.е. выше, чем $+28^{\circ}$, но не более чем до $+33^{\circ}$); $q_{ч.я.} = 37,6 \text{ Вт/чел}$ (по таблице 12).

$$Q_{ч.я.} = \sum q_{ч.я.} \cdot N \cdot \eta = 37,6 \cdot 4 \cdot 0,85 + 37,6 \cdot 4 \cdot 1 = 278,2 \text{ Вт.}$$

Здесь N – число людей соответствующего пола и возраста и с данной категорией работы.

$$\text{III } t_B = 18 \text{ }^\circ\text{C}; q_{ч.я.} = 108,2 \text{ Вт/чел.}$$

$$Q_{ч.я.} = \sum q_{ч.я.} \cdot N \cdot \eta = 108,2 \cdot 4 \cdot 0,85 + 108,2 \cdot 4 \cdot 1 = 801 \text{ Вт.}$$

$$\text{XII } t_B = 20 \text{ }^\circ\text{C}; q_{ч.я.} = 99 \text{ Вт/чел.}$$

$$Q_{ч.я.} = \sum q_{ч.я.} \cdot N \cdot \eta = 99 \cdot 4 \cdot 0,85 + 99 \cdot 4 \cdot 1 = 732,6 \text{ Вт.}$$

Полная теплота:

$$\text{TI } t_B = 30,4 \text{ }^\circ\text{C}; q_{ч.п.} = 145 \text{ Вт/чел (по таблице 12).}$$

$$Q_{ч.п.} = \sum q_{ч.п.} \cdot N \cdot \eta = 145 \cdot 4 \cdot 0,85 + 145 \cdot 4 \cdot 1 = 1073 \text{ Вт.}$$

$$\text{III } t_B = 18 \text{ }^\circ\text{C}; q_{ч.п.} = 153,3 \text{ Вт/чел.}$$

$$Q_{ч.п.} = \sum q_{ч.п.} \cdot N \cdot \eta = 153,3 \cdot 4 \cdot 0,85 + 153,3 \cdot 4 \cdot 1 = 1135 \text{ Вт.}$$

$$\text{XII } t_B = 20 \text{ }^\circ\text{C}; q_{ч.п.} = 151 \text{ Вт/чел.}$$

$$Q_{ч.п.} = \sum q_{ч.п.} \cdot N \cdot \eta = 151 \cdot 4 \cdot 0,85 + 151 \cdot 4 \cdot 1 = 1117,4 \text{ Вт.}$$

Скрытая теплота и влага:

$$\text{TI } M_{вп} = \frac{3,6 \cdot (1073 - 278,2)}{2500 + 1,8 \cdot 30,4} \approx 1,12 \text{ кг/ч.}$$

$$\text{III } M_{вп} = \frac{3,6 \cdot (1135 - 801)}{2500 + 1,8 \cdot 18} \approx 0,5 \text{ кг/ч.}$$

$$\text{XII } M_{вп} = \frac{3,6 \cdot (1117,4 - 732,6)}{2500 + 1,8 \cdot 20} \approx 0,55 \text{ кг/ч.}$$

Углекислый газ:

$$M_{CO_2} = \sum m_{CO_2} \cdot N \cdot \eta; \text{ в нашем случае } m_{CO_2} = 25 \text{ л/(ч} \cdot \text{чел)} \text{ по таблице 13.}$$

$$M_{CO_2} = 25 \cdot 4 \cdot 0,85 + 25 \cdot 4 \cdot 1 = 185 \text{ л/ч для всех периодов года.}$$

5.2.2. Правила и пример определения теплоступлений от освещения и отопительных приборов, а также теплотер в режиме вентиляции и кондиционирования воздуха

Теплоступления от источников искусственного освещения учитываются в холодный период года, за исключением помещений, перечисленных в примечаниях, когда такой учет возможен и в теплый и переходный периоды. Эти теплоступления зависят от принятого уровня освещенности помещения и удельных тепловыделений от установленных светильников и определяются с использованием следующих таблиц [11] по формуле:

$Q_{осв} = E \cdot F_{пл} \cdot q_{осв} \cdot h_{осв}$, где $F_{пл}$ – площадь пола помещения, m^2 , коэффициент $h_{осв}$ равен 1, если светильники находятся непосредственно в помещении, и 0,45 – если светильники располагаются в вентилируемом подвесном потолке. Остальные параметры приведены ниже.

Таблица 14

Удельные тепловыделения от светильников с люминесцентными лампами (верхние значения) и лампами накаливания (нижние значения)

Тип светиль- ника	Средние удельные тепловыделения $q_{\text{осв}}$, Вт/(лк·м²), для помеще- ний площадью, м²:					
	Менее 50		50 – 200		Более 200	
	При высоте помещения, м					
	До 3,6	Более 4,2	До 3,6	Более 4,2	До 3,6	Более 4,2
Прямого света	0,077	0,202	0,058	0,074	0,056	0,067
	0,212	0,280	0,160	0,204	0,154	0,187
Диффузного света	0,116	0,166	0,079	0,102	0,077	0,094
	0,319	0,456	0,217	0,280	0,212	0,268
Отраженного света	0,161	0,264	0,154	0,264	0,108	0,145
	0,443	0,726	0,424	0,726	0,297	0,399

Уровень общего освещения помещений

Помещения	Общая освещенность помещения E , лк
Проектные залы, конструкторские бюро	600
Читальные залы, проектные кабинеты, рабочие и классные комнаты и аудитории	300
Залы заседаний, спортивные, актовые, зрительные залы клубов, фойе театров, обеденные залы, буфеты	200
Крытые бассейны, фойе клубов и кинотеатров	150
Номера гостиниц	100
Зрительные залы кинотеатров, палаты и спальные комнаты санаториев	75
Торговые залы магазинов продовольственных товаров	400
То же, промышленных товаров	300
То же, хозяйственных товаров	200
Аптеки	150

Примечания:

- 1. Для помещений без световых проемов (зрительные залы и т.п.) теплопоступления от освещения учитывают во все периоды года в одинаковом размере. Теплопоступления от солнечной радиации в теплый и переходный период года учитываются, только если такое помещение находится на последнем или единственном этаже – это будут теплопоступления через покрытие или чердачное перекрытие.*
- 2. При "глубоких" помещениях (глубиной больше 6 м от оконных проемов) теплопоступления от освещения учитывают также в теплый и переходный период*

от источников, освещающих ту часть помещения, которая удалена от окон более чем на 6 м от окон, совместно с теплопоступлениями от солнечной радиации.

3. Частичный учет теплоты от искусственного освещения в теплый и переходный периоды года с коэффициентом 0,3...0,5 по сравнению с холодным периодом года также возможен в помещениях, в которых часть светильников работает днем (читальные залы, офисы, залы ресторанов и т.п.).

Теплопоступления в помещение от отопительных приборов $Q_{с.о.}$, Вт, установленных в нем, при расчете общеобменной вентиляции или кондиционирования воздуха в холодный период года определяют по формуле:

$$Q_{с.о.} = Q_{от} \frac{t_{ср.оп} - t_{в.вент}^{хп}}{t_{ср.оп} - t_{в.от}}, \text{ где } Q_{от} - \text{расчетная величина теплопотерь помещения,}$$

т.е. мощность системы отопления в помещении (из таблицы расчета теплопотерь), Вт; $t_{в.вент}^{хп}$ – температура воздуха в помещении в холодный период года для режима **вентиляции или кондиционирования воздуха** (из таблицы расчетных параметров внутреннего воздуха), °С; $t_{в.от}$ – то же, для режима **отопления** (из таблицы расчета теплопотерь), °С; $t_{ср.оп}$ – средняя температура теплоносителя в отопительных приборах при расчетных наружных условиях для отопления (параметры "Б"), °С; $t_{ср.оп} = \frac{t_{г} + t_{о}}{2}$, где $t_{г}$ и $t_{о}$ – температура воды в подающей и обратной магистралях системы отопления, °С. Для предварительных расчетов можно принять $t_{о} = 70^{\circ}\text{C}$, а $t_{г} = 95^{\circ}\text{C}$, кроме детских садов, яслей и больниц, где нужно принимать 85°C .

Теплопотери через ограждения и дополнительные теплопотери на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха вентилируемого помещения определяют по таблице расчета теплопотерь с последующим пересчетом на расчетные наружные и внутренние температуры, принятые для режима вентиляции или кондиционирования воздуха:

$$Q_{ПОТ}^{ХП} = Q_{ОТ} \frac{t_{В.ВЕНТ}^{ХП} - t_{Н.ОТ}}{t_{В.ОТ} - t_{Н.ОТ}}, \text{ Вт} - \text{ в холодный период года};$$

$$Q_{ПОТ}^{ПП} = Q_{ОТ} \frac{t_{В.ВЕНТ}^{ПП} - t_{Н.ПП}}{t_{В.ОТ} - t_{Н.ОТ}}, \text{ Вт} - \text{ в переходный период (только для вентиляции)}.$$

Здесь $t_{Н.ПП}$ – расчетная температура наружного воздуха в переходный период, принимаемая равной $+10^{\circ}\text{C}$; $t_{В.ВЕНТ}^{ПП}$ – расчетная температура внутреннего воздуха в переходный период в режиме вентиляции (из таблицы расчетных параметров внутреннего воздуха), $t_{Н.ОТ}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период по параметрам «Б».

Пример расчета тепlopоступлений от освещения и отопительных приборов, а также тепlopотерь в режиме вентиляции и кондиционирования воздуха для помещения в общественном здании.

Исходные данные:

Общественное двухэтажное здание: Амбулатория на 100 посещений в смену с аптекой IV группы в конструкциях.

Район строительства – г. Краснодар.

Помещение №1 (Зал обслуживания населения).

Размеры: 18,29 (площадь пола)×3,3 (высота) м.

Искусственное освещение:

$$Q_{ОСВ} = E \cdot F_{пл} \cdot q_{ОСВ} \cdot h_{ОСВ}, \text{ Вт.}$$

В нашем случае $F_{пл} = 18,29 \text{ м}^2$, $E = 150 \text{ лк}$ по табл. 15 для аптеки, $q_{ОСВ} = 0,087$ по таблице 14 при площади помещения до 50 м^2 и высоте помещения до $3,6 \text{ м}$. Принимаем светильники преимущественно прямого света и берем среднее значение между светильниками прямого и диффузного света. Коэффициент $h_{ОСВ} = 0,45$ (считаем, что светильники находятся в вентилируемом подвесном потолке).

$$\text{Тогда } Q_{ОСВ} = 150 \cdot 18,29 \cdot 0,087 \cdot 0,45 \approx 107,4 \text{ Вт.}$$

Теплопоступления от приборов системы отопления:

$$Q_{C.O.} = Q_{OT} \frac{t_{CP.OП} - t_{B.BEHT}^{XП}}{t_{CP.OП} - t_{B.OT}}, \text{ где } Q_{OT} = 862 \text{ Вт (из таблицы расчета теплопотерь);}$$

$$t_{CP.OП} = \frac{t_{Г} + t_{O}}{2} = \frac{95 + 70}{2} = 82,5^{\circ}C;$$

$$t_{B.BEHT}^{XП} = 20^{\circ}C; \quad t_{B.OT} = 16^{\circ}C;$$

$$Q_{C.O.} = 862 \frac{82,5 - 20}{82,5 - 16} \approx 814 \text{ Вт.}$$

Теплопотери в режиме вентиляции:

$$t_{B.BEHT}^{ПП} = 18^{\circ}C; \quad t_{H.OT} = -19^{\circ}C;$$

$$Q_{ПОТ}^{XП} = Q_{OT} \frac{t_{B.BEHT}^{XП} - t_{H.OT}}{t_{B.OT} - t_{H.OT}} = 862 \cdot \frac{20 - (-19)}{16 - (-19)} \approx 960,5 \text{ Вт;}$$

$$Q_{ПОТ}^{ПП} = Q_{OT} \frac{t_{B.BEHT}^{ПП} - t_{H.ПП}}{t_{B.OT} - t_{H.OT}} = 862 \cdot \frac{18 - 10}{16 - (-19)} \approx 197 \text{ Вт.}$$

Пример расчета теплопоступлений от солнечной радиации

Теплопоступления от солнечной радиации для теплого периода определяются **через окна** по методике, приведенной в Главе 2 [10]. Для переходного периода принимается такое же значение, как и для теплого. Если помещение находится на **последнем или единственном этаже**, кроме поступлений через окна, необходимо учитывать поступления **через покрытие** или чердачное перекрытие в размере 5 – 7 Вт/м². Если помещение имеет **два или более остекленных смежных фасада**, расчет необходимо вести **на несколько часов подряд**, начиная от момента максимума теплопоступлений от солнечной радиации на один фасад до максимума на другой. При этом для каждого часа вычисляются теплопоступления через каждый фасад, и затем определяются суммарные теплопоступления через все фасады также для каждого часа. За расчетное принимается

максимальное значение из всех часовых сумм. В этом случае результаты расчетов целесообразно свести в таблицу. Если в помещении имеются **два остекленных противоположных фасада**, которые одновременно не освещаются Солнцем, в этом случае расчет ведется на один час – час максимума теплоступлений для того фасада, для которого этот максимум больше, и к результату добавляются теплоступления через окна второго фасада для этого же часа (в этом случае это будут поступления только рассеянной радиации, т.к. данный фасад в этот момент прямыми лучами Солнца не будет освещен). Подробнее см. также пример расчета теплоступлений, приведенный ниже.

Исходные данные:

Общественное двухэтажное здание: Амбулатория на 100 посещений в смену с аптекой IV группы в конструкциях.

Район строительства – г. Краснодар.

Помещение №1 (Зал обслуживания населения).

Размеры: 18,29 (площадь пола)×3,3 (высота) м.

В помещении имеется одно окно с ориентацией на СВ.

Географическая широта $\varphi = 44^\circ \text{с.ш.}$; площадь окна $F_{\text{окн}} = 1,2 \cdot 0,9 = 1,08 \text{ м}^2$;

Расчет теплоступлений от солнечной радиации через окна помещения

1) Максимальное количество теплоты от прямой и рассеянной солнечной радиации, проникающей через одинарное остекление:

$q_{\text{пр}}^B = 369 \text{ Вт/м}^2$, $q_{\text{р}}^B = 98 \text{ Вт/м}^2$ в период с 6 до 7 часов по таблице 2.3 [10] для остекления, ориентированного на СВ на широте 44° .

Угол между солнечным лучом и окном: $\beta = \arctg(\text{ctgh} \cdot \cos A_{\text{со}})$, где h – высота стояния Солнца; $A_{\text{со}}$ – солнечный азимут остекления. Принимаем $h = 19^\circ$ по таблице 2.8 [10] для периода 6 – 7 часов и широты 44° .

По той же таблице принимаем азимут Солнца $A_c = 100^\circ$. Поскольку $A_c < 135$, то по таблице 2.6 [10] при ориентации СВ и времени до полудня $A_{CO} = 135 - A_c = 135 - 100 = 35^\circ$.

Тогда $\beta = \arctg(ctg 19 \cdot \cos 35) \approx 67,2^\circ$.

2) Коэффициент инсоляции вертикального остекления:

$K_{инс.в.} = \left(1 - \frac{L_r \cdot ctg \beta - a}{H}\right) \cdot \left(1 - \frac{L_b \cdot tg A_{CO} - c}{B}\right)$, где H – высота окна ($H = 1,2$ м); B – ширина ($B = 0,9$ м);

$a = c = 0$ – т.к. отсутствуют внешние солнцезащитные козырьки;

$L_r = L_b = 0,13$ – заглубление остекления от наружной поверхности фасада (принято 0,13 м, как для кирпичных зданий).

Отсюда $K_{инс.в.} = \left(1 - \frac{0,13 \cdot ctg 67,2^\circ - 0}{1,2}\right) \cdot \left(1 - \frac{0,13 \cdot tg 35^\circ - 0}{0,9}\right) \approx 0,858$.

3) Коэффициент облучения $K_{обл}$ зависит от углов:

$\beta_1 = \arctg\left(\frac{L_b}{B + c}\right) \approx 8,2^\circ$ – вертикальная компонента $K_{обл.в} = 0,984$ (Рис.2.4 [10]);

$\gamma_1 = \arctg\left(\frac{L_r}{H + a}\right) \approx 6,2^\circ$ – горизонтальная компонента $K_{обл.г} = 0,9784$ (см. там же).

Тогда $K_{обл} = K_{обл.в} \cdot K_{обл.г} \approx 0,96$.

4) Удельный тепловой поток от проникающей солнечной радиации через принятое остекление:

$q_{пр} = (q_{п}^B \cdot K_{инс.в} + q_{р}^B \cdot K_{обл}) \cdot K_{отн} \cdot \tau_2$, где $K_{отн}$ – коэффициент относительного проникновения солнечной радиации; для окон с двойным остеклением без солнцезащитных устройств и толщиной стекла 4 – 6 мм по таблице 2.4 [10] $K_{отн} = 0,8$;

τ_2 – коэффициент учета затенения окна переплетами; для принятого остекления по таблице 2.5 [10] $\tau_2 = 0,65$.

Тогда $q_{пр} = (369 \cdot 0,858 + 98 \cdot 0,96) \cdot 0,8 \cdot 0,65 \approx 214$ Вт/м².

5) Наружная условная температура на поверхности окна:

$$t_{H.YCЛ} = t_{H.CP} + 0,5A_{HH} \cdot \beta_2 + \frac{(S_B \cdot K_{ИНС.В} + D_B \cdot K_{ОБЛ}) \cdot \rho_{II} \cdot \tau_2}{\alpha_H}, \text{ где } t_{H.CP} - \text{средняя темпе-}$$

ратура наиболее жаркого месяца (июля); $t_{H.CP} = 23,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [1]; для кондиционируемых помещений следует принимать наружную температуру в теплый период года по параметрам «Б». A_{HH} – средняя суточная амплитуда колебания температуры наружного воздуха в теплый период; $A_{HH} = 18^{\circ}\text{C}$ [1];

$\beta_2 = -0,605$ – коэффициент, учитывающий суточный ход наружной температуры (таблица 2.9 [10] при $\varepsilon = 0$ для периода 6 – 7 часов);

ρ_{II} – приведенный коэффициент поглощения радиации; $\rho_{II} = 0,4$ по таблице 2.4 [10] для двойного остекления без солнцезащитных устройств при толщине стекла 4 – 6 мм;

S_B, D_B – количество теплоты, поступающей на вертикальную поверхность ориентации СВ в период 6-7 часов от прямой и рассеянной радиации для широты 44° по таблице 2.10 [10] ($S_B = 419 \text{ Вт/м}^2$, $D_B = 133 \text{ Вт/м}^2$);

α_H – коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности окна; для вертикальной поверхности $\alpha_H = 5,8 + 11,6\sqrt{V} = 5,8 + 11,6\sqrt{1} \approx 17,4 \text{ Вт/м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$t_{H.YCЛ} = 23,3 + 0,5 \cdot 18 \cdot (-0,605) + \frac{(419 \cdot 0,858 + 133 \cdot 0,96) \cdot 0,4 \cdot 0,65}{17,4} \approx 29,6^{\circ}\text{C}.$$

6) Теплопоступления от теплопередачи через окно:

$$q_{ИТ} = \frac{(t_{H.YCЛ} - t_B)}{R_0} = \frac{(29,6 - 30,4)}{0,42} \approx -1,9 \text{ Вт/м}^2, \text{ где } R_0 - \text{сопротивление окна теплопере-}$$

даче в летних условиях; для выбранного типа окна $R_0 = 0,42 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$ по таблице 2.4 [31].

7) Суммарные теплопоступления через окно, ориентированное на СВ:

$$Q_{CP} = (q_{ИП} + q_{ИТ}) \cdot A_{ОКН} = (214 - 1,9) \cdot 1,08 \approx 229 \text{ Вт}.$$

Результаты всех расчетов сводим в таблицы.

Таблица 16

Теплопоступления и теплопотери помещения с общеобменной вентиляцией

Наименование помещения	Объем помещения, м ³	Расчетный период года	Поступления в помещение явной теплоты, Вт						
			От людей		От солнечной радиации	От искусственного освещения	От системы отопления	От технологического оборудования	От прочих источников
			Явная	Полная					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	18,29×3,3 = 60,4	ТП	278,2	1073	229	–	–	–	–
		ПП	801	1135	229	–	–	–	–
		ХП	732,6	1117,4	–	107,4	814	–	–

Продолжение таблицы

Теплопоступления в помещение, Вт			Теплопотери помещения, Вт	Избыточная теплота		
Суммарные			Суммарные	Явная		Полная
Явные	Полные	скрытые		Вт	Вт/м ³	Вт
11	12	13	14	15	16	17
507,2	1302	797,8	–	507,2	8,4	1302
1030	1364	334	197	833	13,8	1167
1654	2038,8	384,8	960,5	693,5	11,5	1078,3

Таблица 17

Сводная таблица вредных выделений

№№ помещений	Наименование помещения	Объем помещения, м ³	Расчетный период года	Тепловые избытки			Влаговыделения, кг/ч	Газовые выделения, л/ч	$\varepsilon = Q_{п}/M_{вп}$, кДж/кг
				Явные, кДж/ч	Скрытые, кДж/ч	Полные, кДж/ч			
1	2	3	4	5	7	8	9	10	11
1	Зал обслуживания населения	60,4	ТП	1826	2872	4698	1,12	185	4194
			ПП	2998	1202	4200	0,5	185	8400
			ХП	2497	1385	3882	0,55	185	7100

Примечание: для перевода теплоизбытков в кДж/ч необходимо теплоизбытки в Вт умножить на 3,6.

Глава 6. Нестационарная теплопередача

6.1. Теплоустойчивость ограждения и помещения

Требуется определить, укладывается ли амплитуда колебаний температуры помещения при отоплении пропусками в допускаемые $+1,5^{\circ}\text{C}$, если температура наружного воздуха $+5^{\circ}\text{C}$.

В здании, присоединенном к системе теплоснабжения, в теплую часть отопительного периода из-за необходимости иметь достаточно высокую температуру для горячего водоснабжения, температура воды для отопления выше, чем это необходимо для поддержания заданной температуры помещения. Поэтому применяют отопление пропусками, то есть m часов теплоноситель циркулирует, а затем на n часов циркуляция прекращается. Этот метод регулирования теплоотдачи отопительных приборов в недавнем прошлом применялся в зданиях различного назначения, сейчас преимущественно в производственных.

Порядок расчета следующий:

1. Определяем теплотери помещения при заданной $t_H = 5^{\circ}\text{C}$ по формуле:

$$Q_5 = Q_{II} \frac{t_B - 5}{t_B - t_5^{92}} \quad (6.1)$$

здесь Q_{II} – суммарные теплотери помещения при расчетной температуре наружного воздуха, Вт.

Однако температура отопительного прибора при температуре наружного воздуха 5°C выше, чем это требуется, для возмещения рассчитанных теплотерь. Происходит это потому, что для удовлетворения требований к нагреву воды горячего водоснабжения, получающего теплоту от той же теплосети, что и для отопления, температурный график качественного

регулирования теплоотдачи отопительных приборов в зависимости от температуры наружного воздуха имеет излом. Этот излом не позволяет температуре воды в подающем трубопроводе теплосети снижаться ниже 70°C, при этом в обратном трубопроводе температура воды равна 42°C. Средняя температура отопительного прибора равна средней температуре воды в подающем и обратном трубопроводе системы отопления. Можно считать, что с учетом остывания воды в подающих магистралях системы отопления, температура воды, входящей в отопительный прибор, составит 70-1=69°C. Тогда средняя температура отопительного прибора равна (69+42)/2=55,5°C вместо необходимой 44,6 °C. Изменение коэффициента теплопередачи прибора от разности температуры самого прибора и температуры воздуха помещения нелинейно. С учетом этого теплоотдача отопительного прибора, Вт, составит:

$$Q = Q_5 \cdot \left(\frac{t_{o.n} - t_B}{t_{o.n.zp} - t_B} \right)^{1,25} \quad (6.2)$$

Чтобы тепlopоступления от отопительного прибора в помещение в среднем за сутки были равны требуемой величине Q_5 , необходимо при отоплении пропусками соблюсти соотношение между продолжительностью топki и перерывом:

$$\frac{m}{m+n} = \frac{Q_5}{Q} \quad (6.3)$$

При заданном числе топок p период топок составляет $m+n=T=24/p$, то есть:

$$\frac{m}{24/p} = \frac{Q_5}{Q} \quad (6.4)$$

откуда определяется m , ч.

2. Определяем коэффициенты теплоусвоения $Y_{\text{огр}}$ внутренних поверхностей всех ограждений с учетом продолжительности периода колебаний температуры в помещении, равном $T=m+n$:

- сначала пересчитывается значение коэффициента теплоусвоения материала внутреннего (первого) слоя ограждающей конструкции по СП s_{24} , Вт/м²·°C, на период $T=m+n$:

$$s_{T,1} = s_{24} \cdot \sqrt{24 / (m + n)} \quad (6.5)$$

- затем, рассчитывается тепловая инерция D_1 внутреннего слоя:

$$D_1 = R_1 \cdot s_{T,1} \quad (6.6)$$

Если $D_1 > 1$, то коэффициент теплоусвоения $Y_{\text{огр}}$, Вт/м²·°C, внутренней поверхности ограждения равен $s_{T,1}$. Если $D_1 < 1$, в расчете необходимо учесть следующий (второй) слой ограждающей конструкции, для которого так же следует рассчитать $s_{T,2}$ и D_2 при периоде $T=m+n$, ч. Если тепловая инерция D_2 второго слоя больше 1, то коэффициент теплоусвоения $Y_{\text{огр}}$, Вт/м²·°C, внутренней поверхности ограждения равен:

$$Y_{\text{огр}} = \frac{R_1 \cdot s_{T,1}^2 + s_{T,2}}{1 + R_1 \cdot s_{T,2}} \quad (6.7)$$

Если же D_2 второго слоя меньше 1, то в расчет коэффициента теплоусвоения $Y_{\text{огр}}$, Вт/м²·°C, внутренней поверхности ограждения включается третий слой и т.д. по той же схеме, что и второй. При этом сначала определяется коэффициент теплоусвоения стыка второго и третьего слоев Y_{2-3} , Вт/м²·°C, по формуле (43), в которой индексы 1 меняются на 2, а 2 на 3.

- для перегородок, у которых тепловая инерция $D_{\text{пер}} < 2$ коэффициент теплоусвоения $Y_{\text{пер}}$, Вт/м²·°C, внутренней поверхности рассчитывается с учетом

того, что перегородки находятся в одинаковых тепловых условиях с обеих сторон и тепловая инерция каждой половины $D < 1$, то[^]

$$Y_{ПЕР} = (R_{ПЕР} / 2) \cdot s_{пер}^2 \quad (6.8)$$

- для окна коэффициент теплоусвоения $Y_{ок}$, Вт/м²·°C, внутренней поверхности определяется по формуле:

$$Y_{H.C.} = \frac{\alpha_H}{1 + R \cdot \alpha_H} = \frac{1}{R_{OK} - 1 / \alpha_B} \quad (6.9)$$

где $R_{ок}$ – приведенное сопротивление теплопередаче окна, м²·°C/Вт;

R – термическое сопротивление окна, м²·°C/Вт;

- затем **находят амплитуду колебаний температуры помещения** по формуле[^]

$$A_t = \frac{0,9 \cdot Q}{\frac{1}{\Omega^{МАКС} / \sum Y_i A_i + 1 / \alpha_B \sum A_i} + P_{ВЕНТ}} \quad (6.10)$$

где: $\Omega^{МАКС}$ - коэффициент прерывистости по таблице 19;

$\sum Y_i A_i$ - показатель теплоусвоения помещения, Вт/°C:

$$\sum Y_i A_i = Y_{НС} \cdot A_{НС} + Y_{ПТ} \cdot A_{ПТ} + Y_{ПЕР} \cdot A_{ПЕР} + Y_{ОК} \cdot A_{ОК} + Y_{ПЛ} \cdot A_{ПЛ} \quad (6.11)$$

α_B - средний коэффициент теплообмена на внутренних поверхностях ограждений, принимается равным 6,25 Вт/(м²·°C);

$\alpha_B \sum A_i$ -показатель теплообмена в помещении, Вт/°C;

$P_{ВЕНТ}$ -показатель теплопоглощения вентиляционным воздухом, Вт/°C:

$$P_{\text{ВЕНТ}} = 0,278L \cdot c\rho \quad (6.12)$$

здесь L – воздухообмен помещения, $\text{м}^3/\text{ч}$, в курсовой работе можно принять $60 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{чел}$;

c – теплоемкость воздуха, $1,005 \text{ кДж/кг}$;

ρ – плотность воздуха в помещении, $1,2 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 6.1.

Максимальные значения коэффициентов прерывистости

m/T	2/24	4/24	6/24	8/24	10/24	12/24	16/24	20/24
$\Omega^{\text{макс}}$	0,640	0,787	0,843	0,849	0,818	0,760	0,575	0,475

В случае превышения колебаний температуры воздуха в помещении над допустимой амплитудой расчет повторяется при увеличенном числе топок за сутки, но с сохраненном соотношении между m и n .

Пример расчета амплитуды колебаний температуры помещения при отоплении пропусками и расчета коэффициентов теплопоглощения поверхностей и теплоусвоения помещения

Требуется определить, укладывается ли амплитуда колебаний температуры помещения при отоплении пропусками с **двумя** топками в сутки в допускаемые $+1,5^\circ\text{C}$, если температура наружного воздуха $+5^\circ\text{C}$.

Определяем теплотери помещения 206 при заданной $t_H = 5^\circ\text{C}$ по формуле (37):

$$Q_5 = 551,7 \cdot \frac{19 - 5}{19 + 29} = 160,9 \text{ Вт}$$

здесь $Q_H = 551,7 \text{ Вт}$ - суммарные теплотери помещения при расчетной температуре наружного воздуха $t_H = -29^\circ\text{C}$.

С учетом срезки в отопительном графике изменения температуры теплоносителя в системе отопления в зависимости от температуры наружного воздуха теплоотдача отопительного прибора по формуле (38) составит:

$$Q = 160,9 \cdot \left(\frac{55,5 - 19}{44,6 - 19} \right)^{1,25} = 229,4 \text{ Вт}$$

Чтобы в помещении в среднем за сутки тепlopоступления от отопительного прибора были равны требуемой величине Q_5 соотношение между продолжительностью топки и перерыва по формуле (40) будет равно:

$$\frac{m}{m+n} = \frac{Q_5}{Q} = \frac{160,9}{229,4} = 0,7$$

При заданных двух топках период топок составляет $m+n=T=24/2=12$ ч, то есть:

$$\frac{m}{m+n} = 0,7 = \frac{m}{12}$$

откуда $m=12 \cdot 0,7=8,4$ ч. Принимаем продолжительность топки $m=8$ ч, а перерыва $n=4$ ч.

Определяем коэффициенты теплоусвоения Y_i внутренних поверхностей всех ограждений:

- наружная стена: внутренний слой - штукатурка, толщиной 0,02 м, с термическим сопротивлением $R_{шт} = 0,023 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, коэффициентом теплоусвоения $s_{24,шт} = 9,6 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Для периода $m+n=8+4=12$ часов:

$$s_{12,шт} = s_{24,шт} \cdot \sqrt{24 / (m+n)} = 9,6 \cdot \sqrt{24 / (8+4)} = 13,58 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Тепловая инерция $D = R_{шт} \cdot s_{12,шт} = 13,58 \cdot 0,023 = 0,312 < 1$. Следовательно, в расчете необходимо учесть следующий слой – кладки из сплошного глиняного кирпича, толщиной 0,25 м, с термическим сопротивлением $R_{к.к} = 0,25/0,7 = 0,31 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, коэффициентом теплоусвоения $s_{к.к} = 9,2 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Для периода $m+n=8+4=12$ часов:

$$s_{12,к.к.} = s_{24,к.к.} \cdot \sqrt{24 / (m+n)} = 9,2 \cdot \sqrt{24 / (8+4)} = 13,01 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Тепловая инерция } D = R_{к.к} \cdot s_{12,к.к.} = 13,01 \cdot 0,31 = 4,03 > 1.$$

Так как тепловая инерция второго слоя больше 1:

$$Y_{H.C.} = \frac{R_{шт} \cdot s_{12,шт}^2 + s_{12,К.К.}}{1 + R_{шт} \cdot s_{12,К.К.}} = \frac{0,023 \cdot 13,58^2 + 13,01}{1 + 0,023 \cdot 13,01} = 13,28 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$$

- потолок: внутренний слой - железобетонная пустотная плита с $R_{шт}=0,151$ Вт/м²°C, с коэффициентом теплоусвоения $s_{24,шт}=10,159$ Вт/(м²°C) – величина усредненная с учетом тела ж/бетона и отверстий $[(0,22 \cdot 0,21 - 3,14 \cdot 0,16^2/4)/(0,22 \cdot 0,21)] \cdot 17,98 = 10,159$ Вт/(м²°C) (здесь в квадратных скобках - относительная площадь тела плиты от всей площади ее поперечного сечения; 17,98 Вт/(м²°C) - коэффициентом теплоусвоения s_{24} для железобетона). Для периода $m+n=8+4=12$ часов:

$$s_{12,шт} = s_{24,шт} \cdot \sqrt{24/(m+n)} = 10,159 \cdot \sqrt{24/(8+4)} = 14,36 \text{ Вт/м}^2\text{°C}.$$

$$\text{Тепловая инерция } D = R_{шт} \cdot s_{12,шт} = 14,36 \cdot 0,151 = 2,17 > 1.$$

Так как у первого слоя величина $D > 1$, то $Y_{шт} = s_{12,шт} = 14,36$ Вт/м²°C.

- перегородки: керамзитобетонные панели с термическим сопротивлением перегородки $R_{пер} = \delta / \lambda_A = 0,1 / 0,67 = 0,149$ м²°C/Вт, коэффициентом теплоусвоения $s_{24,пер} = 9,06$ Вт/м²°C. Для периода $m+n=8+4=12$ часов:

$$s_{12,пер} = s_{24,пер} \cdot \sqrt{24/(m+n)} = 9,06 \cdot \sqrt{24/(8+4)} = 12,81 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$$

Тепловая инерция $D = R_{пер} \cdot s_{12,пер} = 0,149 \cdot 12,81 = 1,908 < 2$. Так как перегородки находятся в одинаковых тепловых условиях с обеих сторон и тепловая инерция каждой половины $D < 1$, то $Y_{пер} = (R_{пер} / 2) \cdot s_{пер}^2 = 0,149 / 2 \cdot 12,81^2 = 12,22$ Вт/м²°C.

- окно: сопротивление теплопередаче окна $R_{ок}=0,45$ м²°C/Вт

$$Y_{H.C.} = \frac{\alpha_H}{1 + R \cdot \alpha_H} = \frac{1}{R_{ок} - 1 / \alpha_B} = \frac{1}{0,45 - 1 / 8,7} = 2,98 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$$

- пол: паркетный из дуба поперек волокон с сопротивлением теплопередаче слоя дуба $R_{дуб}=0,083$ м²°C/Вт, с коэффициентом теплоусвоения $s_{24,дуб} = 5,0$ Вт/м²°C. Для периода $m+n=8+4=12$ часов:

$$s_{12,дуб} = s_{24,дуб} \cdot \sqrt{24/(m+n)} = 5,0 \cdot \sqrt{24/(8+4)} = 7,07 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$$

Тепловая инерция $D_{ДУБ} = R_{ДУБ} \cdot s_{12,ДУБ} = 7,07 \cdot 0,083 = 0,587 < 1$. Следовательно, в расчет следует ввести следующий слой - сплошную железобетонную плиту с термическим сопротивлением $\delta / \lambda_A = 0,22 / 1,92 = 0,114 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ и коэффициентом теплоусвоения $s_{24,Ж.Б.} = 17,98 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$. Для периода $m+n=8+4=12$ часов:

$$s_{12,Ж.Б.} = s_{24,Ж.Б.} \cdot \sqrt{24 / (m+n)} = 17,98 \sqrt{24 / (8+4)} = 25,4 \text{ Вт/м}^2\text{°C}.$$

Тепловая инерция слоя железобетона равна $D_{Ж.Б.} = R_{Ж.Б.} \cdot s_{12,Ж.Б.} = 0,114 \cdot 25,4 = 2,89 > 1$. Следовательно:

$$Y_{пл.} = \frac{R_{ДУБ} \cdot s_{12,ДУБ}^2 + s_{12,Ж/Б.}}{1 + R_{ДУБ} \cdot s_{12,Ж/Б.}} = \frac{0,083 \cdot 7,07^2 + 25,4}{1 + 0,083 \cdot 25,4} = 9,51 \text{ Вт/м}^2\text{°C}.$$

На рисунке П1 представлены план типового этажа рассматриваемого в примере здания.

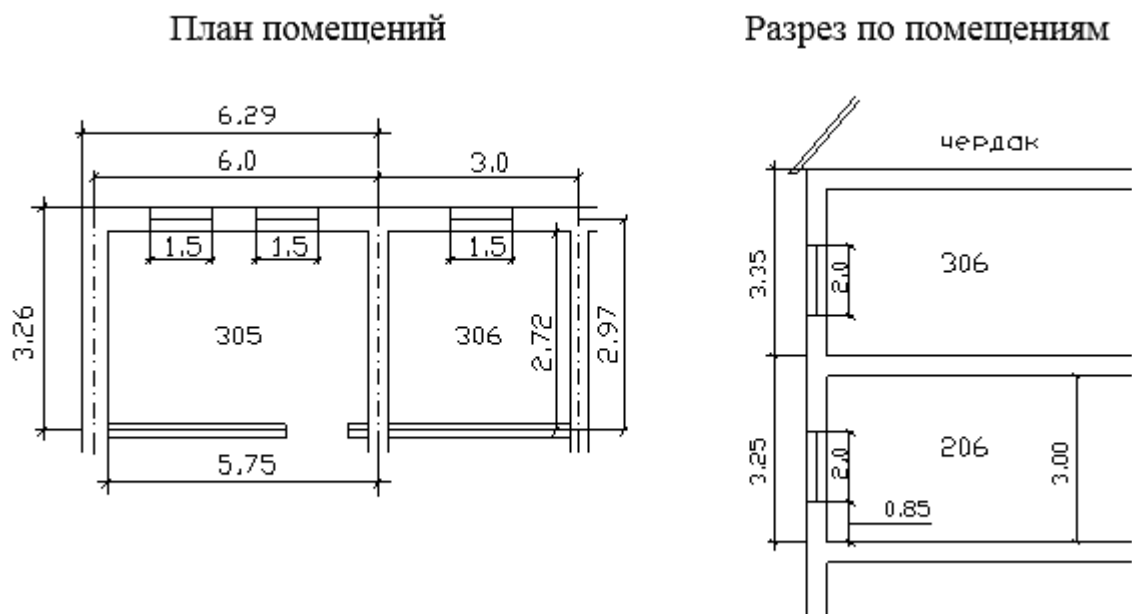


Рисунок П1. План типового этажа и разрез по зданию

Амплитуда колебаний температуры помещения 206 равна:

$$A_t = \frac{0,9 \cdot Q}{\frac{1}{\Omega^{МАКС} / \sum Y_i A_i + 1 / \alpha_B \sum A_i} + P_{ВЕНТ}} = \frac{0,9 \cdot 229,4}{\frac{1}{0,575 / 627,7 + 1 / 333,9} + 20} = \frac{206,46}{258,86} = 0,8^{\circ}\text{C}$$

где: $\Omega^{МАКС}$ - коэффициент прерывистости по таблице 19 при отношении $m/T = m/(n+m) = 8/12 = 16/24$:

$$\Omega^{MAKC}=0,575;$$

$\sum Y_i A_i$ - показатель теплоусвоения помещения:

$$\begin{aligned}\sum Y_i A_i &= Y_{HC} \cdot A_{HC} + Y_{ПТ} \cdot A_{ПТ} + Y_{ПЕР} \cdot A_{ПЕР} + Y_{ОК} \cdot A_{ОК} + Y_{ПЛ} \cdot A_{ПЛ} = \\ &= 13,28 \cdot 6,75 + 14,36 \cdot 8,14 + 12,22 \cdot 27,40 + 2,98 \cdot 3 + 9,51 \cdot 8,14 = 627,7 \text{ Вт/}^\circ\text{C};\end{aligned}$$

α_B - средний коэффициент теплообмена на внутренних поверхностях ограждений, принимается равным $6,25 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$;

$\alpha_B \sum A_i$ -показатель теплообмена в помещении:

$$\alpha_B \sum A_i = 6,25 \cdot (6,75 + 8,14 + 27,40 + 3 + 8,14) = 333,9 \text{ Вт/}^\circ\text{C}.$$

$P_{ВЕНТ}$ -показатель теплопоглощения вентиляционным воздухом:

$$P_{ВЕНТ} = 0,278 L \cdot c \rho = 0,278 \cdot 60 \cdot 1,005 \cdot 1,2 = 20 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$$

где L – воздухообмен помещения, $\text{м}^3/\text{ч}$, принимаем $60 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{чел.}$ Считаем, что в рассматриваемом помещении находится 1 человек;

c – теплоемкость воздуха, $1,005 \text{ кДж/кг}$;

ρ – плотность воздуха в помещении, $1,2 \text{ кг/м}^3$.

Так как полученная амплитуда колебаний температуры помещения меньше допускаемой ($0,8 < 1,5$), отопление пропусками в принятом режиме допустимо.

В случае превышения колебаний температуры воздуха в помещении над допустимой амплитудой расчет повторяется при увеличенном числе топок за сутки, но сохраненном соотношении между m и n .

Глава 7. Процессы формирования и обеспечения микроклимата помещения

7.1. РАСЧЕТ ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЯ

7.1.1. Правила расчета воздухообмена по вредным выделениям и по нормам кратности

Требуемые воздухообмены общеобменной вентиляции в помещении в случае "один приток – одна вытяжка" ($n=1, m=1$). Последовательность расчета требуемого воздухообмена общеобменной вентиляции следующая:

- 1) задают параметры приточного и уходящего из помещения воздуха;
- 2) определяют требуемый воздухообмен для данного периода.

Требуемый воздухообмен по избыткам явной теплоты ($Q_{изб.я}$, Вт) находят, решая систему двух уравнений: баланса помещения по явной теплоте и баланса по воздуху [6]:

$$G_{\Pi}^{TP} = G_{\text{в}}^{TP} = \frac{3,6 \cdot Q_{изб.я}}{c_B \cdot (t_{\text{в}} - t_{\Pi})},$$

где $G_{\text{в}}^{TP}$ и G_{Π}^{TP} – требуемые общеобменные вытяжка и приток, кг/ч;

c_B – удельная массовая теплоемкость воздуха, равная 1,005 кДж/(кг·К);

$t_{\text{в}}$ и t_{Π} – температура соответственно удаляемого и приточного воздуха, °С, для соответствующего периода года. Значение $Q_{изб.я}$ также принимают для соответствующего периода по таблице 16 «Теплопоступления и теплопотери помещения с общеобменной вентиляцией».

Для получения надежных результатов необходимо правильно выбрать $t_{\text{в}}$ и t_{Π} . В режиме ВЕНТИЛЯЦИИ при **вытяжке из верхней зоны** температуру удаляемого воздуха можно оценить по формуле:

$$t_{\text{в}} = t_B + \Delta t, \text{ где } \Delta t = (H - h_{p3}) \cdot \text{grad } t.$$

Здесь H – высота помещения, м; h_{pz} – высота рабочей зоны помещения, м, принимается равной 2 м, если люди в помещении стоят, и 1,5 м – если люди сидят или лежат; $grad\ t$ – вертикальный градиент температуры, К/м, принимаемый в зависимости от удельной теплонапряженности помещения $q_{уд}$, Вт/м³, по табл. 18 [11]:

Таблица 18

Вертикальный градиент температуры в помещении в зависимости от его теплонапряженности.

Удельная теплонапряженность помещения $q_{уд}$, Вт/м ³	$grad\ t$, К/м
Более 23,2	0,8 – 1,5
11,6 – 23,2	0,3 – 1,2
Менее 11,6	0 – 0,5

В режиме **кондиционирования воздуха и вытяжке из верхней зоны** обычно принимают $t_y = t_B + 1$, т.е. $\Delta t = 1^\circ\text{C}$. Для воздуха, удаляемого **из обслуживаемой зоны**, и при вентиляции, и при кондиционировании необходимо считать $t_y = t_B$.

Что касается **температуры притока**, в режиме **кондиционирования воздуха** t_{Π} обычно предварительно принимают на 6 ... 8 градусов ниже величины t_B , взятой для соответствующего периода года. В дальнейшем значение t_{Π} может быть уточнено с последующим пересчетом воздухообмена по результатам проверки параметров приточной струи на входе ее в обслуживаемую зону помещения, а также с учетом возможности получения выбранной величины t_{Π} в теплый период года наиболее рациональным способом. Это делается в рамках **курсового проекта «Вентиляция и кондиционирование»**.

В режиме **вентиляции** предварительно принимается: в холодный период $t_{\Pi} = t_{B,OT}$; в теплый и переходный – на 0,5 ... 1 градус выше наружной температуры для данного периода по параметрам «А» с учетом того, что в эти периоды наруж-

ный воздух подается непосредственно в помещение в качестве притока без дополнительной тепловлажностной обработки и немного подогревается только в вентиляторе.

При необходимости полученный таким образом воздухообмен можно уточнить, проведя расчеты по избыткам полной теплоты $Q_{изб.п}$, Вт, и по влаговыведениям $M_{вп}$, кг/ч, с использованием следующих формул [6]:

$$G_{п}^{тр} = G_{у}^{тр} = \frac{3,6 \cdot Q_{изб.п}}{I_{у} - I_{п}}; \quad G_{п}^{тр} = G_{у}^{тр} = \frac{M_{вп}}{d_{у} - d_{п}} \cdot 10^3,$$

где $I_{у}$ и $I_{п}$ – энтальпия, кДж/кг, а $d_{у}$ и $d_{п}$ – влагосодержание, г/кг, соответственно удаляемого и приточного воздуха. Они определяются графически после построения процесса изменения состояния воздуха в помещении на $I-d$ -диаграмме. Результаты данного расчета не должны отличаться от вычислений по $Q_{изб.я}$ более, чем на 5 – 10%.

Требуемые воздухообмены в помещении с произвольным числом притоков и вытяжек. В общем случае, если в помещении “ n ” притоков и “ m ” вытяжек, требуемая по явной теплоте общеобменная вытяжка (индекс «У1») и общеобменный приток (индекс «П1») вычисляются по формулам [6]:

$$G_{у1} = \frac{3,6 \cdot Q_{изб.я} + \sum_2^n G_{пi} c_B (t_{пi} - t_{п1}) - \sum_2^m G_{yi} c_B (t_{yi} - t_{п1})}{c_B (t_{у1} - t_{п1})};$$

$$G_{п1} = \sum_1^m G_{yi} - \sum_2^n G_{пi}.$$

Расчетную величину воздухообмена в помещении G^P , кг/ч, т.е. расход воздуха для подбора вентиляционного оборудования, выбирают по следующим соображениям:

– для **вентиляции**:

расчетный воздухообмен равен большему из требуемых воздухообменов по трем периодам;

– для **кондиционирования воздуха**:

расчетным является больший из требуемых воздухообменов по двум периодам (ХП и ТП).

Если требуемые воздухообмены в разные периоды года отличаются значительно, может потребоваться **уточнение необходимой температуры притока или фактической температуры внутреннего воздуха** (только при вентиляции) для тех периодов, где требуемый воздухообмен был меньше окончательно принятого G^P (**обратная задача расчета воздухообмена**), кроме случая, когда принимается решение о проектировании дополнительной системы вентиляции или КВ, подключающейся в период, для которого требуемый воздухообмен больше.

После выбора G^P вычисляют **объемные расходы воздуха по притоку и вытяжке**, м³/ч: $L_{\Pi}^P = \frac{G^P}{\rho_{\Pi}}$; $L_{\text{в}}^P = \frac{G^P}{\rho_{\text{в}}}$, где плотность притока ρ_{Π} и вытяжки $\rho_{\text{в}}$, кг/м³, вычисляется в зависимости от температур притока и вытяжки, взятых для того периода, для которого они являются наибольшими (обычно для теплого периода): $\rho = \frac{353}{t + 273}$. Поскольку эти плотности неодинаковы, объемный расход по притоку и по вытяжке также может несколько не совпадать. После этого вычисляются **фактические кратности воздухообмена**: $K_p^{\Phi} = L^P / V$, ч⁻¹, также отдельно по притоку и по вытяжке. Здесь V – объем помещения по внутреннему обмеру, м³. Подробнее см. приведенный пример расчета воздухообмена.

После расчета L^P необходимо сравнить их с **минимальным расходом наружного воздуха L_{CO_2}** , м³/ч, которое определяют по выделениям углекислого газа:

$$L_{\text{CO}_2} = \frac{M_{\text{CO}_2}}{C_{\text{ПДК}} - C_{\Pi}}.$$

Здесь M_{CO_2} – выделение CO₂ в помещении, л/ч (см. п.5.2.1); $C_{\text{ПДК}}$ и C_{Π} – соответственно максимально допустимая концентрация (ПДК) углекислого газа во внутреннем воздухе и его концентрация в приточном воздухе, л/м³, определяемые по табл. 19 [12]:

Концентрация CO₂ в приточном воздухе и его ПДК

Район	С _п , л/м ³	Здание	С _{пдк} , л/м ³
Центр города (более 1 млн.чел)	0,75	Лечебные и детские	1,0
Район в черте города	0,5	Актовые, зрительные, спортивные залы и т.п. с большим числом людей	1,5
Загородная зона, небольшие поселки	0,4	При временном пребывании (магазины, кинотеатры)	2,0

Величина L_{CO_2} должна быть не меньше, чем предусмотрено нормами подачи наружного воздуха на одного человека L_0 для соответствующих зданий. Например, в зрительных залах и магазинах, а также в других общественных зданиях при временном пребывании людей (менее 2-х часов) – не менее 20 м³/ч на человека, при постоянном пребывании людей в общественных зданиях (более 2-х часов непрерывно) – не менее 60 м³/ч на человека, в спортивных залах – 80 м³/ч на одного занимающегося и не менее 20 м³/ч на одного зрителя [10].

Кратностью воздухообмена Kp называют отношение часового объемного расхода приточного воздуха (кратность притока Kp_{Π}) или расхода вытяжного воздуха (кратность вытяжки Kp_{γ}) к объему вентилируемого помещения. Размерность кратности воздухообмена [ч⁻¹]. При определении расхода воздуха по кратностям необходимо учитывать, что должен соблюдаться баланс по притоку и вытяжке между сообщающимися между собой соседними помещениями, например, объединенными общим коридором или шлюзом (см. пример в п.7.2.1).

В курсовой работе для большинства помещений здания предусмотрено **определение воздухообмена в м³/ч по величине нормативной кратности:**

$$L_{\Pi} = Kp_{\Pi} V; \quad L_{\gamma} = Kp_{\gamma} V,$$

где L_{Π} , L_{γ} – расчетный воздухообмен помещения по притоку и по вытяжке, м³/ч;

$Kp_{\Pi}, Kp_{\text{У}}$ – нормативная кратность притока и вытяжки, ч^{-1} ;

V – объем помещения по внутреннему обмеру, м^3 – произведение площади на высоту H "в чистоте", т.е. от пола до потолка.

Для некоторых помещений в литературе приводится **норма подачи наружного воздуха на 1 человека L_0 , $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{чел.})$** . В этом случае расчетный воздухообмен помещения вычисляется по формуле:

$$L_{\Pi} = L_{\text{У}} = L_0 N_{\text{чел}},$$

где $N_{\text{чел}}$ – количество людей в помещении. В отдельных помещениях, например, санузлах, душевых и т.д., роль $N_{\text{чел}}$ играет число унитазов, душевых сеток и других подобных измерителей. В таких случаях это оговаривается в справочной литературе.

Значения нормативных кратностей воздухообмена и нормативного воздухообмена на 1 человека, санитарный прибор и т.д. для различных помещений в зданиях разного назначения приведены в таблицах Главы 3 [10]. Если в таблице, относящейся к проектируемому зданию, сведения о некоторых помещениях отсутствуют, их можно найти в таблицах, относящихся к зданиям другого назначения.

Пример расчета воздухообмена по избыткам явной и полной теплоты и влаги

Исходные данные: Общественное здание в г. Краснодаре, рассмотренное в п.5.2.1.

Вентиляция. Расчетное помещение – зал обслуживания населения. Характеристики помещения, параметры микроклимата и результаты расчета тепловыделений приведены в примере п.5.2.1. Схема организации воздухообмена – один приток, одна вытяжка с подачей воздуха в верхнюю зону и удалением также из верхней зоны.

II $\Delta t = (H - 2) \cdot \text{grad } t = (3,3 - 2) \cdot 0,35 \approx 0,46^\circ\text{C}$ по формуле из п.7.1.1. В данном случае $h_{pz} = 2$ м, т.к. люди в помещении стоят. Величину $\text{grad } t$ принимаем по табл. 18 при удельной теплонапряженности $7,3 \text{ Вт/м}^3$. Расчет вначале ведем по избыткам явной теплоты.

$$t_y = t_B + \Delta t = 30,4 + 0,46 = 30,86^\circ\text{C}$$

$$t_{II} = t_{HA} + 0,5 = 27,4 + 0,5 = 27,9^\circ\text{C}$$

$$G_{II}^{TP} = G_y^{TP} = \frac{3,6 \cdot Q_{изб.я}}{c_B \cdot (t_y - t_{II})} = \frac{3,6 \cdot 507,2}{1,005 \cdot (30,86 - 27,9)} \approx 613 \text{ кг/ч}$$

$$\text{III} \Delta t = (H - 2) \cdot \text{grad } t = (3,3 - 2) \cdot 0,94 \approx 1,3^\circ\text{C}$$

$$t_y = t_B + \Delta t = 18 + 1,3 = 19,3^\circ\text{C}$$

$$t_{II} = t_{HA} + 0,5 = 10 + 0,5 = 10,5^\circ\text{C}$$

$$G_{II}^{TP} = G_y^{TP} = \frac{3,6 \cdot Q_{изб.я}}{c_B \cdot (t_y - t_{II})} = \frac{3,6 \cdot 830}{1,005 \cdot (19,3 - 10,5)} \approx 338 \text{ кг/ч}$$

$$\text{XII} \Delta t = (H - 2) \cdot \text{grad } t = (3,3 - 2) \cdot 1,1 \approx 1,43^\circ\text{C}$$

$$t_y = t_B + \Delta t = 20 + 1,43 = 21,43^\circ\text{C}$$

$$t_{II} = t_{B,OT} = 16^\circ\text{C}$$

$$G_{II}^{TP} = G_y^{TP} = \frac{3,6 \cdot Q_{изб.я}}{c_B \cdot (t_y - t_{II})} = \frac{3,6 \cdot 693,5}{1,005 \cdot (21,43 - 16)} \approx 457,5 \text{ кг/ч}$$

$G_{II}^P = G_y^P = \max(TII, III, XII) = 613 \text{ кг/ч}$, т.е. соответствует требуемому воздухообмену в ТП $\Rightarrow$ уточняем t_{II}^{XII} и t_B^{III} .

$$t_{II}^{XII} = t_y^{XII} - \frac{3,6 \cdot Q_{изб.я}^{XII}}{G^P \cdot c_B} = 21,43 - \frac{3,6 \cdot 693,5}{613 \cdot 1,005} \approx 17,4^\circ\text{C}$$

$$t_{II}^{III} = t_y^{III} - \frac{3,6 \cdot Q_{изб.я}^{III}}{G^P \cdot c_B} = 19,3 - \frac{3,6 \cdot 833}{613 \cdot 1,005} = 14,4^\circ\text{C}. \text{ Поскольку это выше наружной}$$

температуры в ПП, равной $+10^\circ\text{C}$, полученный результат говорит о том, что в ПП необходимо продолжать подогрев притока, в данном случае до температуры $+14,4^\circ\text{C}$, во избежание переохлаждения помещения.

После построения процессов изменения состояния воздуха в помещении на *I-d*-диаграмме (см. п.7.2.1) можно проверить расчет воздухообмена по избыткам полной теплоты и влаговыделениям. Проверку проводим для условий ТП, поскольку именно по этому периоду был принят расчетный воздухообмен.

$$G_{\Pi}^{TP} = G_v^{TP} = \frac{M_{ВП}}{d_y - d_{\Pi}} \cdot 10^3 = \frac{1,12}{14,4 - 12,5} \cdot 10^3 = 590 \text{ кг/ч (по влаге);}$$

где $M_{ВП} = 1,2 \text{ кг/ч}$ – влагопоступления (см. пример п.6.2.1);

$$G_{\Pi}^{TP} = G_v^{TP} = \frac{3,6 \cdot Q_{ИЗБ.П}}{I_y - I_{\Pi}} = \frac{3,6 \cdot 1302}{68,0 - 60,0} = 586 \text{ кг/ч (по полной теплоте).}$$

Здесь $Q_{ИЗБ.П} = Q_{ИЗБ.Я} + Q_{СКР} = 507,2 + (1073 - 278,2) = 1302 \text{ Вт}$ (см. примеры п.6.2.2).

Значения $I_{\Pi} = 60,0 \text{ кДж/кг}$ и $d_{\Pi} = 12,5 \text{ г/кг}$ определяются с помощью *I-d*-диаграммы или формул из п.1.1 для точки, лежащей на $0,5^{\circ}\text{C}$ выше точки, соответствующей параметрам «А» в ТП для рассматриваемого района, т.е. г. Краснодара по [1], а $I_y = 68,0 \text{ кДж/кг}$ и $d_y = 14,4 \text{ г/кг}$ – опять-таки графически после построения процесса изменения состояния воздуха в помещении на *I-d*-диаграмме для ТП. При этом используется значение углового коэффициента луча процесса (см. таблицу 17):

$$\varepsilon_{пом} = \frac{3,6 \cdot Q_{ИЗБ.П}}{M_{ВП}} = \frac{3,6 \cdot 1302}{1,12} = 4194 \text{ кДж/кг.}$$

Таким образом, отклонение воздухообмена, вычисленного по влаге, от определенного по явной теплоте, составляет $\frac{590 - 613}{613} \cdot 100\% = -3,8\%$, а при вычислениях по полной теплоте $\frac{586 - 613}{613} \cdot 100\% = -4,3\%$, что находится в допустимых пределах.

Вычисляем объемный расход воздуха и фактическую кратность воздухообмена, принимая температуры притока и уходящего воздуха наибольшими из всех расчетных периодов, т.е. в данном случае по ТП.

$$\rho_{\Pi} = \frac{353}{t_{\Pi} + 273} = \frac{353}{29,1 + 273} = 1,17 \text{ кг/м}^3;$$

$$L_{\Pi}^P = \frac{G^P}{\rho_{\Pi}} = \frac{613}{1,17} \approx 524 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad K_p^{\Phi} = L^P/V \approx 8,68 \text{ ч}^{-1};$$

$$\rho_y = \frac{353}{t_y + 273} = \frac{353}{31,78 + 273} = 1,16 \text{ кг/м}^3;$$

$$L_y^P = \frac{G^P}{\rho_y} = \frac{613}{1,16} \approx 528 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad K_p^{\Phi} = L^P/V \approx 8,74 \text{ ч}^{-1}.$$

Таким образом, расчет показывает, что объемные расходы притока и вытяжки отличаются незначительно, и этой разницей можно пренебречь.

Проверяем расчетный воздухообмен на соответствие санитарной норме:

$$L_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{C_{пдк} - C_{\Pi}}, \text{ где } C_{\Pi} = 0,5 \text{ л/м}^3, \quad C_{пдк} = 1 \text{ л/м}^3 \text{ (см. таблицу 19).}$$

$$M_{CO_2} = 185 \text{ л/ч};$$

$$L_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{C_{пдк} - C_{\Pi}} = \frac{185}{1 - 0,5} = 370 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$L_{CO_2} < L^P$, поэтому оставляем воздухообмен, вычисленный по избыткам явной теплоты.

Кондиционирование воздуха. Расчетное помещение – кабинет заведующего. Расчетные параметры наружного и внутреннего климата и результаты расчета теплотерь в холодный период в режиме отопления приняты по методике п.4.1.1. Схема организации воздухообмена – один приток, одна вытяжка с подачей воздуха в верхнюю зону и удалением также из верхней зоны.

$$\text{III} \quad t_{\Pi} = t_B - 6 = 24 - 6 = 18^{\circ}\text{C};$$

$$t_y = t_B + 1 = 24 + 1 = 25^{\circ}\text{C}. \text{ Расчет ведем по явной теплоте.}$$

$$G_{\Pi}^{TP} = G_y^{TP} = \frac{3,6 \cdot Q_{изб.я}}{c_B \cdot (t_y - t_{\Pi})} = \frac{3,6 \cdot 371}{1,005 \cdot (25 - 18)} \approx 190 \text{ кг/ч}$$

XII

$$t_{\Pi} = t_B - 6 = 21 - 6 = 15^{\circ}\text{C}; \quad t_y = t_B + 1 = 21 + 1 = 22^{\circ}\text{C}$$

$$G_{\Pi}^{TP} = G_y^{TP} = \frac{3,6 \cdot Q_{изб.я}}{c_B \cdot (t_y - t_{\Pi})} = \frac{3,6 \cdot 350,5}{1,005 \cdot (22 - 15)} \approx 180 \text{ кг/ч}$$

$G_{II}^P = G_V^P = \max(TII, XII) = 190 \text{ кг/ч}$, т.е. отвечает требуемому для ТП $\Rightarrow$ уточняем t_{II}^{XII} .

$$t_{II}^{XII} = t_v^{XII} - \frac{3,6 \cdot Q_{изб.я}^{XII}}{G^P \cdot c_B} = 22 - \frac{3,6 \cdot 350,5}{190 \cdot 1,005} \approx 15,4^\circ\text{C}$$

Вычисляем объемный расход воздуха и фактическую кратность воздухообмена, принимая температуры притока и уходящего воздуха наибольшими из всех расчетных периодов, т.е. в данном случае по ТП.

$$\rho_{II} = \frac{353}{t + 273} = \frac{353}{18 + 273} = 1,21 \text{ кг/м}^3;$$

$$L_{II}^P = \frac{G^P}{\rho_{II}} = \frac{190}{1,21} \approx 157 \text{ м}^3 / \text{ч}; \quad K_p^\Phi = L^P / V \approx 4,5 \text{ ч}^{-1};$$

$$\rho_v = \frac{353}{t + 273} = \frac{353}{25 + 273} = 1,18 \text{ кг/м}^3;$$

$$L_v^P = \frac{G^P}{\rho_v} = \frac{190}{1,18} \approx 161 \text{ м}^3 / \text{ч}; \quad K_p^\Phi = L^P / V \approx 4,5 \text{ ч}^{-1}.$$

Таким образом, и здесь объемные расходы притока и вытяжки отличаются незначительно.

Проверяем расчетный воздухообмен на соответствие санитарной норме:

$$M_{CO_2} = 25 \text{ л/ч}; \quad L_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{C_{пдж} - C_{II}} = \frac{25}{1 - 0,5} = 12,5 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$L_{CO_2} < L^P$, поэтому оставляем воздухообмен, вычисленный по избыткам явной теплоты.

7.2.1. Построение процессов изменения состояния воздуха на *I-d*-диаграмме и определение фактических параметров внутреннего воздуха при вентиляции

Схемы процессов изменения состояния воздуха в помещении, а при вентиляции – и при его обработке в приточной установке должны быть представлены на *I-d*-диаграмме с учетом избытков **полной теплоты** и **влаговывделений** в помещении для всех расчетных периодов года.

Параметры воздуха представлены характерными точками процессов:

точка Н – параметры наружного воздуха;

точка П – параметры приточного воздуха;

точка В – параметры воздуха в обслуживаемой зоне помещения;

точка У – параметры уходящего воздуха.

Параметры точки Н – температура и энтальпия – принимаются по таблице **«Расчетные параметры наружного воздуха»**. В холодный период используются параметры «Б», в теплый для режима кондиционирования – тоже «Б», а в теплый и переходный периоды для режима вентиляции – параметры «А».

В режиме **вентиляции** при прямоточной схеме построение процессов осуществляется для трех периодов и производится следующим образом. Сначала на *I-d*-диаграмме отмечается точка Н по ее температуре и энтальпии для соответствующего периода (в ХП – по температуре и относительной влажности). Затем от этой точки вертикально вверх по линии $d_H = const$ строится отрезок до пересечения с изотермой $t_P = const$, взятой для соответствующего периода, с учетом ее возможного уточнения после выбора расчетного воздухообмена. Получаем точку П. В теплый период года, когда осуществляется только подача воздуха без его обработки, подъем от точки Н к точке П составляет 0,5 ... 1 °С за счет подогрева в вентиляторе (см. п.7.1.1).

То же самое касается переходного периода, если по расчету оказалось, что подогрев притока не нужен. В противном случае процесс в переходный период будет выглядеть, в принципе, так же, как и в холодный. Затем от точки П проводим луч процесса в помещении с угловым коэффициентом $\varepsilon = Q_{изб.п} / M_{в.п}$, кДж/кг, где $Q_{изб.п}$ – избытки полной теплоты, кДж/ч; $M_{в.п}$ – влаговыделения, кг/ч, для соответствующего периода года. Значения ε должны быть определены при заполнении таблицы **«Сводная таблица вредных выделений»** (таблица 17).

На пересечении луча процесса с изотермами $t_B = const$ и $t_Y = const$, взятыми опять-таки для соответствующего периода, получаем соответственно точки В и У. По диаграмме определяем фактические значения относительной влажности внутреннего воздуха ϕ_B в точке В для каждого периода и проверяем, не превышают ли они максимально допустимых значений. После этого вычисляем остальные параметры состояния воздуха в точке В по формулам, приведенным в п.4.1.1, и заполняем до конца соответствующие колонки в таблице 6. Схемы процессов в режиме вентиляции приведены на рисунке 7 (слева – для ТП, справа – для ХП).

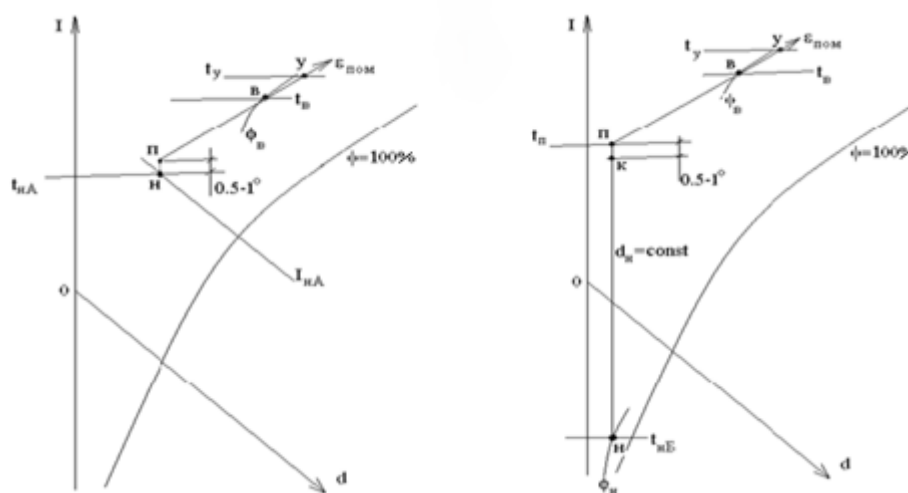


Рис.7. Процессы изменения состояния воздуха в помещении при вентиляции без рециркуляции (прямоточная схема)

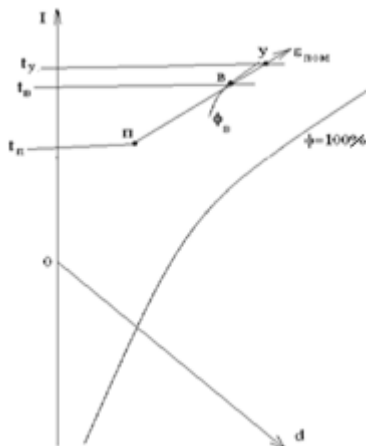
В условиях примера, рассмотренного в п.п. 5.2.1, 5.2.2 и 7.1.1, фактическая относительная влажность в холодный период года получается равной 12%, в переходный – 56%, а в теплый – 53%, что действительно лежит в допустимых пределах. Остальные уточненные параметры внутреннего воздуха приведены в таблице 20.

Таблица 20

Уточненные параметры состояния внутреннего воздуха в режиме вентиляции
для помещения, рассмотренного в п.5.2.1

Параметры внутреннего воздуха	ТП (В) доп.	ПП (В) доп.	ХП (В) доп.
Температура t_B , °С	30,4	18	20
Энтальпия I_B , кДж/кг	67,3	36,9	24,7
Влагосодержание d_B , г/кг	14,77	7,4	1,8
Относительная влажность φ , %	53	56	12
Температура мокрого термометра t_M , °С	49,68	13	7,8
Температура точки росы t_p , °С	20,04	9,4	– 8,8
Парциальное давление водяного пара $P_{ВП}$, Па	2338,2	1156	281
То же при полном насыщении $P_{НАС}$, Па	4411,6	2064	2338
Плотность ρ , кг/м ³	1,163	1,19	1,18
Удельный вес γ , Н/м ³	11,41	11,66	11,6

В режиме **кондиционирования воздуха** построение осуществляется для двух периодов и начинается с нанесения на диаграмму точки В по ее температуре и относительной влажности для соответствующего периода, поскольку в этом режиме жестко задаются именно внутренние параметры, а основная задача заключается в их обеспечении независимо от переменных наружных условий и внутренних воздействий. После этого через точку В проводится луч процесса с угловым коэффициентом ε , взятым для соответствующего периода, причем проводится в обе стороны – до пересечения с изотермой $t_{II} = const$ с учетом ее возможного уточнения после выбора расчетного воздухообмена, где мы получаем точку П, и до пересечения с изотермой $t_Y = const$, где мы имеем точку У. Значения t_{II} и t_Y также принимаются для соответствующего периода. Схема процесса приведена на рисунке 8. Примерно таким должен быть процесс в оба периода, только в холодный период точка В, а вместе с ней и точки П и У, и все построение в



ТОМЕШЕ-

№№	Наименование помещения	Площадь	Объе	Количе-	Нормативная кратность воз-	Расчетный возду
----	------------------------	---------	------	---------	----------------------------	-----------------

№№ помещений	Наименование помещения	Площадь помещения, м ²	Объем помещения V, м ³	Количество людей в помещении N _{чел.}	Нормативная кратность воздухообмена Кр, ч ⁻¹ , или норма подачи наружного воздуха на 1 человека L _о , м ³ /(ч·чел) [10]		Расчетный воздухообмен, м ³ /ч	
					Приток	Вытяжка	Приток	Вытяжка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Зал обслуживания населения	18,29	60,4		8,68 (по расчету)	8,74 (по расчету)	524 (по расчету)	528 (по расчету)
1А	зал обслуживания населения	25,2	88		8,68 (по расчету)*	8,74 (по расчету)*	764	769
1Б	зал обслуживания населения	12,2	43		8,68 (по расчету)*	8,74 (по расчету)*	373	376

1В	зал обслуживания населения	12,2	43		8,68 (по рас- чету)*	8,74 (по рас- чету)*	373	376
2	ассистентская	18,8	66		4	2	263	132
3	помещение хранения торго- вого запаса	17	60		2	3	120	180
3А	помещение хранения торго- вого запаса	16,9	59		2	3	118	177
4	моечная	10,7	37		2	3	75	112
5	дистиляционная-стерилиза- ционная	12,2	43		3	4	129	171
6	ассистентская-асептическая	12,2	43		4	2	171	85
7	стерилизационная	7,9	28		3	4	84	112
8	Кабинет заведующего	10,7	35,3		4,5 (по рас- чету – см. п.4.2)	4,5 (по расчету)	157 (по расчету)	161 (по расчету)
9	кладовая вспомогательного материала	8,3	29		-	1	-	29
10	кладовая стеклотары	11,8	41		-	1	-	41
11	бельевая	4,5	16		-	1	-	16
12	уборная	-	-	1 (уни- таз)	-	50 м ³ /час на 1 унитаза	-	50
						Итого	3151	3315
						Дисбаланс		164

Примечание: *) кратности приняты такие же, как для помещения 1, по примеру расчета воздухообмена по избыткам явной и полной теплоты и влаги в п.7.1.1, т.к. помещения имеют одинаковые названия (и, следовательно, одинаковое назначение).

Таким образом, для ликвидации дисбаланса нужен дополнительный приток в объеме 164 м³/ч в общий коридор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты данной курсовой работы **будут использованы в курсовых проектах по дисциплинам «Отопление» и «Вентиляции и кондиционирование».** Расчеты следует оформить в виде таблиц с минимальными разъяснениями в тексте пояснительной записки, с записью использованных формул и подстановкой в них числовых значений (см. примеры выполнения частей работы) с обязательными ссылками на использованную литературу. Планы этажей, подвала и чердака здания (при его наличии) в масштабе 1:100, необходимые для определения размеров помещений и их ограждающих конструкций, а также в качестве черновых планов для последующего нанесения оборудования систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, вычерчиваются на миллиметровой бумаге карандашом.

Глава 8. Энергопотребление и энергосбережение при обеспечении микро-климата

8.1. Расчет энергозатрат на систему отопления

Проведем сравнение годового энергопотребления для двух вариантов устройства системы отопления для здания средней школы в г. Москве по одному из типовых проектов. В первом варианте предусматриваем индивидуальное регулирование теплоотдачи отопительных приборов за счет установки термодатчиков, во 2-м варианте регулирование централизованное в ИТП, поэтому на подводах к приборам имеются только шаровые краны. Мощность системы отопления $\Sigma Q_{от}$ принимаем по данным следующей таблицы ([13], с изменениями):

Таблица 1.

Теплотехнические показатели здания средней школы (Вар.2).

Ограждение	Площадь A_i , m^2	Сопротивление теплопередаче R_i , $m^2 \cdot K / W$	Коэф- фици- ент поло- же- ния n_i	Произведение $n_i A_i / R_i$, W / K
Наружная стена	1014	1,88	1,00	540
Бесчердачное покрытие	1397	3,57	1,00	392
Пол над техпод- польем	1397	3,15	0,60	266
Окна	464	0,52	1,00	892
	Принимается по чертежам	По [4] при ГСОП = 4515	$V_{от} =$ 10100 $m^3 -$	$\Sigma n_i A_i / R_i = 2090 \text{ Вт/К}$
				$k_{об} = 2090 / 10100 =$ $0,207 \text{ Вт/(м}^3 \cdot \text{К)} -$

		К·сут с допу- стимым сниже- нием	отап- лива- емый объем	меньше допусти- мого по [4] (0,217 Вт/(м ³ ·К))
				$\Sigma Q_{от} = 2090(18 - (-25)) = 89870 \text{ Вт}^*$

*) при расчетной температуре наружного воздуха $t_{н5} = -25^\circ\text{C}$ [1] и средней по зданию температуре внутреннего воздуха $t_{в} = +18^\circ\text{C}$ [3].

Тогда годовые затраты тепловой энергии, потребляемую системой отопления $\mathcal{E}_{от}^Г = 0,0864 \cdot \frac{89870}{(18+25)} \cdot 4515 = 815300 \text{ МДж/г.}$ (2-й вариант). В 1-м варианте из этой величины нужно вычесть экономию за счет учета теплопоступлений. Принимаем удельные теплопоступления $q_{пост} = 10 \text{ Вт/м}^2$, тогда $\mathcal{E}_{пост}^Г = 0,0864 \cdot 10 \cdot 2794 \cdot 205 \cdot 0,85 = 420600 \text{ МДж/г.}$ Здесь $A_{от} = 2794 \text{ м}^2$ – отапливаемая площадь школы, принимаемая по чертежам, $z_{от} = 205 \text{ сут/г.}$ – продолжительность отопительного периода [1], 0,85 – коэффициент учета полезно используемых теплопоступлений. Таким образом, в 1-м варианте $\mathcal{E}_{от}^Г = 815300 - 420600 = 394700 \text{ МДж/г.}$, или более чем в два раза меньше, чем во втором варианте.

8.2. Расчет энергозатрат на систему вентиляции

Проведем сравнение годового энергопотребления для двух вариантов устройства утилизации теплоты вытяжного воздуха в системе механической вентиляции для здания средней школы в г. Москве, использованного в Примере 8.1. Отапливаемый объем здания $V_{от} = 10,1 \text{ тыс. м}^3$ – см. Пример 8.1. Принимаем среднюю кратность воздухообмена $K_p = 1,5$ [13], тогда ориентировочная воздухопроизводительность системы $L = 1,5 \cdot 10,1 = 15,2 \text{ тыс. м}^3/\text{ч.}$ Массовый расход воздуха составит $G_{п} = 15,2 \cdot 10^3 \cdot 1,2 = 18240 \text{ кг/ч,}$ где 1,2 – плотность воздуха, кг/м^3 .

В 1-м варианте предусматриваем теплоутилизацию с роторными регенераторами, во 2-м – с промежуточным теплоносителем. Определим годовые расходы теплоты на подогрев притока за отопительный период. Они будут различаться, поскольку коэффициент температурной эффективности утилизатора в 1-м варианте будет выше. Принимаем $k_{эф.1} = 0,75$ (среднее значение для роторного регенератора) и $k_{эф.2} = 0,45$ (среднее для схемы с промежуточным теплоносителем). Время работы системы вентиляции в течение недели считаем равным $Z_p = 84$ час (т.е. в среднем 12 часов в день). Тогда получим:

$$\Theta_{Т.вент1}^Г = (84/7) \cdot 18240 \cdot 1,005 \cdot 4515 \cdot (1 - 0,75) \cdot 10^{-3} = 248296 \text{ МДж/Г.};$$

$$\Theta_{Т.вент2}^Г = (84/7) \cdot 18240 \cdot 1,005 \cdot 4515 \cdot (1 - 0,45) \cdot 10^{-3} = 546251 \text{ МДж/Г.}$$

Здесь $c_v = 1,005$ кДж/(кг·К) – удельная теплоемкость воздуха.

Для сравнения, при отсутствии теплоутилизации:

$$\Theta_{Т.вент2}^Г = (84/7) \cdot 18240 \cdot 1,005 \cdot 4515 \cdot (1 - 0) \cdot 10^{-3} = 993183 \text{ МДж/Г.}$$

Список литературы к части «Микроклимат зданий» (разделы 4, 5, 7, 8)

1. СП 131.13330.2018 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* "Строительная климатология"». – М: Минстрой РФ, 2018.
2. СП 60.13330.2016 «Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха"». – М.: Минстрой РФ, 2016.
3. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Росстандарт, 2012.
4. СП 50.13330.2018 «Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий"». – М: Минстрой РФ, 2018.
5. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». – М: ГУП ЦПП, 2004.
6. Малявина Е.Г., Самарин О.Д. Строительная теплофизика и микроклимат зданий. – М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2018. 288 с.

7. Малявина Е.Г. Теплотери здания: справочное пособие (2-е издание, исправленное) / Е.Г.Малявина. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2011. 145 с.
8. Махов Л.М. Отопление. Учебник для вузов. – М.: Изд-во АСВ, 2014. 400 с.
9. СП 20.13330.2016 «Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* "Нагрузки и воздействия"». – М: Минстрой РФ, 2016.
- 10.Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн.1. / под ред. Н.Н.Павлова и Ю.И.Шиллера. – М: Стройиздат, 1992. 320 с.
- 11.Полосин И.И., Новосельцев Б.П., Шершнев В.Н. Теоретические основы создания микроклимата в помещении. – Воронеж, 2005. 143 с.
- 12.Отопление и вентиляция. Ч. II. Вентиляция. / Под ред. В.Н.Богословского. – М.: Стройиздат, 1976. 439 с.
- 13.О.Д.Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ, 2015. 136 с.