

В.А. Кострюков

Примеры расчета по отоплению и вентиляции

Часть 1. Отопление

УДК 528
ББК 38.2
В11

В11 **В.А. Кострюков**
Примеры расчета по отоплению и вентиляции: Часть 1. Отопление / В.А. Кострюков – М.: Книга по Требованию, 2024. – 203 с.

ISBN 978-5-458-35877-4

ISBN 978-5-458-35877-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Глава I

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ

§ 1. РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ И СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Термическое сопротивление многослойного ограждения определяется по формуле

$$\Sigma R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \text{ м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{C/ккал.} \quad (1)$$

Сопротивление теплопередаче многослойного ограждения — по формуле

$$R_0 = R_n + \Sigma R + R_v + R_o^{\text{тр}} \text{ м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{C/ккал,} \quad (2)$$

где

δ — толщина материального слоя в м;

λ — коэффициент теплопроводности материала в ккал/м ч $^\circ$ C;

$\frac{\delta_1}{\lambda_1}, \frac{\delta_2}{\lambda_2}, \dots$ или $R_1, R_2, \dots$ — термические сопротивления отдельных материальных слоев, входящих в многослойное ограждение;

R_v — сопротивление тепловосприятию у внутренней поверхности ограждения в м 2 ч $^\circ$ C/ккал;

R_n — сопротивление теплоотдаче у наружной поверхности в м 2 ч $^\circ$ C/ккал;

$R_o^{\text{тр}}$ — минимальная величина сопротивления теплопередаче ограждения, определяемая по формуле (6).

Для внутренних поверхностей стен, полов, а также для гладких или со слабовыступающими и редкорасположенными ребрами потолков $R_v=0,133$. Для поверхностей, выходящих на чердак, $R_n=0,143$, для поверхностей над холодными подвалами или подпольями $R_n=0,2$, для остальных случаев $R_n=0,05$.

Термическое сопротивление ограждений, неоднородных по материалу в направлениях, перпендикулярном и параллельном тепловому потоку, определяется по формуле

$$R = \frac{R_1 + 2R_2}{3}, \quad (3)$$

где $R_{\parallel}$ — термическое сопротивление ограждения, определяемое по приведенной ниже формуле (4), в результате разрезания ограждения плоскостями, параллельными направлению теплового потока, на участки, различные в теплотехническом отношении:

$$R_{\parallel} = \frac{F_I + F_{II} + \dots}{\frac{F_I}{R_I} + \frac{F_{II}}{R_{II}} + \dots}, \quad (4)$$

R_I, R_{II} — термические сопротивления отдельных участков, определяемые по формуле (1);

F_I, F_{II} — площади отдельных участков, на которые разрезано ограждение, в m^2 ;

$R_{\perp}$ — термическое сопротивление всего ограждения, равное сумме термических сопротивлений отдельных слоев этого ограждения, полученных в результате разрезания его плоскостями, перпендикулярными к направлению теплового потока.

При выборе плоскостей разрезов для определения $R_{\perp}$ нужно иметь в виду, чтобы в смежные сечения входили различные по материалу слои ограждения. Если в разрез, перпендикулярный к тепловому потоку, попадает слой из неоднородного материала, то термическое сопротивление этого слоя определяется из отношения $\frac{\delta}{\lambda_{\text{ср}}}$, где δ — толщина слоя, считая в направлении, перпендикулярном к плоскости разреза, в м.

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\lambda_1 l_1 + \lambda_2 l_2 + \dots + \lambda_n l_n}{l_1 + l_2 + \dots + l_n} \text{ ккал/м ч } ^\circ\text{C}, \quad (5)$$

где λ_1, λ_2 — коэффициенты теплопроводности материалов, входящих в рассматриваемый слой;

l_1, l_2 — длины участков, входящих в рассматриваемый слой, в м.

Разница между значениями $R_{\parallel}$ и $R_{\perp}$ не должна превосходить 25%.

Если величина $R_{\parallel}$ превышает величину $R_{\perp}$ более чем на 25%, а также если ограждение имеет выступы в плане, то формулой (3) пользоваться нельзя. В этих случаях R определяется по расчету температурного поля. Минимальная величина сопротивления теплопередаче наружного ограждения определяется по формуле

$$R_o^{\text{тр}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) nb}{\Delta t^{\text{н}}} R_{\text{в}} \text{ м}^2 \text{ ч град/ккал} \quad (6)$$

где $t_{\text{в}}^*$ — расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая по нормам проектирования соответствующих зданий;

$t_{\text{н}}$ — расчетная зимняя температура наружного воздуха, которая принимается в зависимости от степени массивности наружных ограждений:

а) средняя температура наиболее холодной пятидневки — для массивных ограждений;

б) средняя температура наиболее холодных суток — для легких ограждений;

в) средняя из двух температур, указанных в пунктах «а» и «б», — для ограждений средней массивности;

$\Delta t^{\text{н}}$ — нормируемая разность температур воздуха помещения и внутренней поверхности ограждения;

n — коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху;

* В книге температура t принята в градусах Цельсия

b — коэффициент качества теплоизоляции наружного ограждения. Значения коэффициента теплоизоляции принимаются:

а) для наружных ограждений, утепленных материалами, которые подвержены уплотнению, деформации или усадке независимо от их объемного веса, $b=1,2$;

б) для наружных ограждений, утепленных материалами с объемным весом менее 400 кг/м^3 (за исключением материалов, указанных в пункте «а»), $b=1,1$;

в) для всех прочих наружных ограждений $b=1$.

Значения n и Δt^n приведены в СНиП II-A.7-62 «Строительная теплотехника», а в СНиП II-A.6-62 «Строительная климатология и геофизика» даны значения t_n . Для полов Δt^n надлежит принимать равным $2,5^\circ\text{C}$.

Если в производственных помещениях с относительной влажностью $\varphi > 60\%$ не допускается конденсация влаги на внутренних поверхностях ограждений, то Δt^n определяется по следующим формулам: для наружных стен

$$\Delta t^n = t_v - \tau_p;$$

для бесчердачных покрытий и чердачных перекрытий

$$\Delta t^n = t_v - \tau_p - 1^\circ\text{C},$$

где τ_p — точка росы, т. е. температура, при которой происходит конденсация водяных паров, содержащихся в воздухе.

$$\varphi = \frac{e}{e_n} 100\%, \quad (7)$$

где e — упругость водяных паров, находящихся в воздухе при данной температуре, в мм рт. ст.;

e_n — упругость водяных паров, насыщающих воздух при той же температуре, в мм рт. ст.

Значения e_n в мм рт. ст. при барометрическом давлении 755 мм рт. ст. и температурах насыщения 4—27°C приведены в табл. 1.

Таблица 1

t	e_n	t	e_n	t	e_n	t	e_n	t	e_n	t	e_n	t	e_n	t	e_n
4	6,1	7	7,51	10	9,21	13	11,23	16	13,63	19	16,48	22	19,83	25	23,76
5	6,54	8	8,05	11	9,84	14	11,99	17	14,53	20	17,54	23	21,07	26	25,2
6	7,01	9	8,61	12	10,52	15	12,79	18	15,48	21	18,65	24	22,38	27	26,74

Для наружных ограждений производственных помещений с большими тепловыделениями, а также в некоторых других случаях (см. СНиП II-A.7-62) Δt^n , а следовательно, R_0^{TP} , не нормируется и ограждения назначаются по конструктивным соображениям.

Степень массивности наружных ограждающих конструкций зависит от характеристики их тепловой инерции D , которая определяется по формуле

$$D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + \dots + R_n s_n, \quad (8)$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ — термические сопротивления материалов отдельных слоев ограждения;

$s_1, s_2, \dots, s_n$ — коэффициенты теплоусвоения материалов слоев при периоде колебаний теплового потока $Z=24$ ч.

$$S = 0,51 \sqrt{\lambda c \gamma} \text{ ккал/м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{C}, \quad (8a)$$

где c — удельная теплоемкость материала в $\text{ккал/кг } ^\circ\text{C}$;

λ — коэффициент теплопроводности в $\text{ккал/м ч } ^\circ\text{C}$;

γ — объемный вес материала в кг/м^3 .

Наружные ограждения считаются: легкими при $0 < D < 4$; средней массивности при $4,1 \leq D < 7$; массивными при $D \geq 7,1$.

Следует иметь в виду, что покрытия и перекрытия относятся обычно к разряду легких. Для перекрытий над подвалами и подпольями независимо от массивности конструкции расчетная температура принимается равной средней температуре самой холодной пятидневки.

Температура в любой точке ограждения определяется

$$t_x = t_b - k(t_b - t_n) \Sigma R_x = t_b - \frac{t_b - t_n}{R_0} \Sigma R_x, \quad (9)$$

где t_b и t_n — расчетные внутренняя и наружная температуры воздуха в $^\circ\text{C}$;

k — коэффициент теплопередачи ограждения в $\text{ккал/м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{C}$,

R_0 — сопротивление теплопередаче ограждения в $\text{м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{C/ккал}$;

ΣR_x — сумма термических сопротивлений, пройденных тепловым потоком в ограждении до точки x , в которой определяется температура.

Во избежание конденсации водяных паров на внутренних поверхностях наружных ограждений требуется, чтобы их температура была выше точки росы. Наиболее неблагоприятными в отношении конденсации водяных паров являются наружные углы стен, температура внутренней поверхности которых τ_y всегда ниже температуры внутренней поверхности стен. Изображенный на рис. 1 график, составленный д-ром техн. наук К. Ф. Фокиным¹, выражает зависимость между термическим сопротивлением R стены и разностью температур внутренней поверхности стены и угла $\tau_b - \tau_y$. Зная R и τ_b , можно, пользуясь графиком, определить температуру внутренней поверхности наружных углов стен.

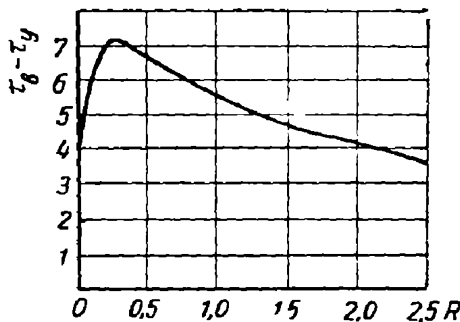


Рис. 1

Так как график составлен для разности температур $t_b - t_n = 40^\circ\text{C}$. для других значений $t_b - t_n$ необходимо делать пересчет по формуле

$$\tau_b - \tau_y = (\tau_b - \tau_y)' \frac{t_b - t_n}{40}, \quad (10)$$

где $(\tau_b - \tau_y)'$ — разность температур, взятая по графику.

При наличии в наружных ограждающих конструкциях более теплопроводных включений (колонны, балки и т. д.) необходимо проверять температуру τ_b внутренней поверхности этих включений, если на ней не допускается конденсация водяных паров:

¹ К. Ф. Фокин, Строительная теплотехника ограждающих частей зданий Госстройиздат, 1954.

$$\tau'_B = t_B - \frac{R'_0 + \eta(R_0 - R'_0)}{R'_0 R_0} R_B (t_B - t_H) - \tau_p, \quad (11)$$

где R'_0 — сопротивление теплопередаче ограждения в месте более теплопроводного включения в $\text{м}^2\text{°C/ккал}$;

R_0 — сопротивление теплопередаче остальной части ограждения в $\text{м}^2\text{°C/ккал}$;

η — коэффициент, значения которого даны в СНиП II-A.7-62, табл. 10.

Наружные ограждающие конструкции жилых и общественных зданий (больниц, поликлиник, детских яслей-садов и школ) следует проверять на теплоустойчивость в зимних условиях по формуле

$$\psi = \frac{R_0}{R_B + \frac{m}{Y_B}} \quad (12)$$

где m — коэффициент неравномерности теплоотдачи отопительных приборов;

Y_B — коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждения в $\text{ккал/м}^2\text{°C}$ (определяется по формулам, приведенным в СНиП II-A.7-62 и в учебниках по отоплению и строительной теплотехнике);

ψ — коэффициент теплоустойчивости.

Значения ψ при температуре наиболее холодной пятидневки должны быть не менее: 3,5 — при $t_H = -10^\circ\text{C}$; 4,5 — при $t_H = -20^\circ\text{C}$; 5,5 — при $t_H = -30^\circ\text{C}$; 6,5 — при $t_H = -40^\circ\text{C}$.

Кроме того, наружные ограждения жилых и перечисленных выше общественных зданий, расположенных в южных районах с температурами наружного воздуха, равными $+25^\circ\text{C}$ и выше, в 13-й самый жаркий месяц следует проверять на воздействие солнечной радиации.

В особых случаях наружные ограждения проверяют также на воздухо- и паропроницаемость.

§ 2. ПРИМЕРЫ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ

Пример 1. Наружные стены здания, возводимого в районе Вологды, запроектированы из бетонных камней размерами $390 \times 190 \times 188 \text{ мм}$ ($\lambda = 0,69$) с наружной и внутренней штукатуркой. Определить сопротивление теплопередаче R_0 и коэффициент теплопередачи k стены, если относительная влажность воздуха помещений в период их эксплуатации должна находиться в пределах 50—60%.

Коэффициенты теплопроводности отдельных слоев стены следующие:

- 1) внутренняя штукатурка $\delta_1 = 0,02 \text{ м}$, $\lambda_1 = 0,7$;
- 2) кладка из камней толщиной $1\frac{1}{2}$ камня $\lambda_2 = 0,69$;
- 3) наружная штукатурка $\delta_3 = 0,02 \text{ м}$, $\lambda_3 = 0,75$.

Решение. По карте (СНиП II-A.7-62) находим, что Вологда расположена в нормальной зоне влажности. Влажностный режим помещений нормальный. При этих условиях эксплуатации здания значения коэффициентов теплопроводности штукатурки принимаются по графе Б, табл. 1 СНиП II-A.7-62.

Определяем толщину кладки

$$\delta_2 = 0,39 + 0,19 + 0,01 = 0,59 \text{ м},$$

где 0,39 — длина камня в м;
0,19 — ширина камня в м;
0,01 — толщина шва в м.

Согласно формуле (2) сопротивление теплопередаче стены составляет

$$R_o = R_v + R_1 + R_2 + R_3 + R_n,$$

где $R_v = 0,133$ и $R_n = 0,05$.

Термические сопротивления отдельных слоев стены:

1) внутренняя штукатурка

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,02}{0,7} = 0,029;$$

2) кладка

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,59}{0,69} = 0,855;$$

3) наружная штукатурка

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,02}{0,75} = 0,027.$$

Откуда

$$R_o = 0,133 + 0,029 + 0,855 + 0,027 + 0,05 = \\ = 1,094 \approx 1,1 \text{ м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{C/ккал}.$$

Коэффициент теплопередачи стены

$$k = \frac{1}{R_o} = \frac{1}{1,094} = 0,91 \text{ ккал/м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{C}.$$

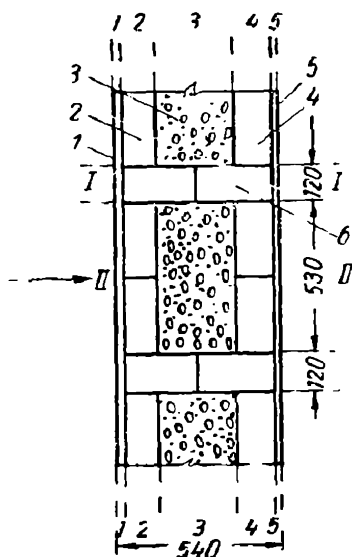


Рис. 2

Пример 2. Определить сопротивление теплопередаче стены с колодцевой кладкой, возводимой в районе с нормальным влажностным режимом и относительной влажностью $\varphi = 50 \div 60\%$.

Горизонтальный разрез стенового блока показан на рис. 2.

Коэффициенты теплопроводности отдельных слоев стены следующие:

1) внутренняя штукатурка $\delta_1 = 0,015$ м, $\lambda = 0,7$;

2) кладка из глиняного обожженного кирпича на тяжелом растворе $\delta_2 = 0,12$ м, $\lambda_2 = 0,7$;

3) заполнитель из легкого бетона $\delta_3 = 0,27$ м, $\lambda_3 = 0,45$;

4) кладка из глиняного обожженного кирпича $\delta_4 = 0,12$ м, $\lambda_4 = 0,7$;

5) наружная штукатурка $\delta_5 = 0,015$ м, $\lambda_5 = 0,75$;

6) поперечная вертикальная стенка $\delta_6 = 0,51$ м, $\lambda_6 = 0,7$;

Решение. Так как конструкция стены по высоте не изменяется, а по длине кладка повторяется через каждые $2\frac{1}{2}$ кирпича, то в качестве расчетной поверхности стены берем участок длиной 0,65 м и высотой 1 м.

Расчетная площадь стены составит $F = 0,65 \text{ м}^2$.

Длина участка определится следующим образом:

$$l = 0,25 \cdot 2 + 0,12 + 0,01 \cdot 3 = 0,65 \text{ м},$$

где 2 — количество кирпичей;

0,12 — толщина поперечной вертикальной стенки в м;

3 — количество швов.

А. Расчет параллельно тепловому потоку. Плоскостями, параллельными направлению теплового потока, разрезаем стену на два разнородных по конструкции участка.

Участок I — сплошная стена с двусторонней штукатуркой.

Термическое сопротивление стены на этом участке определяется по формуле (1)

$$R_I = \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,51}{0,7} + \frac{0,015}{0,75} = 0,77 \text{ м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{С/ккал}.$$

Площадь участка $F_I = 0,12 \cdot 1 = 0,12 \text{ м}^2$.

Участок II — две кирпичные стенки, легкий бетон и двусторонняя штукатурка

$$R_{II} = \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,12}{0,7} + \frac{0,27}{0,45} + \frac{0,12}{0,7} + \frac{0,015}{0,75} = 0,983.$$

Площадь участка $F_{II} = 0,53 \cdot 1 = 0,53 \text{ м}^2$.

По формуле (4) определяем среднее термическое сопротивление I и II участков стены

$$R_{\text{ср}} = \frac{\frac{F_I + F_{II}}{R_I + R_{II}}}{\frac{F_I}{R_I} + \frac{F_{II}}{R_{II}}} = \frac{\frac{0,12 + 0,53}{0,77 + 0,983}}{\frac{0,12}{0,77} + \frac{0,53}{0,983}} = 0,94 \text{ м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{С/ккал}.$$

Б. Расчет перпендикулярно тепловому потоку. Разрезаем стену на пять слоев плоскостями, перпендикулярными к направлению теплового потока, и определяем термическое сопротивление каждого слоя:

1-й слой — внутренняя штукатурка

$$R_1 = \frac{0,015}{0,7} = 0,021;$$

2-й слой — кирпичная стенка

$$R_2 = \frac{0,12}{0,7} = 0,171;$$

3-й слой — легкий бетон и кирпичная стенка.

Для 3-го слоя по формуле (5) определяем предварительно средний коэффициент теплопроводности

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\lambda_3 l_3 + \lambda_6 l_6}{l_3 + l_6} = \frac{0,45 \cdot 0,53 + 0,7 \cdot 0,12}{0,53 + 0,12} = 0,495 \text{ ккал/м ч } ^\circ\text{С}.$$

Обозначим термическое сопротивление 3-го слоя через R_3 , тогда

$$R_3 = \frac{l_3}{\lambda_{\text{ср}}} = \frac{0,27}{0,495} = 0,546;$$

4-й слой — тот же, что и 2-й, поэтому $R_4 = 0,171$;

5-й слой — наружная штукатурка, для которой $R_5 = \frac{0,015}{0,75} = 0,02$.

По формуле (1) определяем термическое сопротивление всех слоев

$$R_{\Sigma} = 0,021 + 0,171 + 0,546 + 0,171 + 0,02 = 0,929 \text{ м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{С/ккал}.$$

Разница между значениями R и R_{Σ} составляет $0,6\% < 25\%$.

Действительное термическое сопротивление стены определяется по формуле

$$R = \frac{R_{\parallel} + 2R_{\perp}}{3} = \frac{0,94 + 2 \cdot 0,929}{3} = 0,933 \text{ м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{С/ккал}.$$

Сопротивление теплопередаче составляет

$$R_0 = R_{\text{в}} + R + R_{\text{н}} = 0,133 + 0,933 + 0,05 = 1,116 \approx 1,12 \text{ м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{С/ккал}.$$

Пример 3. Определить минимальную в теплотехническом отношении толщину наружной стены жилого дома, возводимого в районе Харькова. Стена из трепельного кирпича, с обеих сторон оштукатуренная

Решение. Харьков расположен в сухой зоне территории СССР (см. карту в СНиП II-A.7-62). Относительная влажность в жилых зданиях равна 50—60%. Поэтому значение λ находим по графе А, табл. 1 СНиП II-A.7-62.

Примем толщину кладки 1,5 кирпича, что составляет 0,38 м.

Выписываем из табл. 1 СНиП II-A.7-62 значения λ , c и γ материалов стены:

1) внутренняя штукатурка $\delta_1 = 0,015 \text{ м}$, $\lambda_1 = 0,6 \text{ ккал/м ч } ^\circ\text{С}$, $c_1 = 0,2 \text{ ккал/кг } ^\circ\text{С}$, $\gamma_1 = 1600 \text{ кг/м}^3$;

2) кладка из трепельного кирпича $\delta_2 = 0,38$, $\lambda_2 = 0,4$, $c_2 = 0,21$, $\gamma_2 = 1200$;

3) наружная штукатурка $\delta_3 = 0,015$, $\lambda_3 = 0,6$, $c_3 = 0,2$, $\gamma_3 = 1700$.

Термические сопротивления материальных слоев стены:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,015}{0,6} = 0,025 \text{ м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{С/ккал};$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,38}{0,4} = 0,95 \quad \text{»}$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,015}{0,6} = 0,025 \quad \text{»}$$

По формуле (8а) находим коэффициенты теплоусвоения материальных слоев стены:

$$s_1 = 0,51 \sqrt{0,6 \cdot 0,2 \cdot 1600} = 7,05 \text{ ккал/м}^2 \text{ ч } ^\circ\text{С};$$

$$s_2 = 0,51 \sqrt{0,4 \cdot 0,21 \cdot 1200} = 5,1 \quad \text{»}$$

$$s_3 = 0,51 \sqrt{0,6 \cdot 0,2 \cdot 1700} = 7,29 \quad \text{»}$$

По формуле (8) определяем характеристику тепловой инерции

$$D = 0,025 \cdot 7,05 + 0,95 \cdot 5,1 + 0,025 \cdot 7,29 = 5,21 \text{ — } 4,1, H_0 \text{ — } 7,1.$$

Следовательно, стена средней массивности

В СНиП II-A.6-62 находим средние температуры:

наиболее холодной пятидневки $t_1 = -23^\circ\text{С}$;

наиболее холодных суток $t_2 = -28^\circ\text{С}$.

Расчетная зимняя температура для ограждений средней массивности

$$t_{\text{н}} = \frac{23 + 28}{2} = -25,5 \text{ С}.$$

Для наружной стены жилого дома: $\Delta t^{\text{н}} = 6^\circ\text{С}$, $n = 1$, $b = 1$, $t_{\text{в}} = 18^\circ\text{С}$, $R_{\text{в}} = 0,133$, $R_{\text{н}} = 0,05$.

По формуле (6) определяем требуемое сопротивление теплопередаче стены

$$R_o^{TP} = \frac{[18 - (-25,5)] \cdot 1,1}{6} \cdot 0,133 = 0,964 \text{ м}^2 \text{ и } \text{С/ккал}.$$

Фактическое сопротивление теплопередаче стены по формуле (2)

$$R_o^{\Phi} = R_b + R_1 + R_2 + R_3 + R_n = 0,133 + 0,025 + \\ + 0,95 + 0,025 + 0,05 = 1,183 > R_o^{TP} \text{ на } 22,8\%.$$

Если толщину кладки принять равной одному кирпичу, то R_o^{Φ} будет меньше R_o^{TP} .

Отсюда следует, что толщиной кладки задались правильно.

Задачу можно решить иначе, задаваясь не толщиной кладки, а степенью массивности стены.

Это делается следующим образом. Предположив, что стена относится к конструкциям средней массивности, находим расчетную температуру ($t_n = -25,5^{\circ}\text{C}$) и R_o^{TP} , равное $0,964 \text{ м}^2 \text{ и } ^{\circ}\text{C/ккал}$.

По формуле (2) минимальное значение термического сопротивления кладки

$$R_2 = R_o^{TP} - (R_b + R_1 + R_3 + R_n) = \\ = 0,964 - (0,133 + 0,025 + 0,025 + 0,05) = 0,731.$$

$$\text{Но так как } R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2}, \text{ то } \delta_2 = 0,731 \cdot 0,4 = 0,292 \text{ м.}$$

Толщина кладки в один кирпич составляет $0,25 \text{ м}$, т. е. $< 0,292 \text{ м}$. Поэтому принимаем толщину кладки $1\frac{1}{2}$ кирпича, что составляет $0,38 \text{ м}$.

$$R_2^{\Phi} = \frac{0,38}{0,4} = 0,95.$$

Получили тот же результат.

Найдя по формуле (2) фактическое сопротивление теплопередаче стены ($R_o^{\Phi} = 1,183$), проверяем тем же приемом правильность предположения, что стена относится к ограждениям средней массивности, для чего определяем S_1, S_2, S_3 и D .

По формуле (12) проверяем стену на теплоустойчивость. $R_b = 0,133$, $R_o = 1,183$, для центрального отопления $m = 0,1$. Чтобы найти Y_b , нужно знать, в каком материальном слое характеристика тепловой инерции становится равной или больше единицы (считая по ходу теплового потока).

Для 1-го слоя (внутренней штукатурки) $D_1 - R_1 s_1 = 0,025 \cdot 7,05 = 0,176 < 1$. Но так как для двух слоев $D_1 + D_2 = 0,176 + 0,95 \cdot 5,1 > 1$, то Y_b следует определять по формуле (СНиП II-А.7-62).

$$Y_b = \frac{R_1 s_1^2 + s_2}{1 + R_1 s_2} \\ R_1 = 0,025, \quad s_1 = 7,05, \quad s_2 = 5,1. \\ Y_b = \frac{0,025 \cdot 7,05^2 + 5,1}{1 + 0,025 \cdot 5,1} = 5,64. \\ \phi = \frac{1,183}{0,133 - \frac{0,1}{5,64}} = 7,9 \quad 4,8,$$

где $4,8$ — нормируемое значение ϕ , определенное путем интерполяции для средней температуры наиболее холодной пятидневки в Харькове.

Пример 4. По данным примера 3 проверить наружную стену жилого дома на воздействие солнечной радиации.

Решение. Средняя температура наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца для Харькова равна 25,1°C, что больше 24°C. Следовательно, проверку надо производить. Для этого необходимо определить величину затухания колебания температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции ν , которая представляет собой отношение амплитуды суточного колебания температуры наружного воздуха (с учетом солнечной радиации) к амплитуде колебания температуры внутренней поверхности ограждения

$$\nu = 0,9 e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(s_1 + \alpha_n)(s_2 + Y_1) \dots (s_n + Y_{n-1})(\alpha_n + Y_n)}{(s_1 + Y_1)(s_2 + Y_2) \dots (s_n + Y_n) \alpha_n}$$

где e — основание натурального логарифма;
 D — характеристика тепловой инерции ограждения, определяемая по формуле (8);
 $s_1, s_2, \dots, s_n$ — коэффициенты теплоусвоения материалов отдельных слоев ограждения, определяемые по формуле (8а).
 α_n и α_n — коэффициенты тепловосприятия и теплоотдачи;
 $\alpha_n = 7,5$ (см. табл. 5 СНиП II-A.7-62); при расчетах на воздействие солнечной радиации α_n определяется по формуле

$$\alpha_n = 3 + 10 \sqrt{\nu},$$

где ν — расчетная скорость ветра в летний период.

Для Харькова принимаем $\nu = 2,2$ м/сек (СНиП II-A.6-62), тогда

$$\alpha_n = 3 + 10 \sqrt{2,2} = 17,9.$$

Y_1, Y_2, Y_n — коэффициенты теплоусвоения наружных поверхностей отдельных слоев ограждения в ккал/м² °C.

Y определяется в зависимости от характеристики тепловой инерции D каждого отдельно взятого материального слоя, входящего в состав ограждения, и равной

$$D = Rs.$$

Из примера 3 выписываем значения R и s :

$$R_1 = 0,025; \quad s_1 = 7,05; \quad D_1 = 0,025 \cdot 7,05 = 0,176$$

$$R_2 = 0,95; \quad s_2 = 5,1; \quad D_2 = 0,95 \cdot 5,1 = 4,85$$

$$R_3 = 0,025; \quad s_3 = 7,29; \quad D_3 = 0,025 \cdot 7,29 = 0,182$$

$$D = 5,21$$

Нумерация индексов всех буквенных обозначений ведется от внутренней поверхности ограждения к наружной.

При определении Y следует иметь в виду: для любого материального слоя при $D \geq 1$ $Y=s$, т. е. коэффициенту теплоусвоения данного слоя.

Если для первого материального слоя $D_1 < 1$, то Y_1 для него определяется по формуле

$$Y_1 = \frac{R_1 s_1^2 + \alpha_n}{1 + R_1 \alpha_n}$$

Для любого n -го слоя при $D_n < 1$

$$Y_n = \frac{R_n s_n^2 + Y_{n-1}}{1 + R_n Y_{n-1}}.$$