

РАСЧЕТ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ

Методические указания к курсовой работе и практическим занятиям для
студентов всех форм обучения
специальности 140104 «Промышленная теплоэнергетика»

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВЕДЕНИЕ	3
1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....	3
2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	4
2.1. Требуемое сопротивление теплопередаче.....	4
2.2. Сопротивление теплопередаче по условиям энергосбережения	6
2.3. Определение толщины утепляющего слоя.....	7
3. ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ПОМЕЩЕНИЯ	8
4. ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ ОГРАЖДЕНИЯ	12
5. ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЕ	17
5.1. Проверка ограждающих конструкций на инфильтрацию	17
5.2. Расчет затрат тепла на инфильтрацию.....	18
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	20
Приложение 1. Варианты заданий.....	21
Приложение 2. Схемы ограждающих конструкций	23
Приложение 3. Планы жилых комнат.....	25
Приложение 4. Схемы перекрытий	26
Приложение 5. Теплофизические характеристики строительных материалов	27
Приложение 6. Варианты задач для практических занятий	28

ВВЕДЕНИЕ

Целями выполнения курсовой работы по дисциплине "Отопление, вентиляция и кондиционирования воздуха" являются усвоение теоретического материала и приобретение навыков анализа соответствия строительных конструкций требованиям строительных теплотехнических норм.

Курсовая работа "Теплотехнический расчет ограждающих конструкций" должна содержать такие же разделы, как в настоящих методических указаниях.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходные данные для выполнения курсовой работы выбираются по номеру задания, определяемому преподавателем. Местонахождение здания и зона влажности по карте, номер и схема стеновой панели, номер и план комнаты, температуры наружного воздуха, продолжительность отопительного периода приведены в прил. 1, 2 и 3.

Расчетная температура внутреннего воздуха t_v принимается для жилых комнат согласно [1] в холодный период года равной $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре холодной пятидневки $t_n \geq -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $t_n < -30\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха $\varphi = 55\%$.

Капитальные внутренние стены выполнены из силикатного кирпича (плотность $\rho = 1800\text{ кг/м}^3$) толщиной 380 мм; внутренние перегородки - из бетонных плит ($\rho = 2400\text{ кг/м}^3$) толщиной 100 мм. Отделка внутренних поверхностей стен такая же, как у наружной стеновой панели по заданию. Конструкции перекрытий принимаются по прил. 4. Высота помещения между отметками полов 3,0 м; высота окна 1,8 м; высота двери 2,0 м, толщину деревянной двери принять 40 мм.

Теплотехнические показатели строительных материалов приведены в прил. 5 в зависимости от условий эксплуатации ограждающих конструкций [2]. Условия эксплуатации принимаются с учетом зоны влажности и влажностного режима помещения по табл. 1. Зоны влажности городов даны в прил. 1. Влажностный режим для жилых зданий - нормальный.

Таблица 1

Условия эксплуатации ограждающих конструкций

Влажностный режим помещений	Условия эксплуатации в зонах влажности		
	1 - сухая	2 - нормальная	3 - влажная
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный	Б	Б	Б

2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Согласно строительным нормам [2] сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R_o следует принимать равным большему из двух: R_o^{TP} (требуемое сопротивление теплопередаче по санитарно гигиеническим условиям) и R_o^{TM} (сопротивление теплопередаче по условиям энергосбережения).

2.1. Требуемое сопротивление теплопередаче

Сопротивление теплопередаче R_o является наименьшим, при котором R_o^{TP} обеспечивается допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям минимальная температура внутренней поверхности ограждения при расчетной зимней температуре наружного воздуха, и рассчитывается по формуле:

$$R_o^{TP} = \frac{(t_b - t_n)n}{\alpha_b \Delta t^n}, \quad (1)$$

где R_o^{TP} – требуемое сопротивление теплопередаче, $m^2 \text{ } ^\circ C / Bm$;

n – поправочный коэффициент на расчетную разность температур, зависящий от положения наружной поверхности по отношению к наружному воздуху; для наружных стен согласно [2] $n = 1$;

t_b – расчетная температура внутреннего воздуха, $^\circ C$;

t_n – расчетная температура наружного воздуха, равная температуре холодной пятидневки, $^\circ C$;

Δt^n – нормируемый температурный перепад (разность) между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности стены, принимаемый по табл.2;

α_b – коэффициент тепловосприятия внутренней поверхности ограждения, принимаемый по [2] для гладких внутренних поверхностей равным $8,7 Bm/(m^2 \text{ } ^\circ C)$.

Таблица 2

Значения нормируемого температурного перепада Δt^H

Назначение зданий	Значения Δt^H , °C		
	для наружных стен	для покрытий и чердачных перекрытий	для перекрытий над подвалом и проездами
Жилые, лечебные, детские	4	3	2
Общественные, административные, бытовые	4,5	4	2,5
Производственные с сухим и нормальным режимом	$t_e > t_p$, но не > 7	$0,8(t_e - t_p)$ но не > 6	2,5
Производственные с влажным режимом	$t_e - t_p$	$0,8(t_e - t_p)$	2,5

Примечание: t_p – температура точки росы при расчетных значениях t_e и относительной влажности воздуха ϕ_e .

Требуемое сопротивление теплопередаче окон $R_0^{тр}$ принимается согласно [2] в зависимости от разности температур внутреннего воздуха и средней температуры наиболее холодной пятидневки ($t_e - t_n$) по табл. 3. Значение выбранного сопротивления теплопередаче и соответствующую ему конструкцию остекления следует привести в пояснительной записке.

Для общественных и производственных зданий значения $R_0^{тр}$ окон и фонарей также принимаются по [2].

Таблица 3

Значения $R_0^{\text{тр}}$ и конструкции остекления для окон жилых зданий

$(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), ^\circ\text{C}$	$R_0^{\text{тр}}, \text{м}^2\text{ }^\circ\text{C} / \text{Вт}$	Тип остекления
До 25	0,18	Одинарное в деревянных переплетах
Свыше 25 до 44	0,39	Двойное в деревянных спаренных переплетах
Свыше 44 до 49	0,42	Двойное в деревянных раздельных переплетах
Свыше 49	0,53	Тройное в деревянных переплетах (спаренный и одинарный)

2.2. Сопротивление теплопередаче по условиям энергосбережения

Сопротивление теплопередаче по условиям энергосбережения R_0 принимается по табл. 4 в зависимости от величины градусо-суток отопительного периода B :

$$B = (t_{\text{в}} - t_{\text{оп}}) z_{\text{оп}}$$

где $t_{\text{оп}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, $^\circ\text{C}$;
 $z_{\text{оп}}$ – продолжительность отопительного периода, *сут.*

Таблица 4

Сопротивление теплопередаче по условиям энергосбережения $R_0^{\text{ЭН}}$

Назначение зданий	Тысячи градусо- суток	Сопротивление теплопередаче $R_0^{\text{ЭН}}$, $\text{м}^2 \text{°C} / \text{Вт}$ после 1 января 2000 г.			
		стен	покрытий	перекрытий неотапливаемых помещений	окон
Жилые, лечебные, детские	2	2,1	3,2	2,8	0,35
	4	2,8	4,2	3,7	0,40
	6	3,5	5,2	4,6	0,45
	8	4,2	6,2	5,5	0,50
	10	4,9	7,2	6,4	0,55
	12	5,6	8,2	7,3	0,60
Общественные	2	1,6	2,4	2,0	0,33
	4	2,4	3,2	2,7	0,38
	6	3,0	4,0	3,4	0,43
	8	3,6	4,8	4,1	0,48
	10	4,2	5,6	4,8	0,53
	12	4,8	6,4	5,5	0,58
Производственные	2	1,4	2,0	1,4	0,21
	4	1,8	2,5	1,8	0,24
	6	2,2	3,0	2,2	0,27
	8	2,6	3,5	2,6	0,30
	10	3,0	4,0	3,0	0,33
	12	3,4	4,5	3,4	0,36

2.3. Определение толщины утепляющего слоя

Расчетное сопротивление теплопередаче R_0^p ограждающей конструкции принимается равным большему из полученных значений $R_0^{\text{ТР}}$ и $R_0^{\text{ЭН}}$. Из уравнения (2) находится термическое сопротивление слоя утеплителя $R_{\text{ут}}$, по величине которого можно определить толщину утепляющего слоя конструкции:

$$R_0^p = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_1 + \dots + R_{\text{ут}} + \dots + R_n + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (2)$$

где $R_1 + \dots + R_{i_{\text{ут}}} + \dots + R_n$ – термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, определяемые для всех слоев (за исключением воздушных прослоек) как $R_i = \delta_i / \lambda_i$, $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$. Термическое сопротивление замкнутых вертикальных воздушных прослоек при толщине 0,03...0,05 м можно принять согласно [2] $R_{\text{вп}} = 0,16 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$;

δ_i – толщина i -го слоя, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности материала i -го слоя, $\text{Вт}/(\text{м} \text{ } ^\circ\text{C})$;

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции; для зимних условий согласно [2] для поверхностей, соприкасающихся с наружным воздухом, $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$.

Пример 1. Для наружной трех-слойной стеновой панели жилого дома (рис. 1) определить толщину слоя утеплителя $\delta_{2\text{ут}}$ из керамзитобетона.

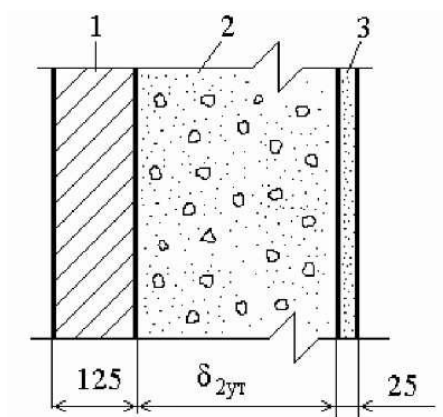


Рис. 1. Схема стеновой панели:

1- кирпичная кладка из
глиняного кирпича

($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$);

2- керамзитобетон

($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$);

3- известково-песчаная

штукатурка ($\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$)

Исходные данные

Температура внутреннего воздуха $t_{\text{в}} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$,
температура наружного воздуха $t_{\text{н}} = - 28 \text{ } ^\circ\text{C}$,
средняя температура наружного воздуха за
отопительный период $t_{\text{он}} = - 7,8 \text{ } ^\circ\text{C}$,
продолжительность отопительного периода
280 суток. Зона влажности - 2, условия
эксплуатации по табл. 1–Б. Значения
коэффициентов теплопроводности
материалов по прил. 1:

- кирпичная кладка, $\lambda_1 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \text{ } ^\circ\text{C})$;
- керамзитобетон, $\lambda_2 = 0,31 \text{ Вт}/(\text{м} \text{ } ^\circ\text{C})$;
- штукатурка, $\lambda_3 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \text{ } ^\circ\text{C})$.

Решение

Найдем минимальное сопротивление теплопередаче, требуемое по санитарно-гигиеническим условиям. Согласно уравнению (1)

$$R_0^{\text{тр}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})n}{\alpha_{\text{в}}\Delta t^{\text{н}}} = \frac{(20 + 28)^1}{8,7 \cdot 4} = 1,38 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт},$$

Величина градусо-суток отопительного периода составляет

$$B = (t_{\text{в}} - t_{\text{оп}}) z_{\text{оп}} = (20 + 7,8) 280 = 7784 \text{ град. сут.}$$

По табл. 3 находим сопротивление теплопередаче по условиям энергосбережения $R_0^{\text{эн}} = 2,4 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$. Так как большей является последняя величина, ее и принимаем в качестве расчетного сопротивления теплопередаче. Уравнение (2) примет вид

$$2,4 = 1/8,7 + 0,125/0,81 + \delta_{2\text{ут}} / 0,31 + 1/23.$$

Из последнего соотношения находим $\delta_{2\text{ут}} = 0,589 \text{ м}$ и округляем до величины 0,6 м.

3. ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ПОМЕЩЕНИЯ

Тепловой режим помещения, как правило, нестационарный. Это связано с изменениями температуры наружного воздуха, теплоотдачи систем отопления, тепловыделений от оборудования, теплопоступлений от солнечной радиации. Нестационарность теплового режима помещений необходимо учитывать в следующих случаях:

- при аварийных отключениях систем теплоснабжения и отопления;
- при регулировании центральных систем отопления пропусками, а также при печном отоплении;
- при обосновании необходимости дежурного отопления в период между рабочими сменами;
- при учете периодических теплопоступлений от солнечной радиации.

При уменьшении теплопоступлений воздух в помещении начинает охлаждаться и его температура со временем уменьшается. Этому препятствует теплоотдача в помещение всех ранее нагретых поверхностей

ограждающих конструкций, которые обладают теплоаккумулирующими свойствами.

Способность ограждающих конструкций помещения уменьшать колебания температуры внутреннего воздуха при периодических тепловых потоках называется теплоустойчивостью помещения.

Оценку теплоустойчивости помещения производят по величине амплитуды колебания температуры внутреннего воздуха. При регулировании систем центрального отопления допустимая амплитуда колебания температуры воздуха в помещении A_{tv} составляет $\pm 1,5$ °C, при печном отоплении ± 3 °C. При аварийном режиме и дежурном отоплении температура внутреннего воздуха не должна опускаться ниже $+ 5$ °C, а допустимая амплитуда изменения температуры внутреннего воздуха не должна превышать величину $(t_v - 5)/2$.

В курсовой работе необходимо определить амплитуду изменения температуры внутреннего воздуха для заданной комнаты при регулировании работы системы центрального отопления пропусками при $t_n = 0$ °C. Режим регулирования принять следующий: $m = 3$ часа - натоп (система отопления работает), $n = 3$ часа – пропуск (система отопления отключена).

Величина A_{tv} рассчитывается по формуле:

$$A_{tv} = \frac{\pm 0,7 M Q_{cp}}{\sum B_i F_i}, \quad (3)$$

где $M = (Q_{max} - Q_{min})/2Q_{cp}$ – коэффициент неравномерности теплоотдачи нагревательных приборов;

Q_{max} – максимальная теплоотдача нагревательных приборов, равная теплотерям через наружные ограждения при температуре наружного воздуха в момент отключения отопления, Bm ;

Q_{min} – минимальная теплоотдача нагревательных приборов, равная нулю при отключении отопления, Bm ;

Q_{cp} – средняя во времени теплоотдача нагревательных приборов, Bm ;

$$Q_{cp} = (mQ_{max} + nQ_{min})/(m + n)$$

m, n – время работы и отключения системы отопления, ч ;

$\sum B_i F_i$ – теплопоглощение внутренних поверхностей ограждающих конструкций, $Bm/^\circ C$.

Коэффициенты теплопоглощения B внутренних поверхностей ограждений в $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$ находятся по формуле:

$$B = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_b} + \frac{1}{Y_b}}, \quad (4)$$

где α_b – коэффициент тепловосприятия поверхности со стороны периодического теплового воздействия, $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

Y_b – коэффициент теплоусвоения этой поверхности, $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

Способ определения величины Y_b зависит от положения границы слоя резких колебаний температуры. Отметим, что слой резких колебаний – это слой, прилегающий к поверхности со стороны периодического теплового воздействия. На другой стороне его амплитуда колебания температуры составляет половину максимального значения на поверхности ограждения. Установлено, что инерционность слоя резких колебаний численно равна единице ($D_{PK} = 1$). Здесь используется показатель инерционности D , определяемый как $D = R \cdot S$, где S – коэффициент теплоусвоения материала, $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

Нужно иметь в виду, что коэффициент теплоусвоения материала слоя конструкции S , $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$, зависит от периода изменения теплового потока:

$$S = \sqrt{\frac{2\pi \cdot \lambda \cdot c \cdot \rho}{3600 \cdot Z}}, \quad (5)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала по условиям эксплуатации А или Б, $Bm/(m \cdot ^\circ C)$;

c – удельная теплоемкость, $Дж/(кг \cdot ^\circ C)$;

ρ – плотность, $кг/м^3$;

Z – период изменения теплового потока, ч.

При использовании коэффициентов теплоусвоения материалов S_{24} для периода изменения теплового потока $Z = 24$ часа по прил. 5 значения коэффициентов теплоусвоения материалов для других значений Z могут быть определены по формуле:

$$S = S_{24} \sqrt{\frac{24}{Z}}, \quad (6)$$

Если тепловая инерция первого от внутренней поверхности слоя ограждающей конструкции $D_1 = R_1 S_1 > 1$ (рис. 2,а), граница слоя резких колебаний температуры находится в пределах первого слоя ограждения. В этом случае затухание колебаний температуры по толщине ограждения определяется только теплотехническими свойствами материала первого слоя и $Y_{\text{в}} = S_1$.

Если тепловая инерция первого слоя $D_1 < 1$, следует рассчитать тепловую инерцию второго слоя $D_2 = R_2 S_2$ и определить тепловую инерцию первых двух слоев $D_1 + D_2$. При $D_1 + D_2 > 1$ граница слоя резких колебаний температуры находится в пределах второго слоя конструкции (рис. 2, б) и на затухание колебаний температуры оказывают влияние теплотехнические свойства материалов и первого и второго слоев. Поэтому

$$Y_{\text{в}} = \frac{R_1 S_1^2 + S_2}{1 + R_1 S_1}. \quad (7)$$

Для других случаев положения границы слоя резких колебаний температуры величина $Y_{\text{в}}$ может быть определена по методике, приведенной в [3]. При этом определение $Y_{\text{в}}$ начинается с внутренней поверхности $(n - 1)$ – го слоя, где n - число слоев, имеющих $\sum D > 1$ (рис. 2,в).

Коэффициент теплоусвоения $(n - 1)$ -го слоя равен

$$Y_{n-1} = \frac{R_{n-1} S_{n-1}^2 + S_n}{1 + R_{n-1} S_n}. \quad (8)$$

где R_{n-1} – термическое сопротивление $(n - 1)$ -го слоя, $\text{м}^2 \text{°C}/\text{Вт}$;

S_{n-1}, S_n – коэффициенты теплоусвоения материалов $(n - 1)$ -го и n -го слоев, $\text{м}^2 \text{Вт}/\text{°C}$.

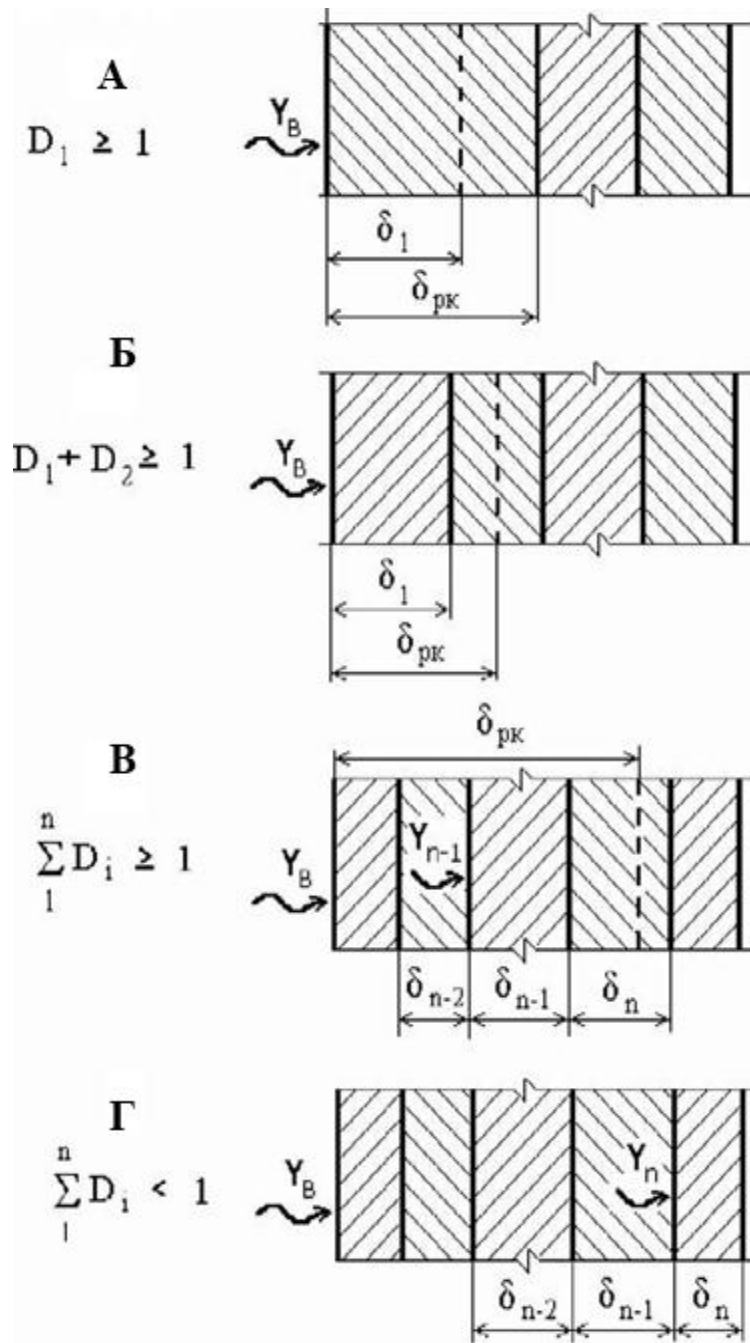


Рис. 2. К определению коэффициента теплоусвоения внутренней поверхности

Y_B : а - $D_1 \geq 1$; б - $D_1 + D_2 \geq 1$; в - $\sum D_i \geq 1$;

$\sum D_i < 1$; -- - граница слоя резких колебаний температуры;

δ_{pk} – толщина слоя резких колебаний температуры.

Затем определяется коэффициент теплоусвоения поверхности $(n - 2)$ -го слоя

$$Y_{n-2} = \frac{R_{n-2} S_{n-2}^2 + Y_{n-1}}{1 + R_{n-2} Y_{n-1}}, \quad (9)$$

пока не дойдем до 1-го слоя ограждения, коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности которого равен искомому

$$Y_B = Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + Y_2}{1 + R_1 Y_2}. \quad (10)$$

Если тепловая инерция всей ограждающей конструкции меньше единицы ($\Sigma D < 1$ (рис. 2,г)), находим коэффициент теплоусвоения поверхности n -го слоя

$$Y_n = \frac{R_n S_n^2 + \alpha_H}{1 + R_n \alpha_n}. \quad (11)$$

Для $(n-1)$ -го слоя имеем

$$Y_{n-1} = \frac{R_{n-1} S_{n-1}^2 + Y_n}{1 + R_{n-1} Y_n} \quad (12)$$

Далее расчет продолжается по формуле (9).

Исходные данные для расчета теплопоглощения заносятся в табл. 5. При подготовке исходных данных для удобства расчетов необходимо придерживаться следующих правил:

- 1) для ограждений одинаковой конструкции принять суммарную площадь внутренней поверхности;
- 2) несколько одинаковых слоев, разделенных воздушными прослойками, считать одним слоем с суммарной толщиной;
- 3) для указания вида ОК можно использовать условные обозначения: НС - наружные стены; ПЛ - пол; ПТ - потолок; ВС - внутренние стены и перегородки; ДО - двери одинарные; остекление: ОО - одинарное, ДО - двойное; ТО - тройное.

Подготовленные исходные данные необходимо согласовать с преподавателем.

Таблица 5

Исходные данные для расчета

Вид ОК	Площадь $F, м^2$	1-й слой			2-й слой		
		$\delta_1, м$	λ_1 $Вт/(м \cdot ^\circ C)$	S_1 , $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$	$\delta_2, м$	λ_2 $Вт/(м \cdot ^\circ C)$	S_2 , $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$

Результаты расчета теплопоглощения ограждающими конструкциями помещения заносятся в табл. 6.

Таблица 6

Результаты расчета теплопоглощения

Вид ОК	D_1	$Y_B, Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$	$B, Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$	$BF, Вт/^\circ C$
--------	-------	--------------------------------	------------------------------	-------------------

После расчета теплопоглощения по формуле (3) определяется величина $A_{тв}$ и сопоставляется с допустимым значением. Следует сделать вывод о возможности применения данного режима отопления.

4. ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ ОГРАЖДЕНИЯ

Сопротивление паропрониканию ограждающей конструкции должно быть не ниже требуемого, определяемого по теплотехническим нормам [2].

Расчет возможного влажностного режима заданной конструкции ограждения предлагается провести, исходя из стационарного режима и учитывая только диффузию водяных паров через ограждение [2,3]. В результате расчета необходимо сделать вывод о возможности конденсации водяных паров в толще ограждения.

Сначала необходимо найти распределение температуры по толщине ограждения при температуре наружного воздуха t_n , равной температуре наиболее холодной пятидневки $t_{хп}$. Искомые температуры можно определить аналитическим или графическим методом.

В первом случае расчет выполняется по формуле

$$\tau_x = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_0} \sum_0^x R_i, \quad (13)$$

или

$$\tau_x = t_B - q \sum_0^x R_i, \quad (14)$$

где τ_x – температура в сечении x , °C;

t_B – расчетная температура внутреннего воздуха, °C;

R_0 – общее сопротивление теплопередаче ограждения, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

$\sum_0^x R_i$ – сумма термических сопротивлений на участке от воздуха помещения до рассматриваемого сечения, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

$q = \frac{t_B - t_H}{R_0}$ – теплопотери через 1 м^2 поверхности стены, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Пример 2. Найти распределение температур по толщине трехслойного ограждения (см. пример 1).

Исходные данные

Термические сопротивления слоев следующие: $R_1 = 0,154$; $R_2 = 1,9$; $R_3 = 0,031 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Сопротивление тепловосприятию на внутренней поверхности $R_B = \frac{1}{\alpha_B} = 0,115 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, сопротивление теплоотдаче на наружной поверхности $R_B = \frac{1}{\alpha_B} = 0,043 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, $t_B = 20^\circ\text{C}$, $t_H = -28^\circ\text{C}$.

Решение

Общее сопротивление теплопередаче:

$$R_0 = R_B + \sum_1^n R_i + R_H = 0,115 + 0,154 + 1,9 + 0,031 + 0,043 = 2,24 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Теплопотери через 1 м^2 поверхности стены $q = (20 + 28) / 2,24 = 21,4 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Для расчета температуры внутренней поверхности ограждения τ_B сумма термических сопротивлений на участке от воздуха помещения до внутренней поверхности стены равна R_B . Тогда

$$\tau_B = 20 - 21,4 \cdot 0,115 = 17,5 ^\circ\text{C}.$$

Температура на границе первого и второго слоев

$$\tau_1 = 20 - 21,4(0,115+0,154) = 14,2 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Аналогично для остальных температур:

$$\tau_2 = 20 - 21,4 (0,115+0,154+1,9) = - 26,5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$\tau_H = 20 - 21,4 (0,115+0,154+0,9+0,031) = - 27,1 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Эта же задача может быть решена графическим методом (рис. 3). На миллиметровой бумаге по горизонтальной оси откладываются значения термических сопротивлений R_B, R_1, \dots, R_H в масштабе $1 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт} = 10 \text{ см}$, а по вертикальной оси - значения температур в масштабе $10 \text{ }^{\circ}\text{C} = 1 \text{ см}$. Со стороны R_B наносится точка t_B а со стороны R_H — точка t_H и соединяются прямой линией.

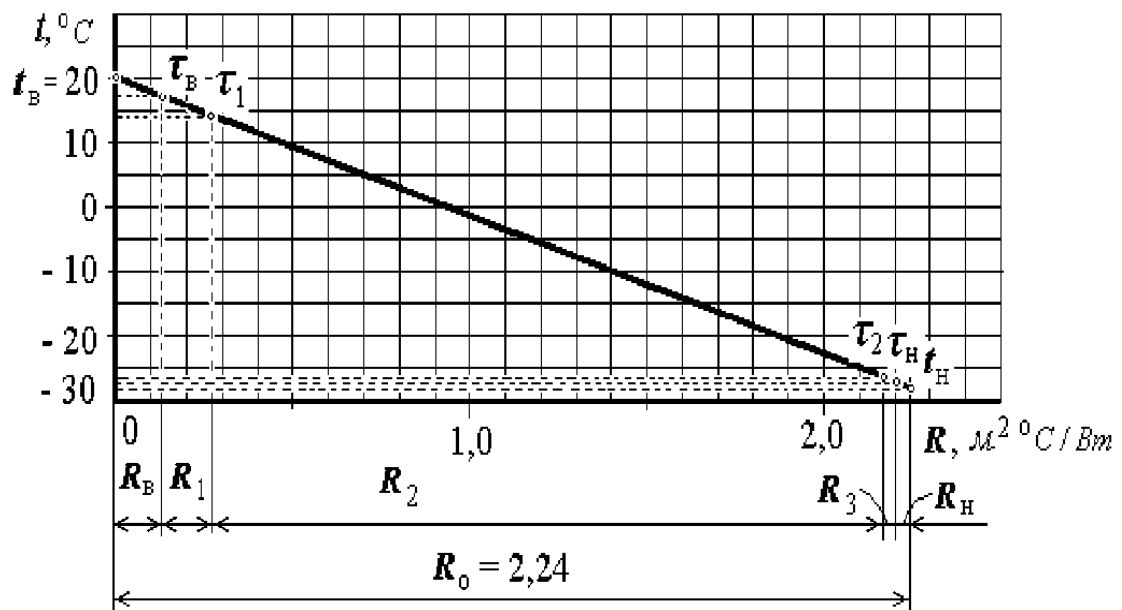


Рис. 3. Определение температур в ограждении графическим методом

Значения температур на границах слоев определяются точками пересечения наклонной линии изменения температуры с вертикальными линиями, проходящими через границы термических сопротивлений соответствующих слоев.

График изменения температуры по толщине ограждения наносится также на чертеж ограждения, выполненный в масштабе 1:5 (рис. 4,а). На чертеже в нижней части строится шкала значений парциальных давлений

водяных паров в масштабе и производится построение линии максимальных парциальных давлений E , значения которых определяются в зависимости от температур в слоях ограждения по формуле М.И. Фильнея [6] в диапазоне температур 0...100 °С:

$$E = 10^{\frac{658+10,2t}{236+t}}, \quad (15)$$

где E – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па;

t – температура пара (воздуха), °С.

Учитывая криволинейный характер зависимости E от температуры, рекомендуется определять E в трех точках каждого материального слоя ограждения.

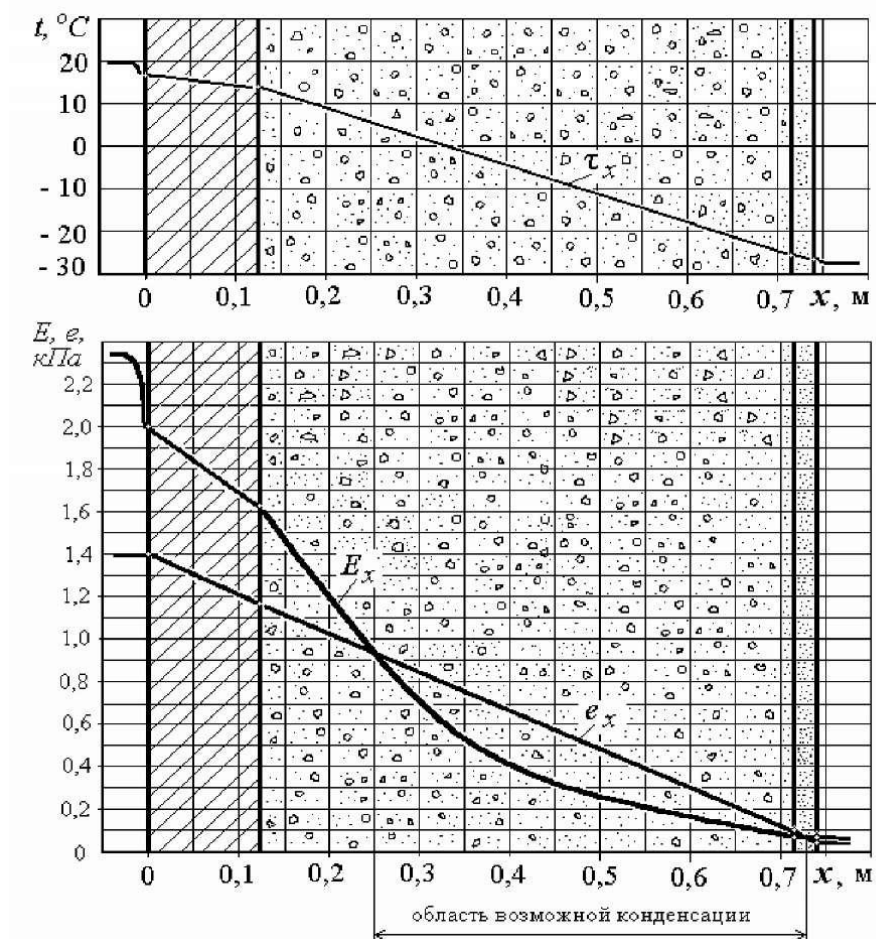


Рис. 4. Распределение температуры (а) и парциального давления водяного пара (б) по толщине ограждения

График изменения действительных парциальных давлений водяных паров по толщине ограждения может быть построен по вычисленным их значениям в характерных точках ограждения:

$$e_x = e_B - \frac{e_B - e_H}{R_{\text{по}}} \sum_1^X R_{\text{пи}} , \quad (16)$$

или

$$e_x = e_B - m \sum_1^X R_{\text{пи}} , \quad (17)$$

где e_B, e_H – действительные парциальные давления водяных паров во внутреннем и наружном воздухе, *Па*: $e_B = \varphi_B E_B$; $e_H = \varphi_H E_H$;

φ_B, φ_H – относительная влажность внутреннего и наружного воздуха (0,6 и 0,8 соответственно);

E_B, E_H – максимальное парциальное давление водяного пара, рассчитанное при температурах t_B и t_H соответственно, *Па*;

$R_{\text{по}}$ – общее сопротивление паропроницанию ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$;

$\sum_1^X R_{\text{пи}}$ – сумма сопротивлений паропроницанию на участке от внутренней поверхности ограждения до рассматриваемого сечения, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$;

$m = (e_B - e_H) / R_{\text{по}}$ – расход пара, проходящего через 1 м поверхности ограждения, $\text{мг} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Общее сопротивление паропроницанию принятой конструкции ограждения состоит из сопротивлений паропроницанию отдельных слоев конструкции ограждения:

$$R_{\text{по}} = R_{\text{п1}} + \dots + R_{\text{пн}}$$

где $R_{\text{пи}} = \delta_i / \mu_i$ – сопротивление паропроницанию слоя ограждения; δ_i – толщина слоя ограждения, м; μ_i – коэффициент паропроницаемости материала слоя, $\text{мг} / (\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$, принимаемый по табл. 7.

Физические характеристики строительных материалов

Наименование материала	Значения коэффициентов	
	паропроницания μ , $\text{мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$	воздухопроницания $10^3 i$, $\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$
Штукатурка известково-песчаная	0,09	0,11
Штукатурка сухая	0,08	0,50
Листы асбестоцементные	0,03	0,03
Кирпичная кладка	0,11	60
Бетон	0,13	0,005
Газобетон	0,11	0,05
Плиты древесно - волокнистые	0,12	3,0
Пенополиуретан	0,05	1,0
Мрамор	0,008	80

Для воздушных прослоек и минеральной ваты сопротивления паропроницанию и воздухопроницания принять равными 0.

Если линии e и E на чертеже пересекаются, то в ограждении возможна конденсация водяных паров. Заключение о возможности конденсации водяных паров необходимо включить в пояснительную записку.

5. ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЕ

Под влиянием ветра и теплового напора через щели, поры, неплотности, имеющиеся в наружных ограждениях, в помещения может проникать наружный воздух. Это явление, называемое **инфильтрацией**, приводит к увеличению затрат на отопление, так как часть тепла идет на нагревание инфильтрующегося воздуха. С целью уменьшения и наиболее точного учета этих затрат производят проверку соответствия ограждающих конструкций требованиям строительных норм по инфильтрации и расчет количества тепла на нагревание проникающего в помещение воздуха.

При выполнении расчетов в этом разделе количество этажей в здании принять равным 10, а номер этажа расчетного помещения - по последней цифре номера задания.

5.1. Проверка ограждающих конструкций на инфильтрацию

Требуемое сопротивление инфильтрации для стен и окон определяется по формулам [2]:

$$R_{и,нс}^{тр} = \frac{\Delta P}{G^H}, \quad (18)$$

$$R_{и,ок}^{тр} = \frac{\Delta P^{2/3}}{G^H}, \quad (19)$$

где $R_{и,нс}^{тр}$ – требуемое сопротивление инфильтрации для стен, $м^2 \cdot ч \cdot Па / кг$;

$R_{и,ок}^{тр}$ – требуемое сопротивление инфильтрации для окон, $м^2 \cdot ч \cdot Па / кг$;

ΔP – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, $Па$;

G^H – нормативная воздухопроницаемость:

для стен $G^H = 0,5 \text{ кг}/(м^2 \cdot ч)$;

для окон $G^H = 6 \text{ кг}/(м^2 \cdot ч)$ [3].

Разность давлений воздуха, под действием которой происходит инфильтрация, определяется по формуле

$$\Delta P = 0,55(\gamma_H - \gamma_B) + 0,03\gamma_H v^2, \quad (20)$$

где H – высота здания, принимаемая равной 30 м;

γ_H, γ_B – удельный вес наружного и внутреннего воздуха, $Н/м$, определяемый как $\gamma = 3463 / (273+t)$ при подстановке t_H для γ_H и t_B для γ_B ;

v – скорость ветра по [5], для расчетов принять $v = 5 \text{ м/с}$.

Рассчитанные значения сопоставляются с фактическими значениями $R_{и}^{тр}$, определяемыми в зависимости от вида ограждения.

Для наружных стен фактическое сопротивление воздухопроницанию определяется как

$$R_{и,нс} = R_{и1} + R_{и2} + \dots + R_{ин}$$

где $R_{и1}, R_{и2}, \dots, R_{ин}$ – сопротивления воздухопроницанию слоев ограждения, определяемые как $R_{и} = \frac{\delta}{i}$, $м^2 \cdot ч \cdot Па / кг$;

δ – толщина слоя ограждения, м;

i – коэффициент воздухопроницания материала слоя, $\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$, принимаемый по табл. 7.

Для заполнений окон сопротивление воздухопроницанию принимается по табл. 8.

Таблица 8

Сопротивление воздухопроницанию световых проемов

Наименование светового проёма	Количество уплотненных притворов	$R_{и}, \text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}^{2/3}/\text{кг}$
Одинарное и двойное остекление в спаренных переплетах	1	1,19
Двойное остекление в отдельных переплетах	1	1,33
	2	1,74
Тройное остекление в отдельных и спаренных переплетах	1	1,37
	2	2,02
	3	2,57

На основании сопоставления значений требуемых и фактических сопротивлений воздухопроницанию проверяется выполнение условий

$$R_{и,нс} \geq R_{и,нс}^{тр}; \quad R_{и,ок} \geq R_{и,ок}^{тр}$$

и делается вывод о соответствии запроектированной конструкции действующим нормативам. При необходимости уточняется тип заполнения светового проема по табл. 7.

5.2. Расчет затрат тепла на инфильтрацию

В этом разделе работы необходимо определить затраты тепла на нагревание инфильтрующегося воздуха, затраты тепла на компенсацию тепловых потерь через наружные ограждения (стены и окна) и определить долю затрат тепла на инфильтрацию от общих теплопотерь помещения.

Расход тепла на нагрев инфильтрующегося воздуха $Q_{и}$ определяется по формуле [1]:

$$Q_{\text{и}} = \frac{c}{3600} (G_{\text{нс}} F_{\text{нс}} A_{\text{нс}} + G_{\text{ок}} F_{\text{ок}} A_{\text{ок}}) (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})$$

где c – удельная теплоемкость воздуха; $c = 1000 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

$G_{\text{нс}}, G_{\text{ок}}$ – расходы воздуха, инфильтрующегося через наружные стены и окна, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$;

$F_{\text{нс}}, F_{\text{ок}}$ – площади наружных стен и остекления, м^2 ;

$A_{\text{нс}}, A_{\text{ок}}$ – коэффициенты, учитывающие действие встречного теплового потока;

$$A_{\text{нс}} = 0,8; A_{\text{ок}} = 0,6;$$

$t_{\text{в}}$ – температура внутреннего воздуха, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления и вентиляции в холодный период года, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки ($t_{\text{н}}=t_{\text{хп}}$), $^\circ\text{C}$.

Фактический расход инфильтрующегося воздуха рассчитывается для наружных стен и остекления по формулам:

$$G_{\text{нс}} = \frac{\Delta P_{\text{ф}}}{R_{\text{и,нс}}} ; \quad G_{\text{нс}} = \frac{\Delta P_{\text{ф}}^{2/3}}{R_{\text{и,ок}}}$$

где $\Delta P_{\text{ф}}$ – фактическая разность давлений воздуха, Па ;

$R_{\text{и,нс}}, R_{\text{и,ок}}$ – фактические сопротивления инфильтрации.

Фактическая разность давлений находится по выражению

$$\Delta P_{\text{ф}} = (H - h)(\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,05\gamma_{\text{н}}v^2(C_{\text{н}} - C_{\text{з}})k$$

где h – расстояние от уровня земли до оси рассчитываемого ограждения, м ;

$C_{\text{н}}, C_{\text{з}}$ – значения ветровых коэффициентов на наветренной и заветренной сторонах здания по [6]; в расчетах принять $C_{\text{н}} = 0,8$; $C_{\text{з}} = -0,6$;

k – коэффициент, учитывающий высоту здания и тип местности по [5]; в расчетах принять $k = 1$.

После определения следует рассчитать потери тепла через наружные ограждения расчетного помещения $Q_{\text{тп}}$:

$$Q_{\text{тп}} = Q_{\text{тп,нс}} + Q_{\text{тп,ок}} = \left(\frac{F_{\text{нс}}}{R_{\text{о,нс}}} + \frac{F_{\text{ок}}}{R_{\text{о,ок}}} \right) (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})$$

где $R_{o,nc}$, $R_{o,ok}$ – общие сопротивления теплопередаче для наружных стен и остекления, принимаемые по данным раздела 2.

Общие теплопотери расчетного помещения Q_0 равны сумме теплопотерь через наружные ограждения и потерь тепла на инфильтрацию:

$$Q_0 = Q_{\text{тп}} + Q_{\text{н}},$$

а доля затрат тепла на инфильтрацию в общих теплопотерях составит $Q_{\text{н}}/Q_0$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.08.01-89*. Жилые здания. М.: ГП ЦПП, 2000. 66 с.
2. СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника. М.: ГУП ЦПП, 1999. 28 с.
3. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Стройиздат, 1959. 319 с.
4. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология. М.: ГУП ЦПП, 2000. 58с.
5. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. М.: АПП ЦИТП, 1986. 36 с.
6. Фильней М.И. Новые формулы для определения термодинамических свойств водяного пара, содержащегося в атмосферном воздухе // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1966. № 9. С. 98.

Варианты заданий

Номер варианта	Номер схемы стенной панели (по прил.2)	Номер плана комнаты (по прил.3)	Город и зона влажности по карте [2]	Температура наружного воздуха, °С		Продолжи- тельность отопительного периода, $Z_{отп}$, сут
				холодной пятидневки, $t_{хп}$	Средняя за отопительный период, $t_{оп}$	
1	1	1	Архангельск 1	-31	-4,7	251
2	2	2	Астрахань 3	-23	-1,6	172
3	3	3	Чара 3	-46	-15,6	267
4	4	4	Н. Новгород 2	-30	-4,7	218
5	5	5	Краснодар 3	-19	1,5	152
6	6	1	Рязань 2	-27	-4,2	212
7	7	2	Магнитогорск 3	-32	-9,3	169
8	8	3	Нерчинск 3	-44	-15,1	230
9	9	4	С.-Петербург 1	-26	-2,2	219
10	10	5	Казань 1	-32	-5,7	218
11	1	1	Воронеж 3	-26	-3,4	199
12	2	2	Грозный 3	-18	-0,4	218
13	3	3	Екатеринбург 3	-35	-6,4	228
14	4	4	Иркутск 3	-37	-8,9	241
15	5	5	Омск 3	-37	-9,5	220
16	6	1	Уфа 3	-35	-6,6	216
17	7	2	Белгород 3	-23	-2,2	196
18	8	3	Псков 2	-26	-2,0	212
19	9	4	Братск 2	-43	-10,3	245
20	10	5	Мурманск 1	-27	-3,3	281
21	1	1	Новгород 2	-27	-2,6	220
22	2	2	Ростов 2	-22	-1,1	175
23	3	3	Пермь 2	-35	-6,4	226
24	4	4	Тайшет 3	-40	-8,5	244
25	5	5	Смоленск 2	-26	-2,7	210
26	6	1	Калининград 1	-18	0,8	195
27	7	2	Челябинск 3	-28	-7,8	219
28	8	3	Ульяновск 3	-31	-5,7	213
29	9	4	Минусинск 3	-40	-7,2	235
30	10	5	Брянск 2	-26	-2,6	206

Продолжение таблицы

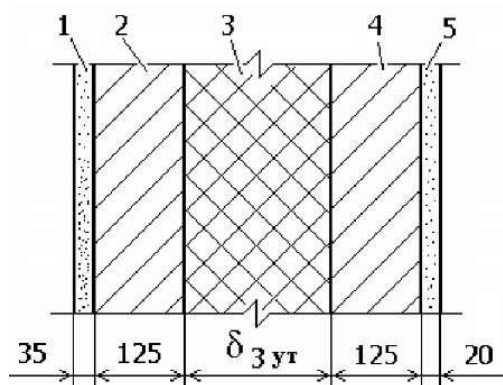
31	1	1	Вологда	2	-31	-4,8	228
32	2	2	Курск	2	-26	-3,0	198
33	3	3	Волгоград	3	-25	-3,4	182
34	4	4	Улан-Удэ	3	-37	-10,6	235
35	5	5	Сочи	1	-3	6,4	90
36	6	1	Благовещенск	2	-34	-11,5	212
37	7	2	Красноярск	3	-39	-7,8	239
38	8	3	Владивосток	1	-24	-4,8	201
39	9	4	Томск	2	-40	-8,8	234
40	10	5	Новосибирск	3	-39	-9,1	227

Схемы ограждающих конструкций

Примечания.

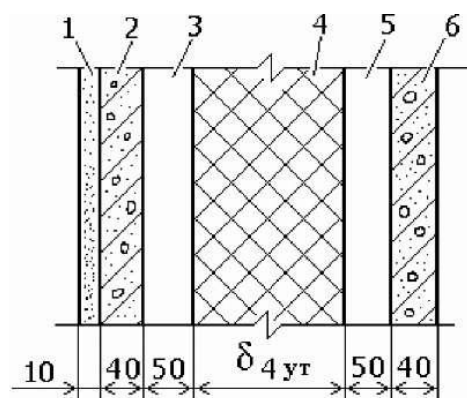
1. Нумерация слоев ограждающих конструкций со стороны помещения.
2. На схемах приведены только те элементы конструкций, которые необходимы для теплотехнического расчета.
3. Плотности материалов ρ указаны в кг/м^3 , толщина слоя δ – в мм, $\delta_{\text{ут}}$ – толщина утепляющего слоя, которую предстоит определить на основании теплотехнического расчета.

Вариант 1



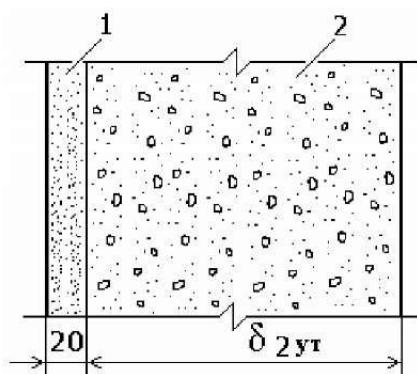
- 1,5 – штукатурка известково-песчаная ($\rho = 1600$);
 2,4 – кладка из глиняного кирпича ($\rho = 1600$);
 3 – пенополиуретан ($\rho = 80$)

Вариант 2



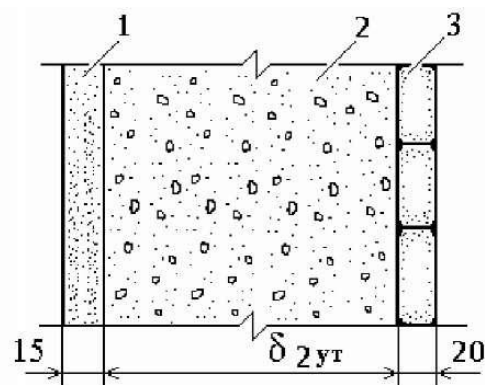
- 1 – сухая штукатурка ($\rho = 800$);
 2,6 – железобетон ($\rho = 2500$);
 3,5 – воздушная прослойка;
 4 – маты минераловатные прошивные ($\rho = 350$)

Вариант 3



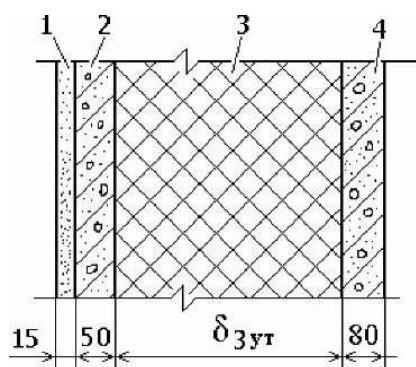
- 1 – штукатурка известково-песчаная ($\rho = 1600$);
2 – газобетон ($\rho = 400$)

Вариант 4



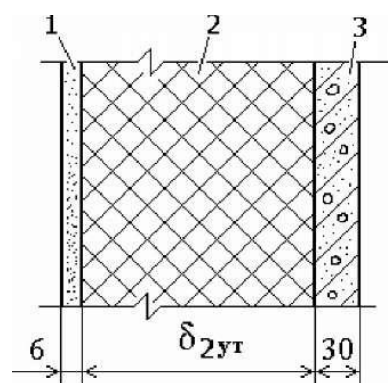
- 1 – сухая штукатурка ($\rho = 800$);
2 – керамзитобетон ($\rho = 600$);
3 – облицовочная плитка из мрамора ($\rho = 2800$)

Вариант 5



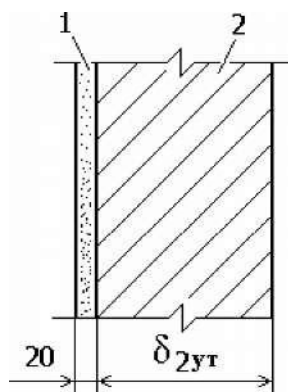
- 1 – сухая штукатурка ($\rho = 800$);
2,4 – железобетон ($\rho = 2500$);
3 – минераловатные плиты жесткие ($\rho = 300$)

Вариант 6



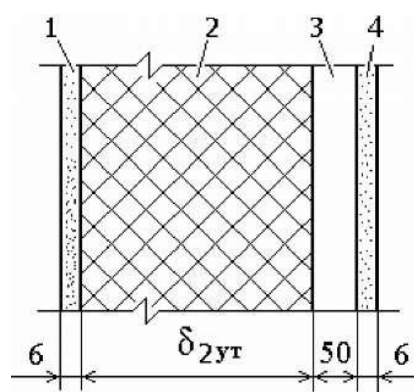
- 1 – асбестоцементный лист ($\rho = 1800$);
2 – минераловатные плиты мягкие ($\rho = 200$);
3 – железобетон ($\rho = 2500$)

Вариант 7



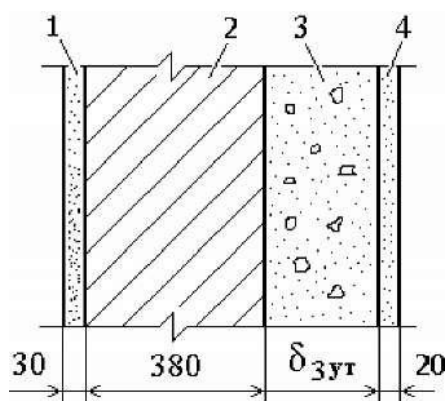
- 1 – штукатурка известково-песчаная
($\rho = 1600$);
2 – кладка из глиняного кирпича
($\rho = 1800$)

Вариант 8



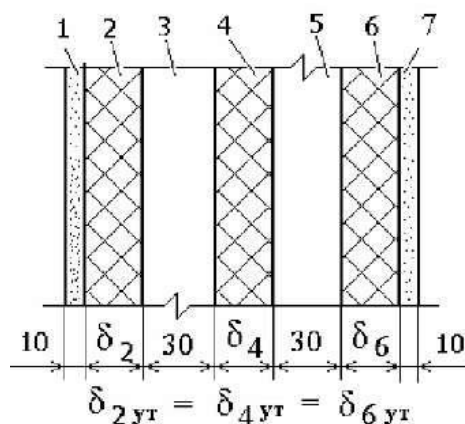
- 1,4 – асбестоцементный лист
($\rho = 1800$);
2 – минераловатные плиты мягкие
($\rho = 100$);
3 – воздушная прослойка

Вариант 9



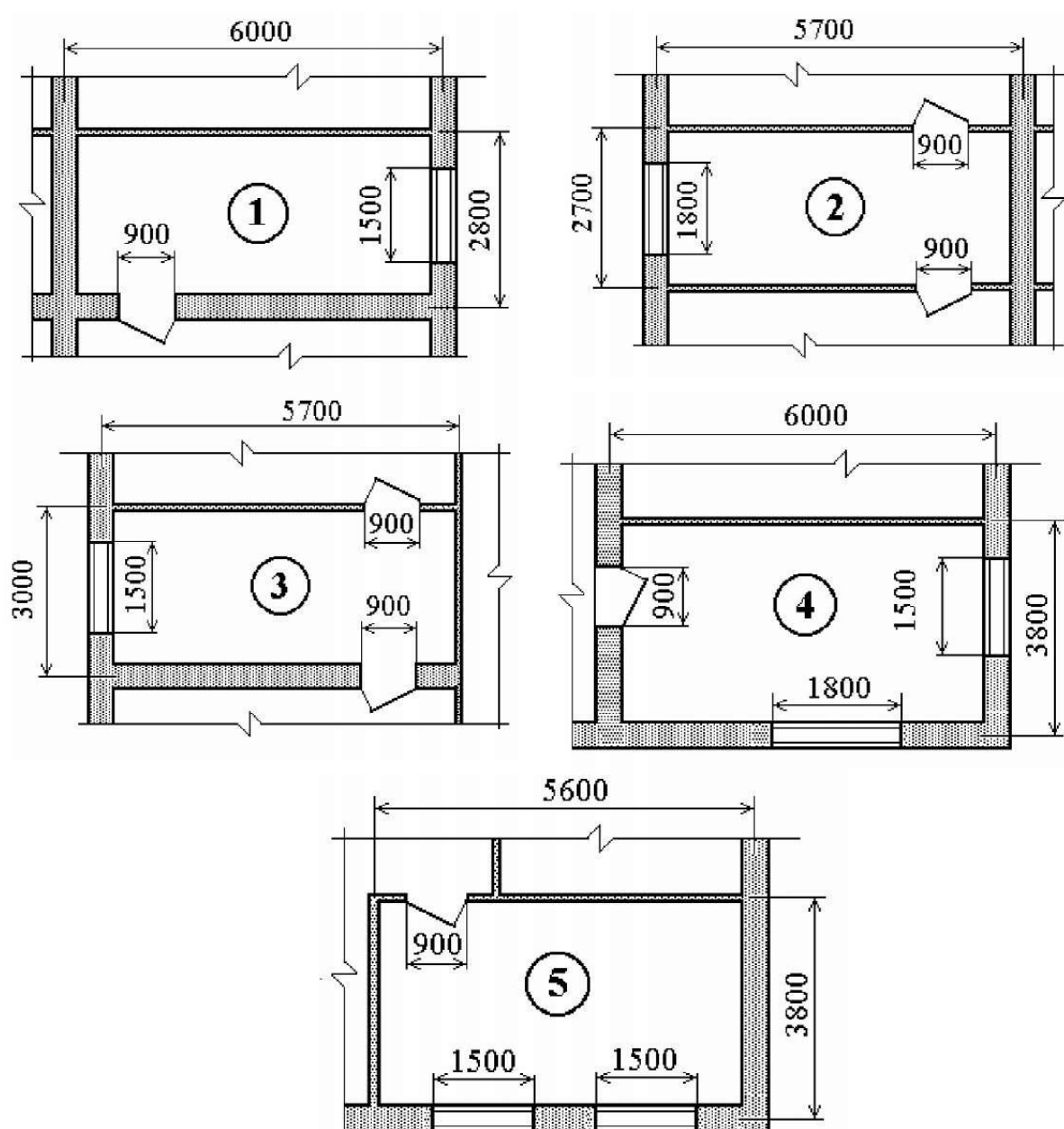
- 1,4 – штукатурка известково-песчаная
($\rho = 1600$);
2 – кладка из силикатного кирпича
($\rho = 1800$);
3 – газобетон ($\rho = 400$)

Вариант 10



- 1,7 – асбестоцементный лист
($\rho = 1800$);
2,4,6 – плиты древесно-волоконные
($\rho = 200$);
3,5 – воздушная прослойка

Планы жилых комнат



Схемы перекрытий

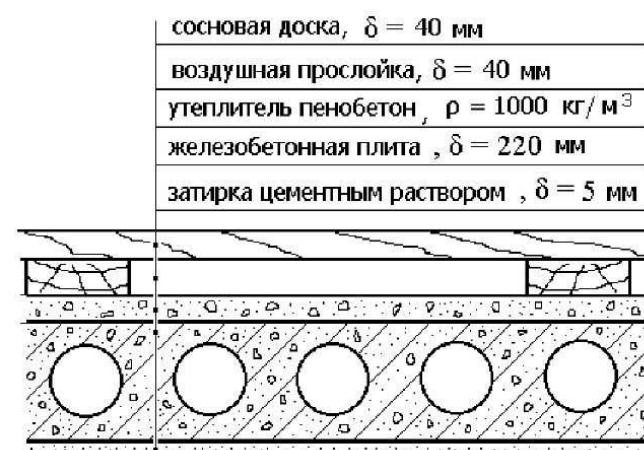
1. Чердачное перекрытие (покрытие)



2. Междуетажное перекрытие



3. Перекрытие над неотапливаемым подвалом



Теплофизические характеристики материалов

Наименование материала	Плотность, ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты при условиях эксплуатации А или Б			
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения S , Вт/(м ² ·°С)	
		А	Б	А	Б
1. Железобетон	2500	1,92	2,04	18,0	17,0
2. Бетон на гравии	2400	1,74	1,86	16,8	17,9
3. Керамзитобетон	800	0,24	0,31	3,83	4,77
4. Газо- и пенобетон	400	0,14	0,15	2,19	2,42
5. Цементно-песчаный раствор	1800	0,76	0,93	9,6	11,1
6. Известково-песчаный раствор	1600	0,70	0,81	8,69	9,76
7. Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	800	0,19	0,21	3,34	3,66
8. Кирпичная кладка из глиняного кирпича	1800 1600	0,70 0,58	0,81 0,70	9,2 8,08	10,1 9,23
9. Кирпичная кладка из силикатного кирпича	1800	0,76	0,87	9,77	10,9
10. Облицовочная плитка из мрамора	2800	2,91	2,91	22,86	22,86
11. Сосна и ель поперек волокон	500	0,14	0,18	3,87	4,54
12. Плиты древесно волокнистые	200	0,07	0,08	1,67	1,81

Продолжение таблицы

13. Минераловатные плиты	350	0,09	0,11	1,46	1,72
То же	300	0,09	0,09	1,32	1,44
То же	200	0,08	0,08	1,01	1,11
То же	100	0,06	0,07	0,64	0,73
14. Пенополиуретан	80	0,05	0,05	0,67	0,70
15. Асбестоцементный лист	1800	0,47	0,52	7,55	8,12
16. Стекло оконное	2500	0,76	0,76	10,80	10,80