МИНМОНТАЖСПЕЦСТРОЙ СССР

УКАЗАНИЯ
ПО ТЕПЛОВОМУ РАСЧЕТУ КОНСТРУКЦИЙ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

ВСН 314-73

ММСС СССР

Отменён в связи с выходом ВСН 429-81 "Инструкция по проектированию фундаментов промышленных печей из огнеупорных волокнистых материалов" с 01.07.82.

© Москва—1974

gost.e-ecolog.ru

Министерство монтажных и специальных
строительных работ СССР

УТВЕРЖДАЮ:
заместитель министра
монтажных и специальных
строительных работ СССР

(Солоденников Л.Д.

3 октября 1973 г.

У К А З А Н И Я
ПО ТЕПЛОВОМУ РАСЧЕТУ КОНСТРУКЦИЙ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

ВСН 314-73
ММСС СССР

Центральное бюро научно-технической информации
М о с к в а - 1 9 7 4

УДК 536.21:621.783

В настоящих указаниях рассматриваются вопросы теплового расчета плоской и цилиндрической многослойных стенок, конструкций с включениями и фундаментов дымовых труб с подземным вводом газоходов.

Указания предназначены для проектных и производственных организаций Минмонтажспецстроя СССР, осуществляющих проектирование и строительство тепловых агрегатов.

Указания разработаны в лаборатории математического моделирования и вычислительной техники Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института Теплопроект под руководством канд.техн.наук В.Г. Петрова-Денисова.

Составители: канд. техн.наук Г.А. Хильков, инженер Ю.Ф.Бердюгин, а также принимали участие канд.техн.наук И.И. Шахов и А.Е. Кулаго, инженеры Ю.Г. Каленский и Е.К. Егоров.

С вопросами обращаться по адресу: 129327, Москва, И-327, ул. Коминтерна, 7, корп. 2, ВНИПИ Теплопроект.

Минмонтажспецстрой СССР	Ведомственные строительные нормы	ВСН 314-73 МИСС СССР
	Указания по тепловому расчету конструкций тепловых агрегатов	-

I. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Указания предназначены для тепловых расчётов ограждающих конструкций тепловых агрегатов, выполненных полностью или частично из жаростойкого и обычного бетона, железобетона и огнеупоров, работающих в стационарном режиме. Цель расчетов:

определить общую толщину ограждения и вид применяемых в нем материалов (определить термическое сопротивление ограждения), исходя из допустимых потерь тепла или максимальной температуры наружной поверхности;

найти распределение температур в конструкции ограждения для выбора материалов отдельных зон по температуростойкости или определения максимальных температурных усилий, возникающих в конструкции при эксплуатации.

I.2. При выборе граничных условий теплообмена на наружной (холодной) поверхности ограждения для конструкций, находящихся в помещении или на открытом воздухе, но защищенных от воздействия ветра, следует руководствоваться формулой

$$\alpha_н = 7 + 0{,}05 t_{с.н} \qquad (I)$$

(где $t_{с.н}$ - температура наружной поверхности ограждения, ^{o}C) или данными табл. I для конструкций, находящихся на открытом воздухе.

Внесены Всесоюзным научно-исследовательским и проектным институтом Теплопроект	Утверждены Минмонтажспецстроем СССР 3 октября 1973 г.	Срок введения I января 1974

Таблица I

Граничные условия на наружной поверхности ограждения

Цель теплового расчёта	Коэффициент теплоотдачи $\alpha_н$, ккал/м².ч.°С	Температура окружающей среды $t_н$, °С
Выбор конструкции по допускаемым потерям тепла	$\alpha_н = 3 + 10\sqrt{V}$, V - среднегодовая скорость ветра[x], м/с	Среднегодовая температура[x]
Выбор конструкции по максимально-допустимой температуре наружной поверхности ограждения	$\alpha_н = 8,4+0,06\ (t_{с.н} - t_н)$, $t_{с.н}$ - температура наружной поверхности ограждения, °С	Средняя температура наиболее жаркого месяца[x]
Определение температур для расчёта максимальных температурных усилий в конструкциях	$\alpha_н = 3+10\sqrt{V}$, V - средняя скорость ветра наиболее холодного месяца[x], м/с	Средняя температура наиболее холодного месяца[x]
Определение температур для выбора материалов по температуростойкости	$\alpha_н = 8,4+0,06\ (t_{с.н}-t_н)$ $t_{с.н}$ - температура наружной поверхности ограждения, °С	Средняя температура наиболее жаркого месяца[x]

[x] Определяется по СНиПу глава II-А.6-62. "Строительная климатология и геофизика"

I.3. Значения коэффициента теплоотдачи на внутренней (горячей) поверхности ограждения $\alpha_в$ разрешается подбирать по табл.2 в зависимости от температуры среды рабочего пространства теплового агрегата $t_{с.в}$.

Таблица 2

Значение коэффициента $\alpha_в$, ккал/м².ч.°С

	Температура, °С									
	50	100	200	300	400	500	700	900	1100	1200
$\alpha_в$	10	10	10	12	15	20	40	70	120	150

I.4. Значения коэффициентов теплопроводности материалов ограждения (бетон, кирпичная кладка, изоляция) следует принимать по приложению I.

I.5. При выполнении тепловых расчетов, используя метод последовательных приближений, необходимо учитывать зависимость коэффициента теплопроводности от температуры. На первом этапе расчета коэффициенты теплопроводности материалов, составляющих конструкцию, принимают при температуре конструкции, равной полусумме температур внутренней среды и окружающего воздуха. Используя полученное при этом допущении распределение температур, вновь находят значение коэффициентов теплопроводности и выполняют следующий этап и т.д. Расчет заканчивают тогда, когда значения коэффициентов теплопроводности в последующем шаге отличаются от значений, найденных в предыдущем, не более чем на 10%.

2. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ЧЕРЕЗ ПЛОСКУЮ И ЦИЛИНДРИЧЕСКУЮ МНОГОСЛОЙНЫЕ СТЕНКИ

2.I. Расчет теплопередачи через плоскую стенку, составленную из n слоев (рис. I,а) следует производить по формуле

$$q = \frac{t_в - t_н}{R_в + \sum_{i=1}^{n} R_i + R_н} \qquad (2)$$

где q - удельный тепловой поток, ккал/м^2.ч;

$t_в$ - температура внутренней среды, ^{0}С;

$t_н$ - температура окружающей среды, ^{0}С;

$R_{в(н)}$ - термическое сопротивление теплоотдаче на внутренней (внешней) поверхности плоской стенки, м^2.ч.^{0}С/ккал;

$\sum_{i=1}^{n} R_i$ - полное термическое сопротивление n - слойной плоской стенки, м^2.ч.^{0}С/ккал.

2.2. Термические сопротивления плоской стенки следует определять по соотношениям:

а) для i - слоя

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i} , \qquad (3)$$

б) на внутренней (внешней) поверхности

$$R_{в(н)} = \frac{1}{\alpha_{в(н)}} , \qquad (4)$$

где δ_i - толщина i - слоя, м;

λ_i - коэффициент теплопроводности i-- слоя, ккал/м.ч.^{0}С;

$\alpha_{в(н)}$ - коэффициент теплоотдачи на внутренней (внешней) поверхности, ккал/м^2.ч.^{0}С.

2.3. Температуры в плоской многослойной стенке следует рассчитывать по формулам:

а) температуру на внутренней поверхности ограждения

$$t_{с.в} = t_в - q R_в , \qquad (5)$$

б) температуру на границе к- и к+I-слоя

$$t_{к+1} = t_в - q\left(R_в + \sum_{i=1}^{i=к} R_i\right), \qquad (6)$$

в) температуру в к-слое на расстоянии x от границы с к-I слоем

$$t\ (0 \le x \le \delta_к) = t_к - \frac{t_к - t_{к+1}}{\delta_к} x , \qquad (7)$$

г) температуру на наружной поверхности ограждения

$$t_{с.н} = t_н + q R_н \qquad (8)$$

или с помощью графика, приведенного в приложении II.

2.4. Расчет теплопередачи через цилиндрическую n - слойную стенку (см. рис. I,б) следует производить по формуле

$$q' = \frac{t_в - t_н}{R'_в + \sum_{i=1}^{n} R'_i + R'_н} , \qquad (9)$$

где q' - удельный линейный (на единицу длины цилиндрической стенки) тепловой поток, ккал/м.ч;

$R'_{в(н)}$ - линейное термическое сопротивление теплоотдаче на внутренней (внешней) поверхности цилиндрической стенки, м.ч.^{0}С/ккал;

$\sum_{i=1}^{n} R'_i$ - полное линейное термическое сопротивление многослойной цилиндрической стенки, м.ч.^{0}С/ккал.

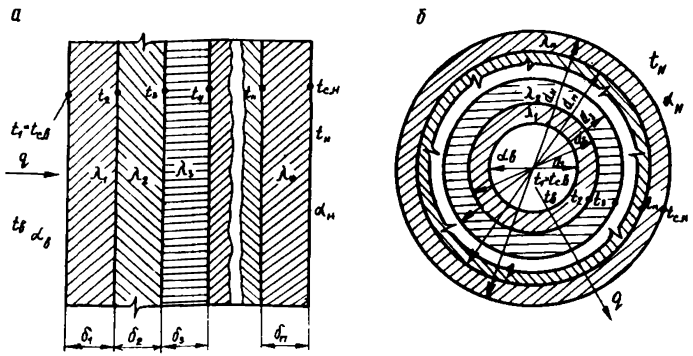


Рис. I. Расчетная схема многослойной стенки: а-плоской; б-цилиндрической

2.5. Линейные термические сопротивления цилиндрической стенки следует определять по соотношениям:

а) для i – слоя

$$R'_i = \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} , \qquad (10)$$

б) на внутренней (внешней) поверхности

$$R'_{в(н)} = \frac{1}{\pi d_{в(н)} \alpha_{в(н)}} , \qquad (11)$$

где d_i – диаметр i слоя, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности i – слоя, ккал/м·ч·°С;

$d_{в(н)}$ – диаметр внутренней (внешней) поверхности, м;

$\alpha_{в(н)}$ – коэффициент теплоотдачи на внутренней (внешней) поверхности, ккал/м·ч·°С.

2.6. Температуру в многослойной цилиндрической стенке следует рассчитывать по формулам:

а) на внутренней поверхности

$$t_{с.в} = t_в - q' R'_в , \qquad (12)$$

б) температуру на границе к- и к+I-слоя

$$t_{к+1} = t_в - q'\left(R'_в + \sum_{i=1}^{к} R'_i\right) , \qquad (I3)$$

в) температуру на наружной поверхности

$$t_{с.н} = t_н + q' R'_н \qquad (I4)$$

или с помощью графика, приведенного в приложении III.

3. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ С ВКЛЮЧЕНИЯМИ

3.I. В данном разделе приведены указания, которыми следует руководствоваться при тепловом расчете ограждений, конструкция которых может представлять собой одну из шести основных расчетных схем (рис. 2); раздел содержит методику определения температур в трех характерных сечениях и теплового потока через конструкцию.

3.2. Удельный тепловой поток через конструкцию с включением $q_{вкл}$, ккал/м^{2}ч, следует определять по формуле

$$q_{вкл} = \eta q , \qquad (I5)$$

где q – удельный тепловой поток через плоскую стенку из основного материала конструкции, ккал/м^2.ч, с коэффициентом теплопроводности λ ккал/м.ч.$^\circ$С, и толщиной δ м, для схем I, 2, 3 и $\delta_1 + \delta_2$ м для схем 4, 5, 6;

η – поправочный коэффициент, учитывающий влияние геометрии и теплопроводности включений на теплозащитные свойства конструкций.

3.3. Расчет конструкций с включениями следует производить в безразмерных температурах, определяемых соотношением

$$\theta = \frac{t - t_н}{t_{с.в} - t_н} , \qquad (I6)$$

(где t – температура в любой точке конструкции, $^\circ$С), и изменяющихся от нуля в наружном воздухе до единицы на внутренней (горячей) поверхности ограждения.

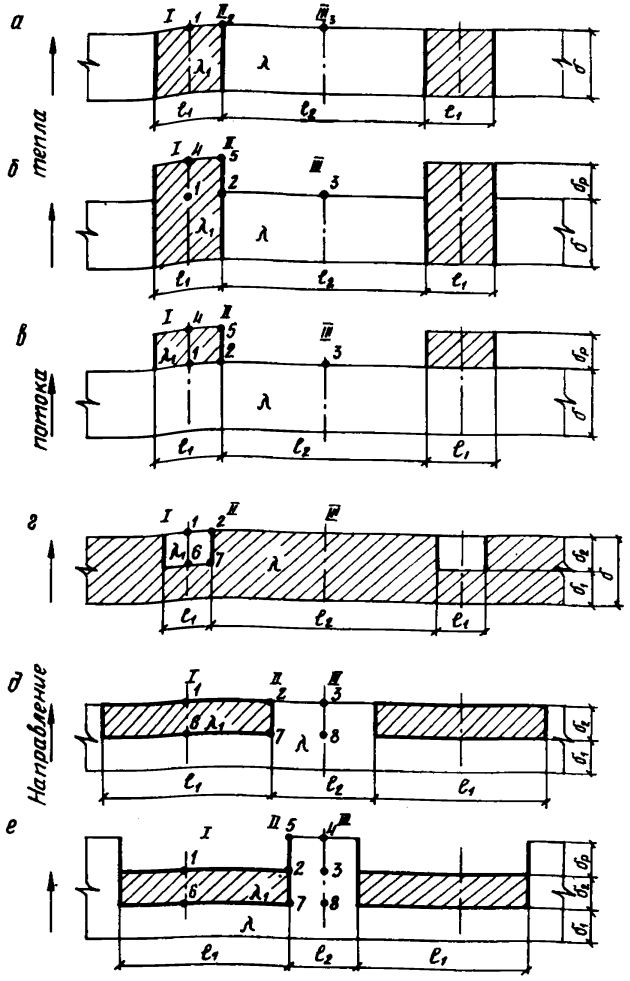


Рис. 2. Расчетные схемы конструкций с включениями: 1–8–базовые точки в выбранных для расчета сечениях I–III

3.4. Температуру на внутренней поверхности конструкции допускается вычислять по формуле (5), принимая тепловой поток q как для плоской стенки толщиной δ и с коэффициентом теплопро-

водности λ для схем а, б, в, г и как для двухслойной стенки с толщинами δ_1 и δ_2 и коэффициентами теплопроводности λ и λ_1 для схем д, е – согласно п. 2.3.

Расчет конструкций со сквозным включением

3.5. Безразмерные температуры на поверхности ограждения в точках I, 2, 3 (см. рис. 2 схема $а$) вычисляют по формулам

$$\theta_1 = 1-c+0{,}4a_1[c-Bi_1(1-c)]\Sigma_3 , \qquad (17)$$

$$\theta_2 = 1-c , \qquad (18)$$

$$\theta_3 = 1-c+0{,}4a_2[c-Bi_2(1-c)]\Sigma_4 , \qquad (19)$$

где $a_1=\frac{\ell_1}{\delta}$; $a_2=\frac{\ell_2}{\delta}$; $Bi_1=\frac{\alpha_1\delta}{\lambda_1}$; $Bi_2=\frac{\alpha_2\delta}{\lambda}$;

$$c=\frac{\alpha_1\ell_1\Sigma_1+\alpha_2\ell_2\Sigma_2}{\ell_1\left(\alpha_1+\frac{\lambda_1}{\delta}\right)\Sigma_1+\ell_2\left(\alpha_2+\frac{\lambda}{\delta}\right)\Sigma_2} ;$$

α_1 – коэффициент теплообмена с поверхности включения, ккал/м^2·ч·^{0}С;

α_2 – коэффициент теплообмена с поверхности основного материала, ккал/м^2·ч·^{0}С;

λ – коэффициент теплопроводности основного материала, ккал/м·ч·^{0}С;

λ_1 – коэффициент теплопроводности включения, ккал/м·ч·^{0}С;

остальные обозначения показаны на рис. 2.

3.6. Поправочный коэффициент для определения $q_{вкл}$ по п.3.2 следует вычислять по формуле

$$\eta=\frac{\alpha_2+\frac{\lambda}{\delta}}{\alpha_2\lambda(\ell_1+\ell_2)}(\lambda_1\ell_1\mathcal{J}_1+\lambda\ell_2\mathcal{J}_2), \qquad (20)$$

где $\mathcal{J}_1 = C - 0{,}8\left[C - B_{i_1}\,(1-C)\right]\Sigma_5$,

$\mathcal{J}_2 = C - 0{,}8\left[C - B_{i_2}(1-C)\right]\Sigma_6$.

3.7. Значения величин Σ_1 ,..., Σ_6 следует определять по графикам приложений (IУ-УI) в зависимости от значений параметров a и B_i

$$\Sigma_1 = S_1\left(a = a_1\,;\ B_i = B_{i_1}\right);\ \Sigma_2 = S_1\left(a = a_2\,;\ B_i = B_{i_2}\right),$$

$$\Sigma_3 = S_2\left(a = a_1\,;\ B_i = B_{i_1}\right);\ \Sigma_4 = S_2\left(a = a_2\,;\ B_i = B_{i_2}\right),$$

$$\Sigma_5 = S_3\left(a = a_1\,;\ B_i = B_{i_1}\right);\ \Sigma_6 = S_3\left(a = a_2\,;\ B_i = B_{i_2}\right).$$

При значении a > 6 величины S_1 и S_2 следует рассчитывать по формуле

$$S_i(a, B_i) = \frac{6\,S_i(6, B_i)}{a},\ (i = 1,2). \qquad (21)$$

3.8. По толщине ограждения распределение температур следует считать линейным.

Расчет конструкций со сквозным включением, выступающим за поверхность ограждения, и конструкций с включением на его внешней поверхности

3.9. Вычисление безразмерных температур θ_1 , θ_2 , θ_3 в точках I, 2, 3 (см. рис. 2, схемы б, в), а также поправочного коэффициента для определения потока тепла $q_{вкл}$ (п. 3.2) следует производить по формулам (I7-20), где вместо значения α, подставляют значение $\alpha_{экв}$.

3.I0. Эквивалентный коэффициент теплообмена $\alpha_{экв}$ следует вычислять по формуле

$$\alpha_{экв} = \beta\alpha_2 \ , \qquad (22)$$

где поправочный коэффициент β находят по кривым приложения VII в зависимости от величин

$$h = \frac{2\delta_p}{\ell_1}, \quad B_i = \frac{\alpha_2 \ell_1}{2\lambda_1}$$

3.II. Безразмерные температуры в точках 4 и 5 следует вычислять по формулам

$$\theta_4 = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} S_4 , \tag{23}$$

$$\theta_5 = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} S_5 , \tag{24}$$

где θ_1, θ_2 - см. пункт 3.9.

S_4, S_5 - величины, определяемые в зависимости от значений величин h и B_i по графикам приложений УП и IX.

Расчет конструкций с несквозным теплопроводным включением

3.I2. Температуру в сечении III (см. рис. 2, схема г) следует рассчитывать как для плоской стенки согласно п. 2.3.

3.I3. Безразмерные температуры в точках I,2,6,7 следует вычислять по формулам

$$\theta_1 = \varepsilon_1 \theta_1^{усл} , \tag{25}$$

$$\theta_2 = \varepsilon_2 \theta_2^{усл} , \tag{26}$$

$$\theta_6 = \varepsilon_6 \theta_6^{усл} , \tag{27}$$

$$\theta_7 = \varepsilon_7 \theta_7^{усл} . \tag{28}$$

3.I4. Величины $\theta_1^{усл}$, $\theta_2^{усл}$ следует вычислять по формулам (I7-I8), заменив величину λ_1 величиной $\lambda_{экв}$ по соотношению

$$\lambda_{экв} = \frac{\delta_1 + \delta_2}{\frac{\delta_1}{\lambda} + \frac{\delta_2}{\lambda_1}} . \tag{29}$$

3.I5. Величины $\theta_6^{усл}$, $\theta_7^{усл}$ вычисляют по формулам

$$\theta_6^{усл} = \frac{\delta_1 \theta_1^{усл} + \delta_2}{\delta_1 + \delta_2} , \qquad (30)$$

$$\theta_7^{усл} = \frac{\delta_1 \theta_2^{усл} + \delta_2}{\delta_1 + \delta_2} . \qquad (31)$$

3.I6. Поправочные коэффициенты ε_1, ε_2, ε_6, ε_7 следует выбирать из табл. I приложения $\underline{X}$ в зависимости от значений величин

$$K = \frac{\lambda}{\lambda_1} , \; Bi_1 = \frac{\alpha_1 \delta_2}{\lambda_1} , \; Bi_2 = \frac{\alpha_2 \delta_2}{\lambda} .$$

3.I7. Поправочный коэффициент η для определения потерь тепла по п.3.2 следует вычислять по формуле (20), подставляя вместо величины λ_1 величину $\lambda_{экв}$, определенную по формуле(29).

3.I8. Распределение температур в сечениях I (II) между нагреваемой поверхностью и точками 6(7), а также между точками 6-I (7-2), следует считать линейным.

Расчет конструкций с несквозным изоляционным включением

3.I9. Безразмерные температуры в точках I, 2, 3, 6, 7, 8(см. рис. 2, схема д), следует вычислять по формулам

$$\theta_1 = \varepsilon_1 \theta_1^{усл} , \qquad (32)$$

$$\theta_2 = \varepsilon_2 \theta_2^{усл} , \qquad (33)$$

$$\theta_3 = \varepsilon_3 \theta_3^{усл} , \qquad (34)$$

$$\theta_6 = \varepsilon_6 \theta_6^{усл} , \qquad (35)$$

$$\theta_7 = \varepsilon_7\, \theta_7^{усл}\,, \qquad (36)$$

$$\theta_8 = \varepsilon_8\, \theta_8^{усл}\,. \qquad (37)$$

3.20. Величины $\theta_1^{усл}$, $\theta_2^{усл}$, $\theta_3^{усл}$ следует вычислять по формулам (I7-I9), заменив величину λ_1 величиной $\lambda_{экв}$ по соотношению (29).

3.2I. Величины $\theta_6^{усл}$, $\theta_7^{усл}$, $\theta_8^{усл}$ следует вычислять по формулам

$$\theta_6^{усл} = \frac{\delta_1 \theta_1^{усл} + \delta_2}{\delta_1 + \delta_2}\,, \qquad (38)$$

$$\theta_7^{усл} = \frac{\delta_1 \theta_2^{усл} + \delta_2}{\delta_1 + \delta_2}\,, \qquad (39)$$

$$\theta_8^{усл} = \frac{\delta_1 \theta_3^{усл} + \delta_2}{\delta_1 + \delta_2}\,. \qquad (40)$$

3.22. Поправочные коэффициенты ε_1, ε_2, ε_3, ε_6, ε_7, ε_8 следует подбирать из табл. 2 приложения X в зависимости от значений величин

$$m = \frac{\ell_1}{\ell_2}\,, \quad a = \frac{\ell_2}{\delta_2}\,, \quad \rho = \frac{\delta_1}{\delta_2}\,,$$

$$B_{i2} = \frac{\alpha_2 \delta_2}{\lambda}\,, \quad B_{i1} = \frac{\alpha_1 \delta_2}{\lambda_1}\,, \quad K = \frac{\lambda}{\lambda_1}\,.$$

При значениях параметра $m \geqslant 2$ температуры в сечении I следует рассчитывать как для двухслойной стенки согласно п. 2.3.

3.23. Поправочный коэффициент n для определения $q_{вкл}$ по п. 3.2 следует вычислять по пункту 3.I7.

3.24. Распределение температур в сечениях I (II, III) между нагреваемой поверхностью и точками 6 (7, 8), а также между точками 6-I (7-2, 8-3) следует принимать линейным.

3.25. Расчёт безразмерных температур $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_6, \theta_7, \theta_8$ в точках I, 2, 3, 6, 7, 8 (см. рис. 2, схема в) следует выполнять согласно пунктам 3.I9 - 3.24, в которых вместо значения коэффициента α_2 подставляют значение коэффициента $\alpha_{экв}$, выбираемое согласно пункту 3.I0 при условии замены ℓ_1 величиной ℓ_2, а λ_1 величиной λ.

3.26. Безразмерные температуры θ_4, θ_5 в точках 4, 5 следует вычислять по формулам

$$\theta_4 = \frac{\theta_2 + \theta_3}{2} S_4 \quad , \tag{4I}$$

$$\theta_5 = \frac{\theta_2 + \theta_3}{2} S_5 \quad , \tag{42}$$

где θ_2, θ_3 определяют по п. 3.25, а величины S_4, S_5 находят по графикам приложений VIII и IX в зависимости от значений величин h и Bi.

3.27. Для пересчета безразмерных температур в конструкциях с включениями, получаемых по п.п. 3.3-3.26, в обычные следует применять формулу

$$t = t_н + \theta \left(t_{с.в} - t_н \right); \tag{43}$$

где θ - соответствующая безразмерная температура.

4. РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУР В ЭЛЕМЕНТАХ ФУНДАМЕНТОВ ДЫМОВЫХ ТРУБ С ПОДЗЕМНЫМ ВВОДОМ ГАЗОХОДОВ

4.I. Данный метод расчета рекомендуется применять для определения температуры в различных по толщине точках цилиндрической или донной части фундамента принятой конструкции в условиях стационарного температурного режима.

4.2. Вид и толщину изоляции бетона фундамента следует подбирать в зависимости от допустимой температуры применения бетона, исходя из условий прочности и экономичности сооружения.

4.3. Для расчета температуры в цилиндрической стенке и днище фундамента следует предварительно определить температуру на наружной поверхности стенки $t_{с.н}$ и днища $t_{д.н}$ по принятым размерам бетонной части, футеровки и изоляции (рис. 3) по формулам:

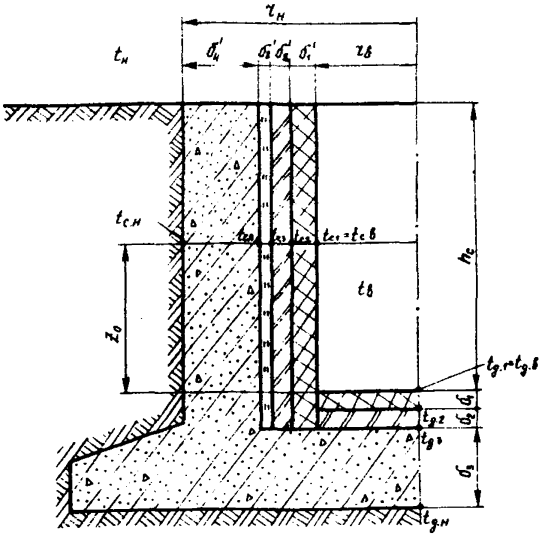


Рис. 3. Фрагмент фундамента дымовой трубы

а) для цилиндрической стенки фундамента:

$$t_{c.н} = \frac{t_в + \lambda_{гр.эф}\, a\Psi t_н \left(R'_в + \sum_{i=1}^{n} R'_i\right)}{1 + \lambda_{гр.эф}\, a\Psi \left(R'_в + \sum_{i=1}^{n} R'_i\right)} \quad , \qquad (44)$$

где $t_в$ - температура дымовых газов в трубе на уровне фундамента, °С;

$t_н$ - температура окружающей фундамент среды (принимается в соответствии с п. 4.6), °С;

$\lambda_{гр.эф}$ - эффективный коэффициент теплопроводности грунта (принимается в соответствии с п. 4.7), ккал/м·ч °С;

a - величина, определяемая по соотношению $a = r_н / h_c$;

$r_н$ - наружный диаметр стакана фундамента, м;

h_c - высота подземной части стакана фундамента (расстояние от уровня поверхности грунта до уровня футеровки днища фундамента), м;

Ψ - величина, определяемая по графику приложения XI в зависимости от относительной высоты рассматриваемого сечения $\beta = z_o / h_c$;

z_o – высота рассматриваемого сечения от уровня футеровки днища фундамента, м;

$R_в'$ – линейное термическое сопротивление теплоотдачи от газа к стенке (определяется в соответствии с п. 2.5), м·ч·°С/ккал;

$\sum_{i=1}^{n} R_i'$ – сумма линейных термических сопротивлений n – слойной стенки фундамента (определяется в соответствии с п. 2.5), м·ч·°С/ккал;

б) для днища фундамента:

$$t_{g.н} = \frac{t_в + t_н \cdot \frac{4\lambda_{ср.эф}}{\pi r_в} \left(R_в + \sum_{i=1}^{m} R_i \right)}{1 + \frac{4\lambda_{ср.эф}}{\pi r_в} \left(R_в + \sum_{i=1}^{m} R_i \right)} , \qquad (45)$$

где $r_в$ – радиус внутренней поверхности фундамента (футеровки), м;

$R_в$ – термическое сопротивление теплоотдачи от газа к футеровке днища (определяется в соответствии с п. 2.2), м²·ч·°С/ккал;

$\sum_{i=1}^{m} R_i$ – сумма термических сопротивлений m – слойного днища (определяется в соответствии с п.2.2), м²·ч·°С/ккал.

4.4. Температуру на границе к и к+1 слоев цилиндрической стенки и днища фундамента определяют по известным температурам наружной и внутренней поверхности по формулам:

а) для цилиндрической стенки:

$$t_{с.к+1} = t_в - (t_в - t_{с.н}) \frac{R_в' + \sum_{i=1}^{к} R_i'}{R_в' + \sum_{i=1}^{n} R_i'} , \qquad (46)$$

где $\sum_{i=1}^{к} R_i'$ – сумма линейных термических сопротивлений к – слоев цилиндрической стенки (определяется в соответствии с п. 2.5), м·ч·°С/ккал;

б) для днища:

$$t_{g.к+1} = t_в - (t_в - t_{g.н}) \frac{R_в + \sum_{i=1}^{к} R_i}{R_в + \sum_{i=1}^{m} R_i} , \qquad (47)$$

где $\sum_{i=1}^{к} R_i$ – сумма термических сопротивлений к слоев (определяется в соответствии с п. 2.2), м²·ч·°С/ккал.

4.5. Распределение температуры во всех слоях стенки цилиндрической части фундамента для интервала относительной высоты рассматриваемых сечений в пределах β = 0,3–0,9 может быть получено по формуле (46), справедливой для $\alpha > 0,2$. Максимальная

температура в слоях стенки будет при β = 0,3. Температура в слоях днища, полученная по формуле (47) будет максимальной.

4.6. В формулах (44) и (45) $t_н$ следует принимать равной среднегодовой температуре наружного воздуха при расчете на максимально возможную температуру в элементах фундамента и равной средней температуре воздуха за отопительный период при расчете температурных напряжений в бетоне фундамента.

4.7. Эффективный коэффициент теплопроводности грунта $\lambda_{гр.эф}$ следует определять по графикам приложения XII в зависимости от температуры $t_{с.н}$ и $t_{д.н}$ и коэффициентов теплопроводности сухого и влажного грунта при фактической влажности. Коэффициент теплопроводности всех видов сухого грунта следует принимать постоянным $\lambda_{гр.с}$ = 0,3 ккал/м·ч·°С. Коэффициент теплопроводности влажного грунта следует принимать по фактическим данным для районов строительства фундаментов. Ориентировочно допускается принимать такие значения коэффициентов теплопроводности влажных грунтов: для всех видов песков плотностью ρ =1500 - 1700 кг/м^3 с объемной влажностью 8-10% $\lambda_{гр.б}$=1,0 ккал/м·ч·°С: для глин, суглинков и супесей плотностью ρ = 1600-2100 кг/м^3 с объемной влажностью 18 - 25% $\lambda_{гр.гл}$ =2,0 ккал/м·ч·°С. При температуре $t_{с.н}$ и $t_{д.н}$<100°С $\lambda_{гр.эф}=\lambda_{гр.гл}$.

4.8. При расчёте температуры в цилиндрической стенке фундамента, находящейся в зоне грунтовых вод, для определения термических напряжений следует предварительно найти $t_{с.н}$ как для влажного грунта при отсутствии грунтовых вод в соответствии с п. 4.3. Если при этом $t_{с.н}$ > 100°С, то расчёт температуры в стенке, находящейся в зоне грунтовых вод, следует вести по формуле (46) при $t_{с.н}$ = 100°С. Если $t_{с.н}$ < 100°С, то расчёт температуры в стенке, находящейся в зоне грунтовых вод, следует вести как для случая влажного грунта при отсутствии грунтовых вод по формулам (44), (46).

4.9. Температуру в цилиндрической стенке и днище фундамента, находящегося в зоне грунтовых вод, для подбора материалов по допустимой температуре их применения следует рассчитывать как для случая влажного грунта при отсутствии грунтовых вод по формулам (44-47).

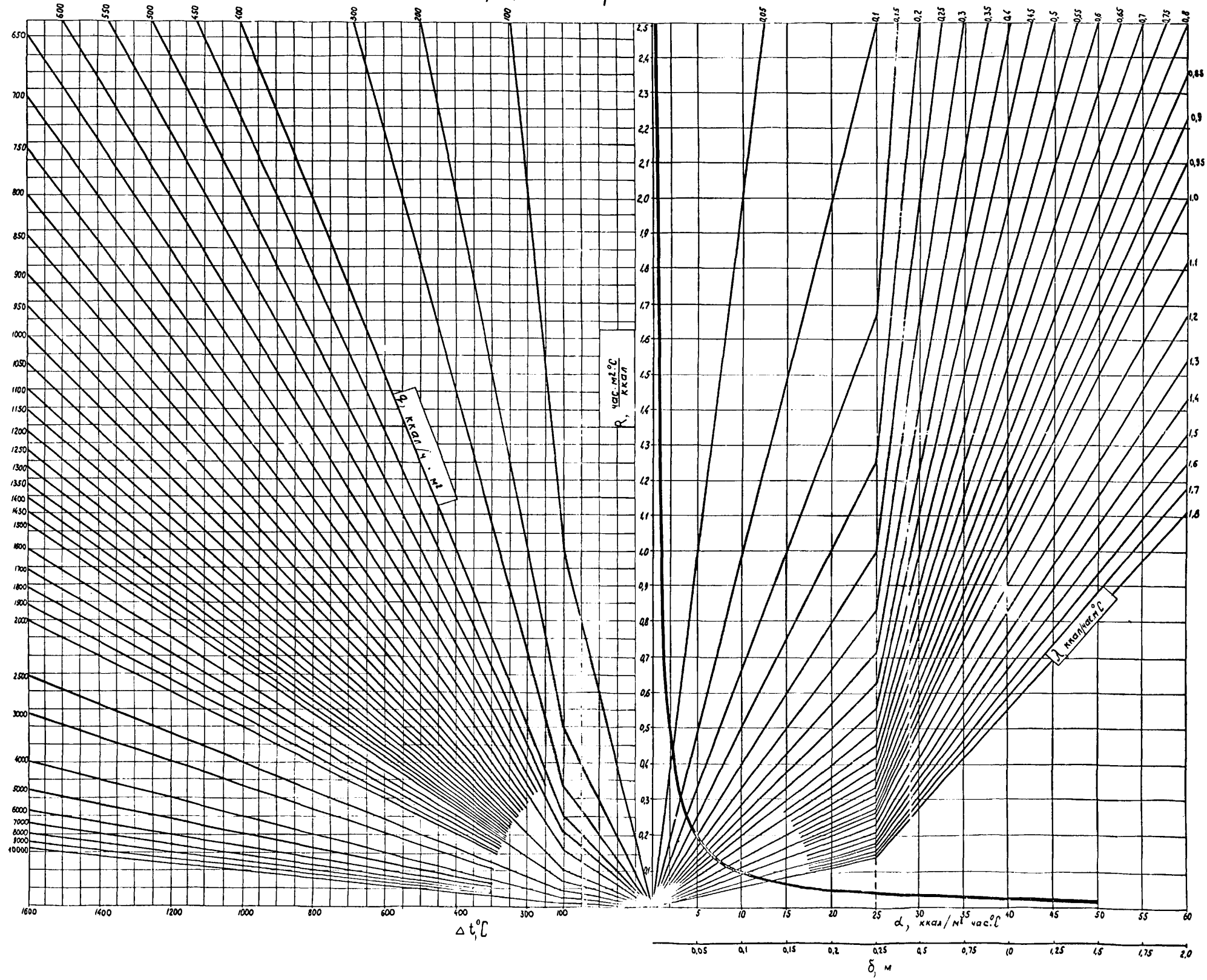
4.10. Если фундамент выступает над поверхностью грунта, необходимо дополнительно выполнить расчёт температуры в условиях теплообмена наружной цилиндрической поверхности с воздухом согласно п. 2.4-2.5 и для определения температурных напряжений в бетоне принять наиболее неблагоприятное распределение температуры.

Коэффициенты теплопроводности обычного и жаростойкого бетонов, огнеупоров и изоляционных материалов

Материал	Коэффициент теплопроводности, ккал/м·ч·°С, при средней температуре нагрева, °С									
	50	I00	200	300	400	500	600	700	900	II00
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
Обычный тяжелый бетон	I,I2	I,I4	I,2I	I,28	-	-	-	-	-	-
Жаростойкие бетоны с заполнителями:										
хромит	I,I2	I,I4	I,I7	I,20	I,25	I,30	I,33	I,35	I,40	I,50
базальт, диабаз, андезит	I,02	I,04	I,I0	I,I6	I,2I	I,27	I,33	I,39	-	-
шамот	0,62	0,64	0,70	0,76	0,8I	0,87	0,93	0,98	I,I0	-
шлак, бой обыкновенного глиняного кирпича	0,56	0,58	0,63	0,68	0,72	0,77	0,82	0,87	-	-
артикский туф	0,54	0,56	0,6I	0,66	0,70	0,75	0,80	0,85	-	-
Легкие жаростойкие бетоны с заполнителями из керамзита с объемной массой бетона, кг/м³:										
I200	0,33	0,35	0,39	0,43	0,46	0,50	0,54	0,58	-	-
I500	0,37	0,40	0,46	0,5I	0,57	0,63	0,69	0,75	-	-
Динасовый	I,38	I,39	I,43	I,46	I,49	I,53	I,56	I,59	I,66	I,72
Шамотный	0,69	0,65	0,7I	0,77	0,82	0,87	0,93	0,99	I,I0	I,2I

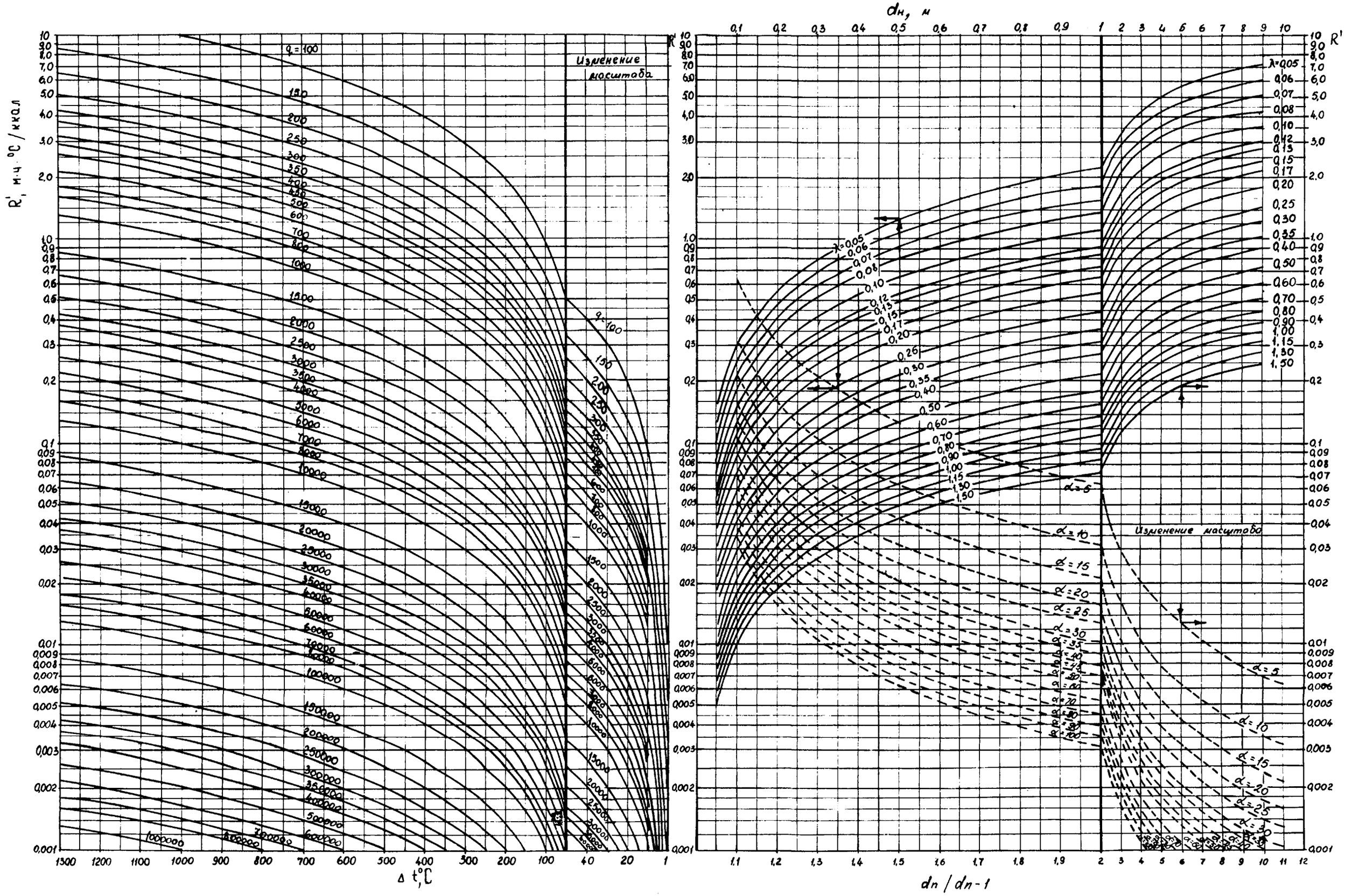
Приложение 2

График для расчёта плоской стенки



Приложение III

График для расчёта цилиндрической стенки



I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Каолиновый	I,54	I,55	I,57	I,60	I,62	I,64	I,66	I,68	I,78	I,77	
Высокоглиноземистый	I,5I	I,50	I,48	I,46	I,44	I,42	I,40	I,38	I,34	I,30	
Магнезитовый	5,I6	5,07	4,84	4,6I	4,38	4,I5	3,92	3,69	3,23	2,77	
Магнезитохромитовый	3,44	3,39	3,24	3,I0	2,96	2,82	2,67	2,53	2,24	I,96	
Хромомагнезитовый	2,36	2,32	2,25	2,I8	2,I0	2,02	I,95	I,88	I,72	I,58	
Динасовый легковесный	0,49	0,50	0,52	0,55	0,57	0,60	0,62	0,65	0,70	0,75	
Шамотный легковесный, т/м^3:											
I,3	0,42	0,43	0,47	0,50	0,53	0,56	0,60	0,63	0,70	0,76	
I,0	0,29	0,30	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,54	0,60	
0,8	0,20	0,2I	0,23	0,25	0,27	0,29	0,3I	0,33	0,36	0,40	
0,4	0,II	0,II	0,I3	0,I4	0,I6	0,I7	0,I8	0,20	0,23	0,25	
Диатомитовый марки:											
600	0,I2	0,I3	0,I5	0,I7	0,I9	0,2I	0,23	0,25	0,29	-	
500	0,I0	0,II	0,I3	0,I5	0,I7	0,I9	0,2I	0,23	0,27	-	
Асбестовый картон	0,I4	0,I5	0,I6	0,I7	0,I8	0,I9	-	-	-	-	
Глиняный обыкновенный кирпич	0,43	0,44	0,49	0,53	0,58	0,62	0,66	0,7I	0,80	-	
Совелитовые плиты марки:											
400	0,076	0,080	0,089	0,098	0,I07	0,II6	-	-	-	-	
350	0,073	0,077	0,085	0,093	0,I02	0,III	-	-	-	-	
Асбестовермикулит 250	0,076	0,083	0,I00	0,II9	0,I37	0,I55	-	-	-	-	
Маты минеральные 250	0,060	0,067	0,083	0,099	0,II5	0,I3I	-	-	-	-	
Вермикулит обожженный I25	0,076	0,084	0,I04	0,I24	0,I45	0,I65	0,I85	0,20	0,25	-	
Асбозурит 600	0,I5	0,I6	0,I7	0,I8	0,20	0,22	0,23	0,25	-	-	

ПРИЛОЖЕНИЕ IУ

График для определения величин Σ_1, Σ_2

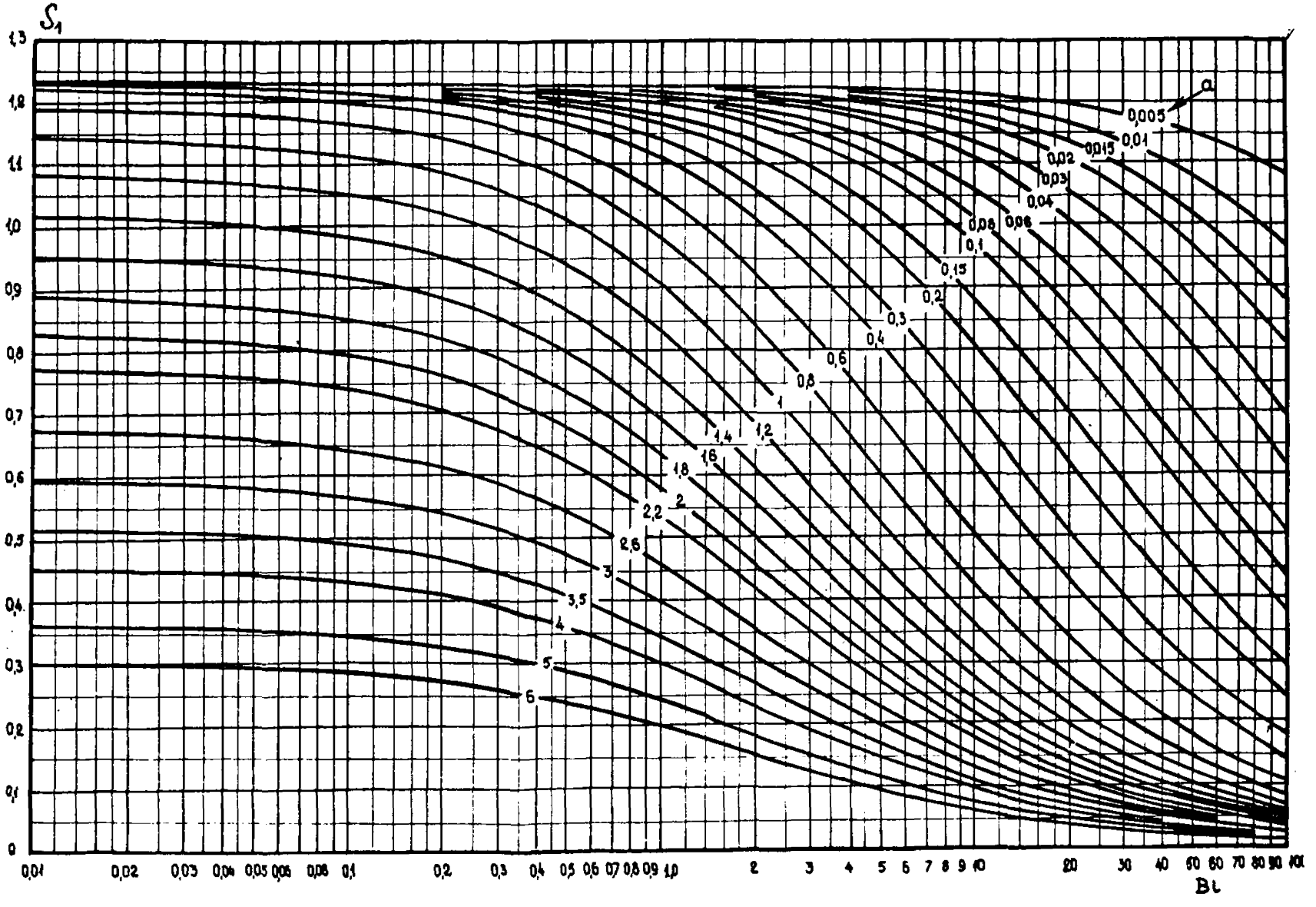


График для определения величин Σ_3, Σ_4

ПРИЛОЖЕНИЕ У

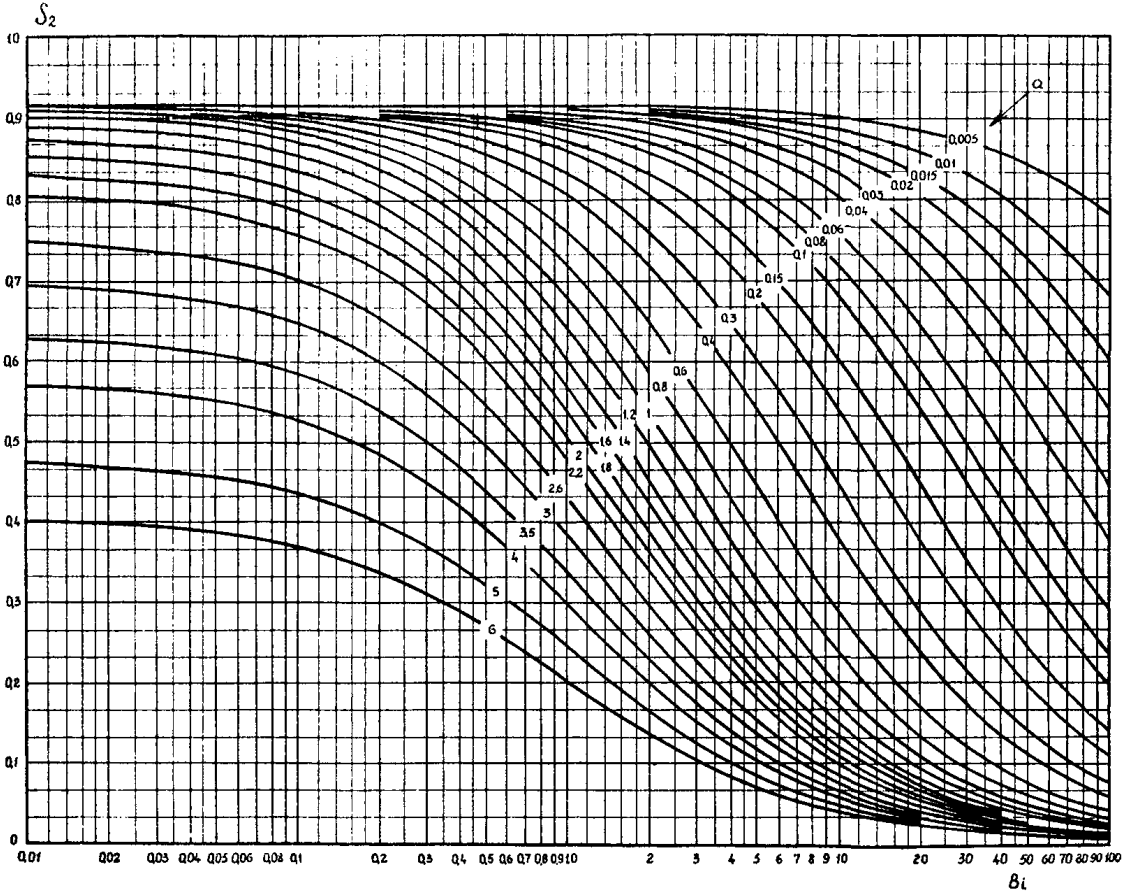
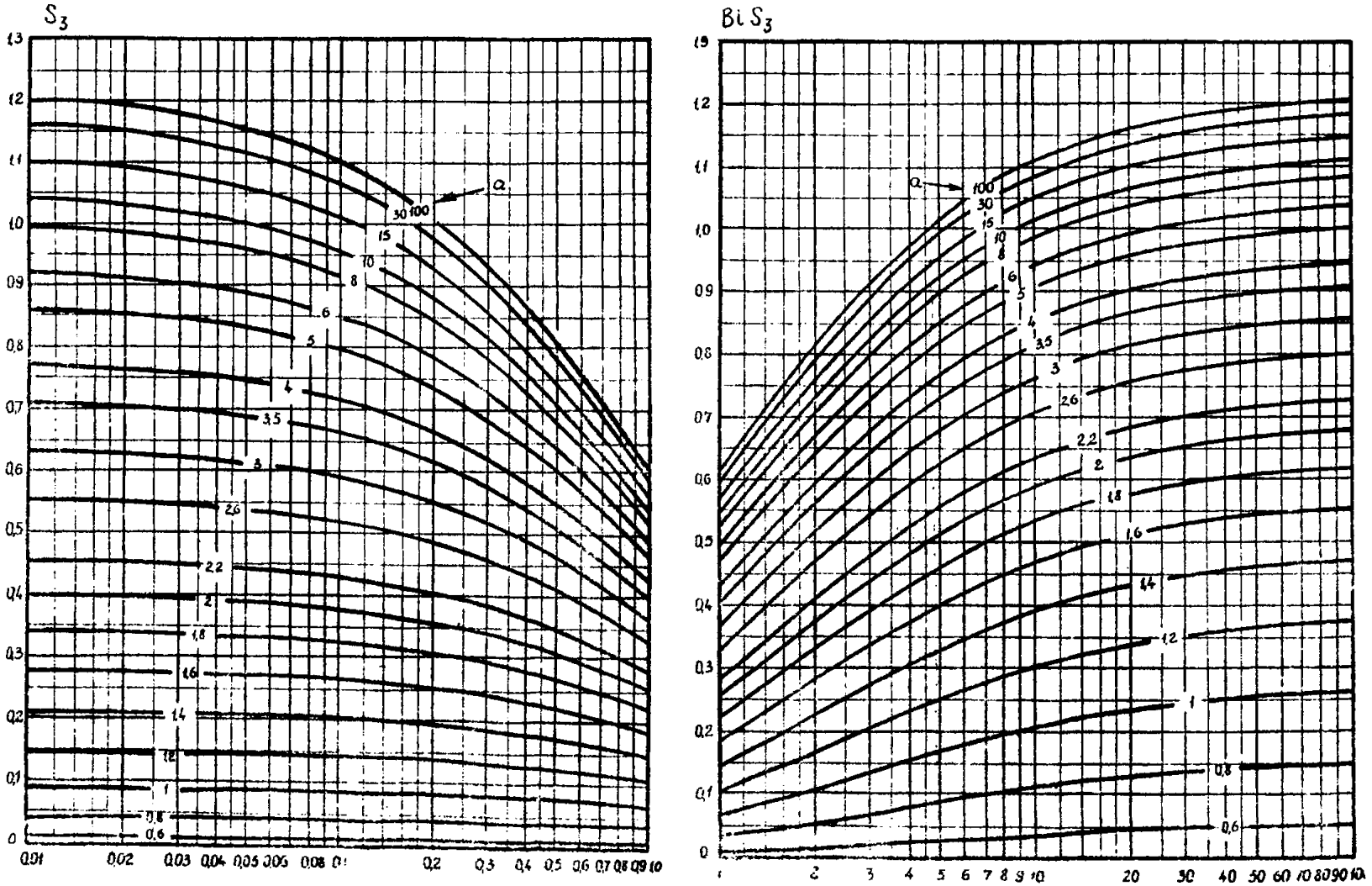


График для определения величин Σ_5, Σ_6

ПРИЛОЖЕНИЕ VI



ПРИЛОЖЕНИЕ УП

График для определения поправочного коэффициента β

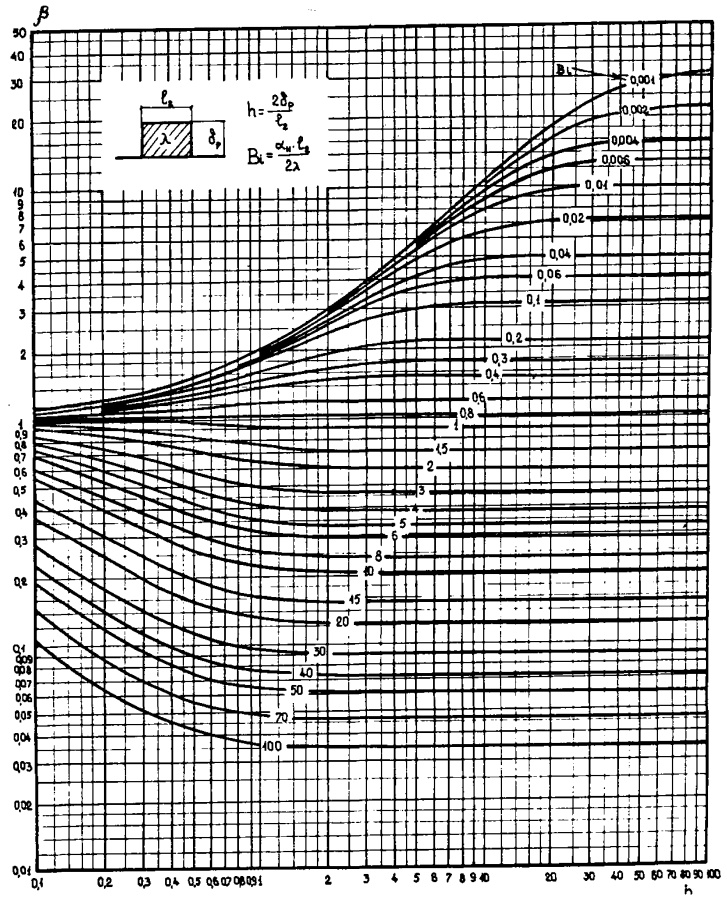
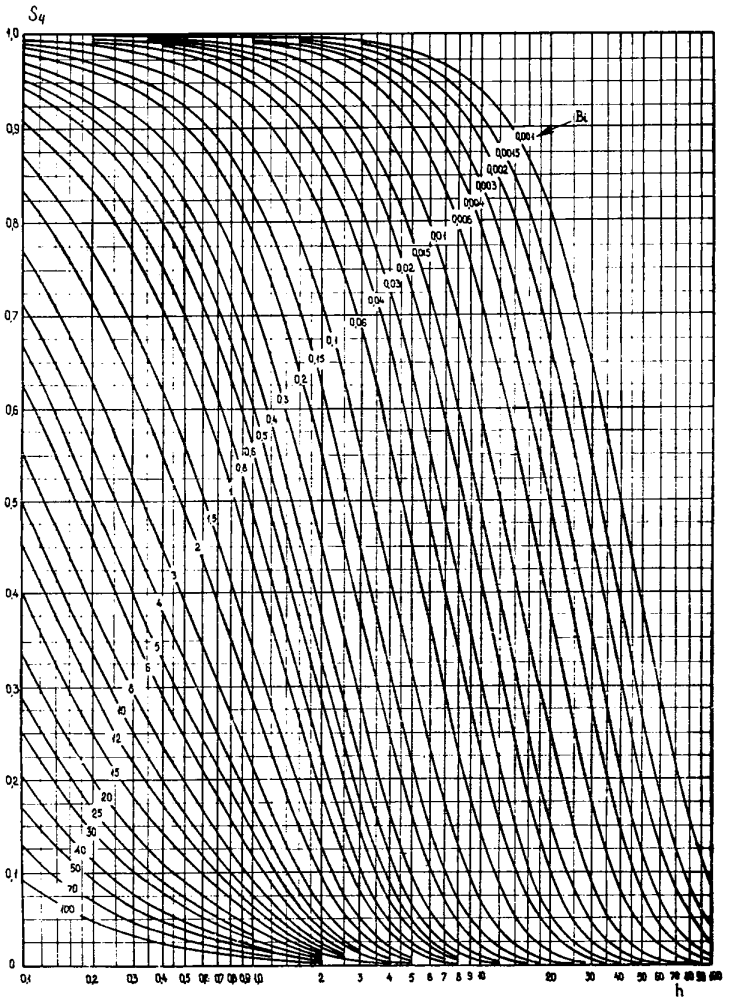
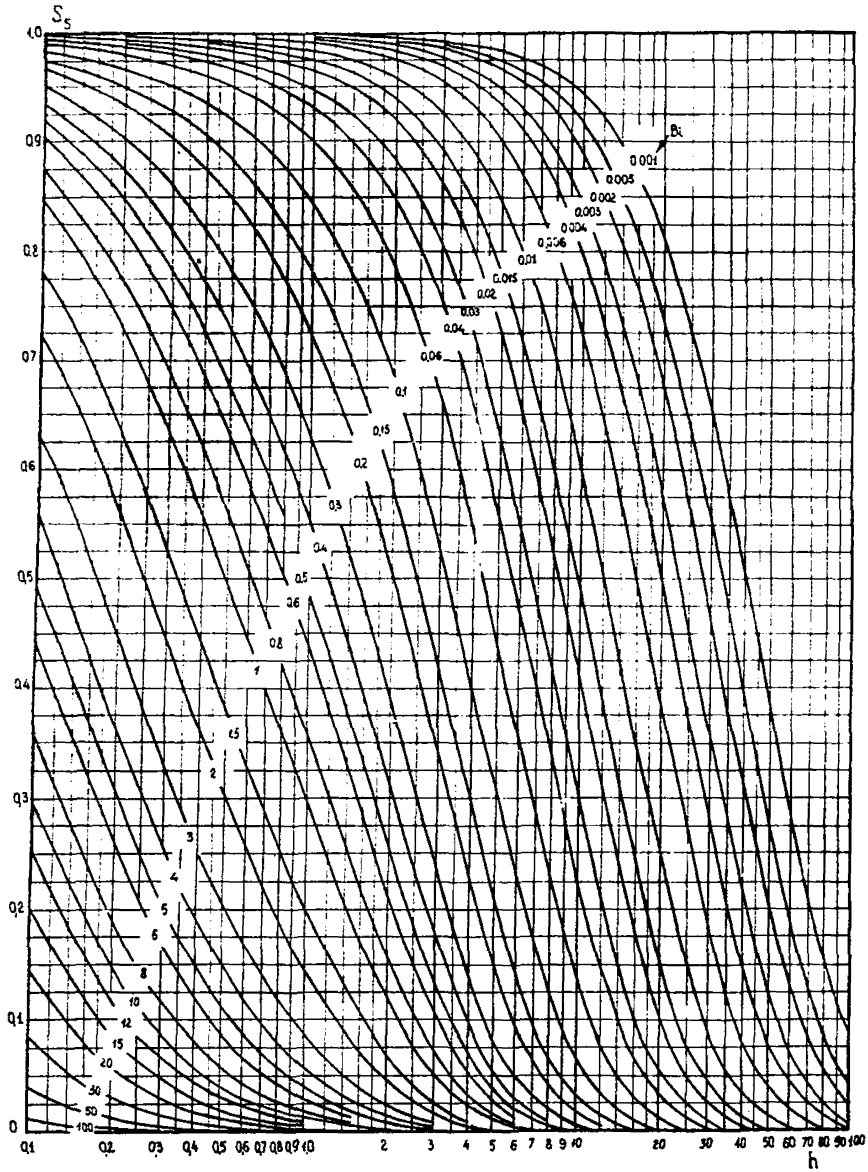


График для определения величины S_4



ПРИЛОЖЕНИЕ IX

График для определения величины S_5



ПРИЛОЖЕНИЕ X

Таблица I

Поправочные коэффициенты для расчета конструкций с несквозным теплопроводным включением

Bi_2	Bi_1	K	ε_1	ε_6	ε_2	ε_7
$0,8 \leq Bi_2 < 3$	$0,5 \leq Bi_1 < I$	$0,2 \leq K < 0,3$	I,II	0,64	0,88	0,78
		$0,3 \leq K < 0,5$	I,05	0,76	0,99	0,86
		$0,5 \leq K \leq I$	I,0I	0,9I	I,02	0,96
	$I \leq Bi_1 \leq I,5$	$0,2 \leq K < 0,3$	I,I4	0,58	0,73	0,75
		$0,3 \leq K < 0,5$	I,08	0,73	0,92	0,84
		$0,5 \leq K \leq I$	I,02	0,9I	I,0I	0,95
$3 \leq Bi_2 \leq I0$	$0,5 \leq Bi_1 < I$	$0,2 \leq K < 0,3$	I,08	0,6I	I,0I	0,77
		$0,3 \leq K < 0,5$	I,03	0,73	I,08	0,84
		$0,5 \leq K \leq I$	I,00	0,89	I,03	0,95
	$I \leq Bi_1 \leq I,5$	$0,2 \leq K < 0,3$	I,I2	0,56	0,86	0,74
		$0,3 \leq K < 0,5$	I,06	0,70	I,02	0,63
		$0,5 \leq K \leq I$	I,0I	0,89	I,03	0,95

Таблица 2

Поправочные коэффициенты для расчета конструкций с несквозным изоляционным включением и ребристых

Bi_2	Bi_1	K	Номер строки
$0{,}5 \leq Bi_2 < 1$	$2 \leq Bi_1 < 5$	$1 \leq к < 2$	1
		$2 \leq к < 5$	2
		$5 \leq к \leq 10$	3
	$5 \leq Bi_1 < 10$	$1 \leq к < 2$	4
		$2 \leq к < 5$	5
		$5 \leq к \leq 10$	6
	$10 \leq Bi_1 \leq 20$	$1 \leq к < 2$	7
		$2 \leq к < 5$	8
		$5 \leq к \leq 10$	9
$1 \leq Bi_2 < 3$	$2 \leq Bi_1 < 5$	$1 \leq к < 2$	10
		$2 \leq к < 5$	11
		$5 \leq к \leq 10$	12
	$5 \leq Bi_1 < 10$	$1 \leq к < 2$	13
		$2 \leq к < 5$	14
		$5 \leq к \leq 10$	15
	$10 \leq Bi_1 \leq 20$	$1 \leq к < 2$	16
		$2 \leq к < 5$	17
		$5 \leq к \leq 10$	18
$3 \leq Bi_2 \leq 6$	$2 \leq Bi_1 < 5$	$1 \leq к < 2$	19
		$2 \leq к < 5$	20
		$5 \leq к \leq 10$	21
	$5 \leq Bi_1 \leq 10$	$1 \leq к < 2$	22
		$2 \leq к < 5$	23
		$5 \leq к \leq 10$	24
	$10 \leq Bi_1 \leq 20$	$1 \leq к < 2$	25
		$2 \leq к < 5$	26
		$5 \leq к \leq 10$	27

Таблица 2 (продолжение)

Номер строки	$1 \leq m < 2$											
	$0{,}5 \leq a < 1$											
	$0{,}5 \leq p < 1$						$1 \leq p < 1{,}5$					
	ε_1	ε_6	ε_2	ε_7	ε_3	ε_8	ε_1	ε_6	ε_2	ε_7	ε_3	ε_8
1	0,97	1,12	1,04	1,06	1,05	1,01	0,96	1,16	1,05	1,09	1,07	1,02
2	0,90	1,25	1,03	1,14	1,08	1,08	0,89	1,33	1,06	1,21	1,13	1,14
3	0,86	1,31	0,99	1,17	1,07	1,10	0,84	1,41	1,04	1,27	1,14	1,19
4	0,95	1,15	1,07	1,07	1,07	1,00	0,94	1,20	1,10	1,10	1,10	1,01
5	0,87	1,32	1,08	1,17	1,12	1,08	0,85	1,43	1,15	1,25	1,20	1,15
6	0,81	1,40	1,03	1,20	1,10	1,11	0,78	1,54	1,12	1,31	1,21	1,20
7	0,94	1,16	1,10	1,08	1,09	1,00	0,93	1,22	1,14	1,11	1,12	1,01
8	0,86	1,36	1,13	1,19	1,16	1,08	0,82	1,49	1,24	1,29	1,26	1,15
9	0,79	1,45	1,07	1,22	1,14	1,12	0,75	1,64	1,20	1,35	1,27	1,22
10	0,97	1,10	1,01	1,07	1,04	1,04	0,96	1,13	1,02	1,09	1,06	1,06
11	0,92	1,25	0,96	1,17	1,07	1,11	0,90	1,32	0,98	1,25	1,13	1,19
12	0,89	1,32	0,89	1,23	1,07	1,15	0,88	1,43	0,93	1,34	1,15	1,26
13	0,95	1,13	1,04	1,08	1,06	1,02	0,94	1,17	1,06	1,11	1,09	1,05
14	0,88	1,30	1,00	1,19	1,11	1,11	0,86	1,40	1,04	1,28	1,18	1,19
15	0,84	1,39	0,92	1,24	1,10	1,15	0,80	1,53	0,98	1,37	1,20	1,26
16	0,95	1,15	1,08	1,08	1,08	1,02	0,93	1,19	1,11	1,11	1,11	1,04
17	0,87	1,34	1,04	1,20	1,14	1,11	0,83	1,46	1,12	1,30	1,23	1,19
18	0,81	1,44	0,95	1,25	1,13	1,15	0,77	1,61	1,04	1,39	1,25	1,27
19	0,97	1,09	0,98	1,07	1,04	1,06	0,96	1,11	0,98	1,10	1,06	1,09
20	0,93	1,24	0,87	1,20	1,08	1,14	0,92	1,31	0,86	1,28	1,13	1,23
21	0,92	1,33	0,74	1,27	1,09	1,18	0,92	1,44	0,76	1,40	1,18	1,31
22	0,96	1,12	1,01	1,08	1,06	1,05	0,94	1,15	1,01	1,11	1,08	1,08
23	0,90	1,29	0,89	1,21	1,11	1,14	0,87	1,38	0,90	1,30	1,18	1,23
24	0,87	1,39	0,75	1,28	1,11	1,18	0,84	1,52	0,78	1,42	1,21	1,31
25	0,95	1,13	1,04	1,08	1,07	1,04	0,93	1,17	1,05	1,12	1,10	1,06
26	0,88	1,32	0,92	1,22	1,14	1,13	0,84	1,44	0,96	1,32	1,22	1,22
27	0,83	1,43	0,76	1,28	1,13	1,18	0,79	1,59	0,81	1,43	1,25	1,31

Таблица 2 (продолжение)

Номер строки	$1 \leq m < 2$											
	$0,5 \leq \alpha < 1$					$1 \leq \alpha \leq 1,5$						
	$1,5 \leq \rho \leq 2$					$0,5 \leq \rho < 1$						
	ε_1	ε_6	ε_2	ε_7	ε_3	ε_8	ε_1	ε_6	ε_2	ε_4	ε_5	ε_8
1	0,95	1,18	1,06	1,10	1,08	1,03	0,97	1,13	1,04	1,06	1,05	0,99
2	0,87	1,39	1,09	1,26	1,17	1,18	0,91	1,28	1,02	1,13	1,08	1,04
3	0,83	1,48	1,09	1,34	1,19	1,25	0,88	1,35	0,97	1,16	1,07	1,06
4	0,93	1,23	1,11	1,12	1,12	1,02	0,97	1,16	1,08	1,07	1,06	0,98
5	0,83	1,51	1,20	1,32	1,26	1,20	0,89	1,35	1,07	1,15	1,11	1,04
6	0,76	1,65	1,19	1,40	1,29	1,28	0,85	1,44	1,01	1,18	1,10	1,06
7	0,92	1,25	1,17	1,13	1,15	1,02	0,96	1,17	1,10	1,07	1,07	0,97
8	0,81	1,59	1,32	1,36	1,34	1,21	0,90	1,39	1,11	1,17	1,13	1,04
9	0,72	1,78	1,30	1,45	1,38	1,31	0,84	1,50	1,04	1,19	1,12	1,06
10	0,95	1,15	1,02	1,11	1,07	1,07	0,97	1,11	1,01	1,06	1,04	1,02
11	0,89	1,37	0,99	1,31	1,16	1,24	0,93	1,27	0,93	1,16	1,08	1,07
12	0,87	1,50	0,96	1,43	1,21	1,34	0,92	1,36	0,84	1,21	1,08	1,09
13	0,93	1,20	1,07	1,13	1,10	1,06	0,97	1,14	1,04	1,07	1,05	1,01
14	0,84	1,47	1,07	1,35	1,23	1,25	0,91	1,33	0,97	1,17	1,10	1,07
15	0,78	1,63	1,02	1,47	1,27	1,35	0,89	1,43	0,86	1,22	1,10	1,09
16	0,92	1,22	1,13	1,14	1,13	1,05	0,96	1,16	1,07	1,08	1,06	1,00
17	0,81	1,55	1,17	1,38	1,30	1,25	0,91	1,37	1,00	1,19	1,12	1,06
18	0,74	1,73	1,11	1,50	1,34	1,36	0,87	1,48	0,88	1,23	1,12	1,09
19	0,95	1,12	0,97	1,12	1,07	1,11	0,98	1,10	0,97	1,07	1,04	1,04
20	0,91	1,36	0,86	1,35	1,17	1,30	0,95	1,27	0,81	1,18	1,09	1,09
21	0,92	1,51	0,77	1,50	1,24	1,41	0,95	1,36	0,63	1,25	1,10	1,12
22	0,94	1,17	1,02	1,13	1,10	1,09	0,97	1,13	1,00	1,07	1,05	1,03
23	0,85	1,45	0,92	1,37	1,23	1,29	0,93	1,33	0,83	1,19	1,11	1,09
24	0,82	1,61	0,80	1,52	1,29	1,41	0,91	1,43	0,64	1,26	1,12	1,12
25	0,92	1,20	1,07	1,14	1,12	1,08	0,97	1,14	1,03	1,08	1,06	1,02
26	0,82	1,51	0,99	1,39	1,28	1,29	0,92	1,36	0,85	1,20	1,12	1,08
27	0,76	1,70	0,85	1,55	1,34	1,42	0,89	1,48	0,64	1,26	1,13	1,11

Таблица 2 (продолжение)

Номер строки	$1 \leq m < 2$											
	$1 \leq \alpha \leq 1{,}5$											
	$1 \leq \rho < 1{,}5$						$1{,}5 \leq \rho \leq 2$					
	ε_1	ε_6	ε_2	ε_7	ε_3	ε_8	ε_1	ε_6	ε_2	ε_7	ε_3	ε_8
1	0,96	1,17	1,07	1,08	1,07	1,00	0,95	1,20	1,08	1,10	1,08	1,01
2	0,88	1,37	1,07	1,20	1,14	1,09	0,86	1,43	1,10	1,25	1,18	1,14
3	0,84	1,47	1,02	1,25	1,14	1,14	0,82	1,54	1,07	1,33	1,21	1,20
4	0,95	1,21	1,11	1,09	1,09	0,99	0,94	1,25	1,14	1,11	1,11	0,99
5	0,86	1,47	1,15	1,24	1,19	1,09	0,84	1,56	1,20	1,30	1,25	1,14
6	0,80	1,61	1,09	1,29	1,19	1,14	0,76	1,72	1,16	1,38	1,28	1,22
7	0,95	1,23	1,15	1,10	1,10	0,98	0,95	1,27	1,18	1,13	1,13	0,98
8	0,86	1,53	1,22	1,26	1,22	1,10	0,83	1,64	1,31	1,34	1,30	1,14
9	0,78	1,70	1,15	1,32	1,23	1,15	0,75	1,86	1,26	1,42	1,34	1,23
10	0,96	1,14	1,02	1,09	1,06	1,04	0,95	1,16	1,02	1,11	1,08	1,06
11	0,91	1,35	0,94	1,24	1,13	1,14	0,89	1,40	0,95	1,30	1,18	1,19
12	0,89	1,47	0,86	1,32	1,16	1,19	0,87	1,54	0,87	1,41	1,23	1,27
13	0,95	1,18	1,07	1,10	1,08	1,02	0,94	1,21	1,08	1,12	1,10	1,04
14	0,88	1,44	1,01	1,26	1,17	1,13	0,85	1,52	1,04	1,33	1,23	1,19
15	0,84	1,59	0,90	1,35	1,20	1,19	0,80	1,69	0,94	1,45	1,28	1,28
16	0,95	1,20	1,11	1,11	1,09	1,01	0,94	1,24	1,13	1,13	1,12	1,02
17	0,87	1,50	1,07	1,28	1,21	1,13	0,84	1,59	1,12	1,36	1,27	1,19
18	0,81	1,67	0,95	1,37	1,23	1,19	0,78	1,80	1,01	1,48	1,33	1,28
19	0,96	1,12	0,96	1,10	1,06	1,07	0,96	1,14	0,95	1,12	1,08	1,10
20	0,93	1,34	0,79	1,27	1,15	1,18	0,92	1,39	0,77	1,33	1,19	1,24
21	0,93	1,47	0,62	1,38	1,20	1,23	0,92	1,54	0,61	1,48	1,27	1,33
22	0,95	1,16	1,00	1,11	1,08	1,05	0,94	1,18	1,01	1,13	1,10	1,07
23	0,89	1,43	0,83	1,29	1,18	1,17	0,87	1,49	0,83	1,36	1,23	1,23
24	0,87	1,58	0,63	1,40	1,22	1,23	0,84	1,67	0,63	1,51	1,31	1,33
25	0,95	1,18	1,05	1,11	1,09	1,04	0,94	1,21	1,06	1,13	1,11	1,06
26	0,88	1,48	0,87	1,30	1,20	1,16	0,85	1,56	0,89	1,38	1,25	1,23
27	0,84	1,65	0,65	1,41	1,25	1,23	0,80	1,78	0,66	1,53	1,34	1,33

Таблица 2 (продолжение)

Номер строки	$2 \leq m$											
	$0,5 \leq \alpha < 1$											
	$0,5 \leq \rho < 1$				$1 \leq \rho < 1,5$				$1,5 \leq \rho \leq 2$			
	ε_2	ε_7	ε_3	ε_8	ε_2	ε_7	ε_3	ε_8	ε_2	ε_7	ε_3	ε_8
1	1,08	1,06	1,07	1,01	1,12	1,10	1,11	1,03	1,15	1,12	1,13	1,04
2	1,08	1,16	1,12	1,09	1,15	1,26	1,20	1,17	1,20	1,35	1,26	1,24
3	1,03	1,19	1,10	1,12	1,11	1,33	1,21	1,23	1,18	1,46	1,30	1,34
4	1,14	1,07	1,10	1,00	1,20	1,11	1,14	1,02	1,24	1,14	1,18	1,03
5	1,16	1,18	1,17	1,09	1,27	1,31	1,29	1,18	1,36	1,41	1,38	1,26
6	1,09	1,22	1,15	1,12	1,22	1,38	1,30	1,26	1,34	1,54	1,43	1,38
7	1,18	1,08	1,11	1,00	1,26	1,12	1,16	1,01	1,33	1,15	1,20	1,03
8	1,21	1,20	1,20	1,09	1,38	1,34	1,35	1,19	1,52	1,45	1,48	1,27
9	1,13	1,24	1,18	1,13	1,32	1,42	1,37	1,27	1,50	1,60	1,54	1,41
10	1,04	1,07	1,06	1,04	1,05	1,11	1,08	1,07	1,06	1,14	1,10	1,09
11	0,98	1,19	1,09	1,12	1,00	1,30	1,16	1,23	1,01	1,40	1,21	1,31
12	0,90	1,25	1,09	1,16	0,92	1,42	1,19	1,31	0,95	1,56	1,27	1,45
13	1,08	1,08	1,08	1,03	1,12	1,12	1,12	1,05	1,15	1,15	1,15	1,07
14	1,04	1,21	1,14	1,12	1,10	1,34	1,24	1,23	1,15	1,44	1,32	1,32
15	0,94	1,26	1,13	1,16	1,01	1,45	1,26	1,32	1,07	1,62	1,38	1,47
16	1,14	1,08	1,10	1,02	1,20	1,13	1,14	1,04	1,24	1,14	1,18	1,06
17	1,10	1,22	1,17	1,12	1,20	1,36	1,30	1,23	1,28	1,48	1,41	1,32
18	0,98	1,28	1,16	1,17	1,09	1,48	1,32	1,33	1,19	1,66	1,47	1,48
19	0,98	1,08	1,05	1,07	0,96	1,13	1,07	1,11	0,95	1,16	1,08	1,15
20	0,86	1,21	1,09	1,15	0,82	1,34	1,15	1,28	0,80	1,45	1,20	1,39
21	0,72	1,29	1,09	1,20	0,69	1,49	1,20	1,38	0,67	1,66	1,28	1,55
22	1,03	1,09	1,07	1,05	1,04	1,13	1,10	1,09	1,04	1,16	1,13	1,12
23	0,91	1,23	1,13	1,15	0,90	1,37	1,22	1,27	0,90	1,48	1,30	1,38
24	0,75	1,30	1,13	1,20	0,74	1,51	1,26	1,38	0,73	1,69	1,38	1,55
25	1,08	1,09	1,09	1,04	1,11	1,14	1,13	1,08	1,13	1,17	1,16	1,10
26	0,95	1,24	1,16	1,15	0,98	1,38	1,27	1,27	1,00	1,51	1,37	1,38
27	0,77	1,31	1,15	1,20	0,78	1,53	1,31	1,38	0,81	1,72	1,46	1,55

Таблица 2 (продолжение)

Номер строки	$2 \leq m$											
	$I \leq a < I,5$											
	$0,5 \leq \rho < I$				$I \leq \rho < I,5$				$I,5 \leq \rho \leq 2$			
	ε_2	ε_7	ε_3	ε_8	ε_2	ε_7	ε_3	ε_8	ε_2	ε_7	ε_3	ε_8
I	I,07	I,06	I,05	0,99	I,II	I,08	I,08	I,00	I,I4	I,I0	I,II	I,0I
2	I,05	I,I3	I,09	I,04	I,II	I,22	I,I6	I,I0	I,I6	I,29	I,23	I,I6
3	0,99	I,I6	I,08	I,06	I,05	I,28	I,I7	I,I5	I,II	I,39	I,26	I,24
4	I,I0	I,06	I,06	0,98	I,I7	I,09	I,I0	0,99	I,22	I,I2	I,I3	0,99
5	I,I0	I,I5	I,I2	I,04	I,20	I,25	I,2I	I,I0	I,29	I,34	I,30	I,I6
6	I,02	I,I8	I,I0	I,07	I,I3	I,3I	I,22	I,I6	I,23	I,44	I,34	I,25
7	I,I3	I,07	I,07	0,97	I,2I	I,I0	I,I2	0,98	I,28	I,I3	I,I5	0,98
8	I,I4	I,I7	I,I4	I,04	I,28	I,28	I,25	I,I0	I,4I	I,38	I,35	I,I7
9	I,05	I,I9	I,I2	I,07	I,I9	I,34	I,26	I,I6	I,34	I,49	I,40	I,27
I0	I,02	I,06	I,04	I,02	I,03	I,09	I,07	I,04	I,04	I,I2	I,09	I,06
II	0,94	I,I6	I,08	I,07	0,95	I,26	I,I5	I,I5	0,95	I,34	I,2I	I,23
I2	0,84	I,2I	I,08	I,I0	0,85	I,35	I,I8	I,2I	0,83	I,49	I,27	I,32
I3	I,06	I,07	I,06	I,0I	I,I0	I,I0	I,09	I,03	I,I3	I,I3	I,I2	I,04
I4	0,98	I,I8	I,II	I,07	I,03	I,28	I,I9	I,I5	I,06	I,38	I,27	I,22
I5	0,87	I,23	I,I0	I,09	0,9I	I,38	I,22	I,2I	0,94	I,53	I,33	I,32
I6	I,09	I,07	I,07	I,00	I,I5	I,II	I,I0	I,0I	I,I9	I,I4	I,I3	I,03
I7	I,02	I,I9	I,I2	I,06	I,I0	I,30	I,23	I,I4	I,I7	I,4I	I,32	I,22
I8	0,89	I,24	I,I2	I,09	0,96	I,40	I,25	I,2I	I,02	I,56	I,38	I,33
I9	0,97	I,07	I,04	I,04	0,95	I,II	I,07	I,08	0,93	I,I4	I,08	I,II
20	0,80	I,I9	I,09	I,I0	0,76	I,29	I,I6	I,I9	0,72	I,39	I,22	I,28
2I	0,62	I,25	I,I0	I,I2	0,57	I,4I	I,2I	I,25	0,53	I,57	I,3I	I,39
22	I,0I	I,08	I,05	I,03	I,02	I,II	I,08	I,06	I,02	I,I4	I,II	I,08
23	0,83	I,20	I,II	I,09	0,82	I,3I	I,I9	I,I8	0,80	I,42	I,27	I,27
24	0,64	I,26	I,I2	I,I2	0,60	I,43	I,25	I,25	0,56	I,60	I,36	I,38
25	I,05	I,08	I,06	I,02	I,07	I,I2	I,09	I,05	I,09	I,I5	I,I2	I,07
26	0,86	I,20	I,I2	I,09	0,87	I,32	I,22	I,I8	0,87	I,43	I,3I	I,26
27	0,64	I,27	I,I3	I,I2	0,62	I,45	I,27	I,25	0,60	I,62	I,40	I,38

ПРИЛОЖЕНИЕ XI

График для определения величины Ψ

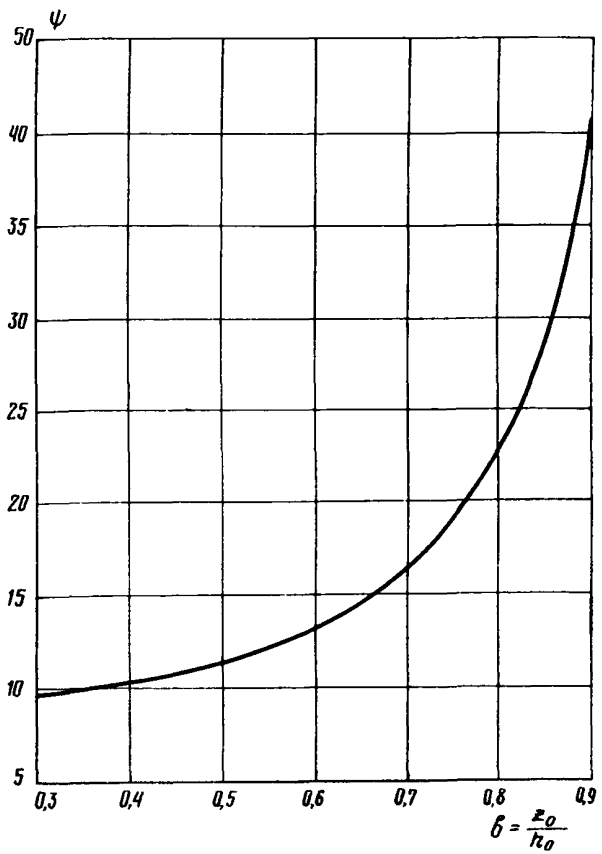
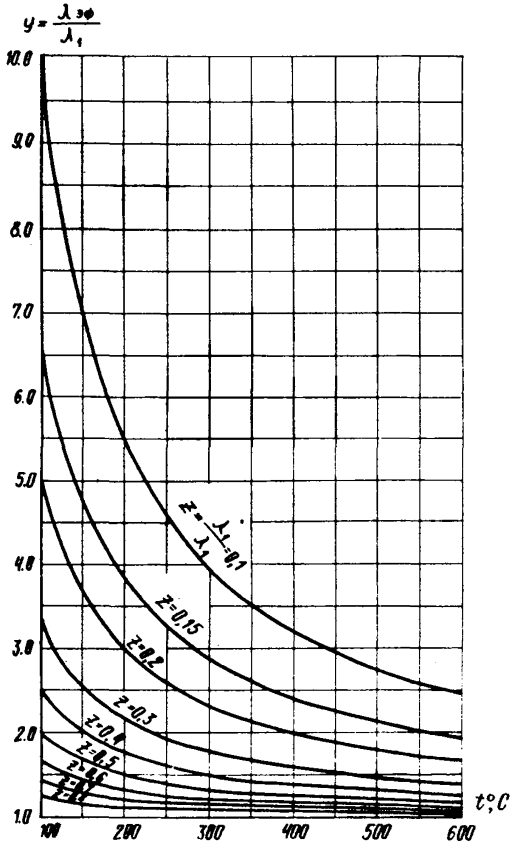


График для определения эффективного коэффициента теплопроводности влажных грунтов



Примеры теплового расчета ограждающих конструкций

Пример I.

Исходные данные. Двуслойная плоская конструкция ограждения печи: внутренний слой толщиной 0,4 м из жаростойкого бетона на портландцементе с шамотным заполнителем, наружный – из лёгкого жаростойкого керамзитобетона на жидком стекле объемной массой 1200 кг/м^3. Печь установлена на открытом воздухе, средняя температура наиболее жаркого месяца +24°С. Температура газов в печи 1000°С.

Требуется. Определить толщину внешнего изоляционного слоя при условии максимальной температуры поверхности 80°С.

Решение. По формуле (п. I.2, табл. I) находим коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности

$$\alpha_н = 8,4+0,06(80-24) = 11,8 \text{ ккал/м}^2\cdot\text{ч}\cdot{}^\circ\text{С}.$$

Пользуясь формулами (8) и (4) определяем удельный тепловой поток через конструкцию

$$q = \alpha_н (t_{сн} - t_н) = 11,8\cdot(80-24) = 661 \text{ ккал/м}^2\cdot\text{ч}.$$

Из табл. 2, п. I.3 находим коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности $\alpha_в = 95$ ккал/м$^2\cdot$ч$\cdot{}^\circ$С и по формуле (5) определяем температуру на внутренней поверхности ограждения

$$t_{св} = 1000 - \frac{661}{95} = 993{}^\circ\text{С}.$$

Дальнейший расчёт производим по графику приложения II. При перепаде температуры на наружной и внутренней поверхностях ограждения $\Delta t = 993-80 = 913{}^\circ$С и удельном тепловом потоке $q = 661$ ккал/м$^2\cdot$ч определяем требуемое термическое сопротивление конструкции, оно равно 1,38. При средней температуре конструкции (п. I.5) 512°С по приложению I находим коэффициенты теплопроводности:

для бетона на портландцементе с шамотным заполнителем $\lambda_1 = 0,88$ ккал/м$\cdot$с$\cdot{}^\circ$С;

для бетона на жидком стекле с керамзитовым заполнителем $\lambda_2 = 0{,}50$ ккал/м·ч·°С.

По графику при $\delta_1 = 0{,}4$ м и $\lambda_1 = 0{,}88$ ккал/м.ч.°С определяем термическое сопротивление внутреннего слоя 0,45 м²·ч·°С/ккал, тогда термическое сопротивление наружного слоя должно быть 1,38–0,45 = 0,93 м²·ч·°С/ккал. По графику находим при $\lambda_2 = 0{,}50$ ккал/м·ч·°С требуемую толщину, она равна 0,47 м. Определяем при $q = 661$ ккал/м²·ч и $R_1 = 0{,}45$ м²·ч·°С/ккал перепад температур во внутреннем слое 297°С, тогда температура на границе слоев 993–297 = 696°С, а средние температуры слоев:

внутреннего $\frac{993+696}{2} = 845^{\circ}C$,

наружного $\frac{696+80}{2} = 388^{\circ}C$.

Для найденных температур уточняем коэффициенты теплопроводности $\lambda_1 = 1{,}07$, $\lambda_2 = 0{,}46$ ккал/м·ч·°С.

Находим новое значение R_1 при $\delta_1 = 0{,}4$ м и $\lambda_1 = 1{,}07$ ккал/м·ч·°С – 0,37 м²·ч·°С/ккал, отсюда требуемое сопротивление R_2 должно быть 1,38–0,37 = 1,01 м²·ч·°С/ккал. При $\lambda_2 = 0{,}46$ ккал/м.ч·°С толщина наружного слоя 0,41 м. Затем для $q = 661$ ккал/м²·ч·°С и $R = 0{,}37$ м²·ч·°С/ккал находим перепад температур во внутреннем слое 245°, тогда температура на границе слоев равна 748°С, а средние температуры слоёв:

внутреннего $\frac{993+748}{2} = 870^{\circ}C$ и

наружного $\frac{748+80}{2} = 414^{\circ}C$.

Найденные при этих температурах коэффициенты теплопроводности отличаются от принятых в предыдущем шаге менее чем на 10%, поэтому (п. 1.5) расчет на этом заканчиваем. Толщина слоя из керамзитобетона получилась равной 0,41 м.

Пример 2.

Исходные данные. Круглый газопровод с внутренним диаметром 0,8 и длиной 100 м расположен на открытом воздухе, допустимые потери тепла газопроводом 500000 ккал/ч, температура газов +700°С, средняя годовая температура +10°С, средняя скорость ветра 3 м/с.

Требуется. Определить толщину футеровки газопровода из жаростойкого керамзитобетона объемной массой 1200 кг/м^3.

Решение. Расчет выполняем с помощью графика приложения III.

Удельный поток на единицу длины газопровода 500000/100=5000 ккал/м·ч.

Для Δt = 700–10 = 690°С и q' = 5000 ккал/м·ч по левой части графика находим требуемое сопротивление, оно равно 0,138 м·ч·°С/ккал; по приложению I при средней температуре 355°С находим коэффициент теплопроводности 0,45 ккал/м.ч.°С и по правой части графика при R = 0,138; пренебрегая внешним и внутренним сопротивлениями определяем отношение внешнего и внутреннего диаметров футеровки 1,47, откуда $d_н$ = 1,47·0,8 = 1,18 м. По формуле (см. п. 1.2 табл. I) и по табл. 2 находим коэффициенты теплоотдачи на внешней и внутренней поверхностях $\alpha_н$ = 3+10 $\sqrt{3}$ = 20,5 ккал/м^2.ч.°С и $\alpha_в$ = 40 ккал/м^2·ч·°С, а по графику находим внешнее и внутреннее сопротивления теплоотдаче 0,014 и 0,01 м·ч·°С/ккал.

Пользуясь левой частью графика найдем перепад температур между температурой наружной поверхности и воздуха при $R'_н$ = 0,014 м·ч·°С/ккал и q' = 5000 ккал/м·ч, он равен 70°С, а также перепад температур между температурой газов и внутренней поверхностью при $R'_в$ = 0,01 м.ч.°С/ккал и q' = 5000 ккал/м.ч – 50°С. Следовательно температура наружной поверхности 80°С, температура внутренней поверхности 650°С и средняя температура футеровки: $\frac{650+80}{2}$ = 365°С. Коэффициент теплопроводности при этом равен 0,45 ккал/м.ч.°С. Требуемое термическое сопротивление футеровки равно 0,138–0,024 = 0,114 м·ч·°С/ккал, тогда по графику получаем $d_н/d_в$ = 1,37, откуда $d_н$ = 0,8·1,37 = 1,10 м, а толщина футеровки 0,15 м.

Пример 3.

Исходные данные. Ограждение печи из жаростойкого керамзитобетона с объемной массой 1500 кг/м^3 содержит сквозные теплопроводные включения из жаростойкого бетона на портландцементе с шамотным заполнителем. Температура среды внутри печи 430°С, температура окружающей среды 20°С, коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности $\alpha_н$ = 10 ккал/м^2·ч·°С. Геометрические размеры (см. рис. 2, схема а): δ = 0,4 м; ℓ_1 = 0,16 м; ℓ_2 = 1 м.

Требуется. Определить максимальную температуру арматуры t_a, находящейся на расстоянии $\delta_a = 0{,}3$ м от нагретой поверхности и влияние теплопроводных включений на изменение потока тепла через ограждение.

Решение. В соответствии с п. 3.4 определяем температуру на нагретой поверхности. По п. I.5 находим среднюю температуру конструкции

$$t_{ср} = \frac{t_в + t_н}{2} = \frac{430+20}{2} = 225^{\circ}C.$$

По приложению I выбираем значения коэффициентов теплопроводности для жаростойкого бетона с керамзитовым заполнителем $\lambda = 0{,}47$ ккал/м·ч·°С и для жаростойкого бетона с шамотным заполнителем $\lambda_1 = 0{,}7I$ ккал/м·ч·°С. Учитывая значения коэффициентов теплоотдачи на внутренней и внешней поверхностях $\alpha_в = I6$ ккал/м·ч·°С (см. табл. 2) и $\alpha_н = I0$ ккал/м·ч·°С находим термическое сопротивление плоской стенки I,0I м²·ч·°С/ккал, тепловой поток 404 ккал/м²·ч и температуру на внутренней поверхности

$$t_{с.в} = 430 - \frac{404}{I6} = 405^{\circ}C.$$

По п. 3.5 определяем значения параметров:

$$a_1 = \frac{0{,}I6}{0{,}4} = 0{,}4\ ; \qquad a_2 = \frac{I}{0{,}4} = 2{,}5;$$

$$B_{i_1} = \frac{I0 \cdot 0{,}4}{0{,}7I} = 5{,}6; \qquad B_{i_2} = \frac{I0 \cdot 0{,}4}{0{,}47} = 8{,}5.$$

По графикам приложений IУ–УI (п. 3,7) находим:

$\Sigma_1 = S_1\,(a=0{,}4;\ B_i=5{,}6) = 0{,}78$; $\Sigma_2 = (S_1=2{,}5;\ B_i=8{,}5) = 0{,}I7$;
$\Sigma_3 = S_2\,(a=0{,}4;\ B_i=5{,}6) = 0{,}52$; $\Sigma_4 = (S_2=2{,}5;\ B_i=8{,}5) = 0{,}II$;
$\Sigma_5 = S_3\,(a=0{,}4;\ B_i=5{,}6) = 0$; $\Sigma_6 = (S_3=2{,}5;\ B_i=8{,}5) = 0{,}08$.

Вычисляем значение величины c по п. 3.5:

$$c = \frac{I0 \cdot 0{,}I6 \cdot 0{,}78 + I0 \cdot I \cdot 0{,}I7}{0{,}I6 \cdot \left(I0 + \frac{0{,}7I}{0{,}4}\right) \cdot 0{,}78 + I \cdot \left(I0 + \frac{0{,}47}{0{,}4}\right) \cdot 0{,}I7} = 0{,}868.$$

По формулам (I7–I9) находим безразмерные температуры в точках I,2, 3:

$\theta_1 = 1-0{,}868+0{,}4\cdot0{,}4\ [0{,}868-5{,}6\cdot(1-0{,}868)]\cdot0{,}52 = 0{,}1143;$

$\theta_2 = 1-0{,}868 = 0{,}1132;$

$\theta_3 = 1-0{,}868+0{,}4\cdot2{,}5\ [0{,}868-8{,}5\cdot(1-0{,}868)]\cdot0{,}11 = 0{,}1104.$

По формуле (43) находим истинные температуры в точках 1,2,3:

$t_1 = 75^0;\qquad t_2 = 71^0,\qquad t_3 = 60^0.$

Принимая за среднюю температуру поверхности включения

$$t_{c.н}^{вкл} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{75+71}{2} = 73^0C,$$

а за среднюю температуру поверхности основного материала

$$t_{c.н}^{осн} = \frac{t_2 + t_3}{2} = \frac{76+60}{2} = 65^0C,$$

находим средние температуры по включению $t_{ср}^{вкл}$ и по основному материалу $t_{ср}^{осн}$.

$$t_{ср}^{вкл} = \frac{405+73}{2} = 239^0C,$$

$$t_{ср}^{осн} = \frac{405+65}{2} = 235^0C.$$

По приложению 1 уточним значения коэффициентов теплопроводности: $\lambda = 0{,}48$ ккал/м·ч·°С, $\lambda_1 = 0{,}72$ ккал/м·ч·°С.

Так как уточненные коэффициенты теплопроводности отличаются от первоначальных менее чем на 10%, расчет температур на этом заканчиваем.

В соответствии с п. 3.8 находим максимальную температуру арматуры

$$t_a = 405 - \frac{405-75}{0{,}4}\cdot0{,}3 = 162^0C.$$

По п. 3.6 вычисляем значения величин $\mathcal{Y}_1$, $\mathcal{Y}_2$:

$$\mathcal{Y}_1 = 0{,}868,$$

$$\mathcal{Y}_2 = 0{,}868-0{,}8\cdot[0{,}868-8{,}5\ (1-0{,}868)]\cdot0{,}08 = 0{,}884$$

и поправочный коэффициент η для определения $q_{вкл}$

$$\eta = \frac{10+\frac{0{,}47}{0{,}4}}{10\cdot0{,}47(0{,}16+1)}\ (0{,}71\cdot0{,}16\cdot0{,}868+0{,}47\cdot1\cdot0{,}884) = 1{,}06.$$

Приходим к выводу, что наличие включений увеличивает поток тепла через конструкцию в I,06 раза по сравнению со стенкой без включений.

Пример 4.

Исходные данные. Панель ребристой конструкции из жаростойкого бетона на портландцементе с шамотным заполнителем. Тепловая изоляция панели выполнена из легкого жаростойкого бетона объемной массой I500 кг/м^3 на портландцементе с керамзитовым заполнителем. Температура внутри агрегата 900^{0}С, температура окружающего воздуха 40^{0}С. Коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности $\alpha_н$ = I0 ккал/м^2·ч·^{0}С. Геометрические размеры (см. рис. 2, схема *е*):

ℓ_1 = 0,375м; ℓ_2 = 0,I5 м; δ_1 = 0,I5 м; δ_2 = 0,I5 м; $\delta_р$ = 0,I5 м.

Требуется. Определить распределение температуры в сечениях I, II, III (рис. 2, схема 6) и удельный поток тепла через панель.

Решение. Согласно п. 3.4 определяем температуру на нагретой поверхности, по п. I.5 находим среднюю температуру конструкции.

$$t_{ср} = \frac{t_в + t_н}{2} = \frac{900 + 40}{2} = 470^0\text{С}.$$

Выбираем по приложению I значения коэффициентов теплопроводности для жаростойкого бетона с шамотным заполнителем λ = 0,85 ккал/м·ч·^{0}С, а для жаростойкого бетона с керамзитовым заполнителем λ_1 = 0,6I ккал/м·ч·^{0}С. Учитывая, что согласно табл. 2 $\alpha_в$ = 70 ккал/м·ч·^{0}С. по формуле (2) вычисляем удельный тепловой поток для двуслойной стенки

$$q = \frac{900-40}{\frac{I}{70} + \frac{0,I5}{0,85} + \frac{0,I5}{0,6I} + \frac{I}{I0}} = I600 \text{ ккал/м}^2\text{·ч}.$$

По п. 2.3 определяем температуру в точках I и 6 и на нагретой поверхности сечения I

$$t_1 = 40+I600 \cdot \frac{I}{I0} = 200^0\text{С},$$

$$t_6 = 900-I600 \cdot \left(\frac{I}{70} + \frac{0,I5}{0,85}\right) = 57I^0\text{С},$$

$$t_{в} = 900-I600 \frac{I}{70} = 877^0\text{С}.$$

Уточняем средние температуры по основному материалу конструкции и тепловой изоляции

$$t_{ср}^{осн} = \frac{877+571}{2} = 724^{\circ}C,$$

$$t_{ср}^{из} = \frac{571+200}{2} = 385^{\circ}C.$$

Уточняем значения коэффициентов теплопроводности $\lambda = 1{,}01$ ккал/м·ч·°С, и $\lambda_1 = 0{,}56$ ккал/м·ч·°С.

Так как значения коэффициентов теплопроводности отличаются от первоначально принятых более чем на 10%, то согласно п. 1.5 пересчитываем удельный тепловой поток и температуру

$$q = \frac{900-40}{\frac{1}{70}+\frac{0{,}15}{1{,}01}+\frac{0{,}15}{0{,}56}+\frac{1}{10}} = 1610 \text{ ккал/м}^2\cdot\text{ч},$$

$$t_1 = 40+1610 \cdot \frac{1}{10} = 201^{\circ}C,$$

$$t_б = 900-1610\left(\frac{1}{70}+\frac{0{,}15}{1{,}01}\right) = 634^{\circ}C,$$

$$t_{гр} = 900-1600\,\frac{1}{70} = 877^{\circ}C.$$

Снова уточняем средние температуры по основному материалу конструкции и тепловой изоляции

$$t_{ср}^{осн} = \frac{877+634}{2} = 755^{\circ}C,$$

$$t_{ср}^{из} = \frac{634+201}{2} = 417^{\circ}C$$

и значения коэффициентов теплопроводности $\lambda = 1{,}01$ ккал/м.ч.°С и $\lambda_1 = 0{,}58$ ккал/м.ч.°С. Так как отличие от предыдущего шага меньше чем на 10%, то принимаем эти з н а ч е н и я.

Вычисляем значение величины (п. 3.22).

$$m = \frac{0{,}375}{0{,}15} = 2{,}5.$$

Так как $m > 2$, распределение температур по сечению 1 соответствует найденному как для двуслойной стенки.

Согласно п. 3.25 (3.10) вычисляем величины

$$k = \frac{2\cdot 0{,}15}{0{,}15} = 2, \qquad B_i = \frac{10\cdot 0{,}15}{2\cdot 1{,}01} = 0{,}75.$$

По кривым приложения УП находим поправочный коэффициент $\beta = 1{,}03$ и вычисляем эквивалентный ему коэффициент теплообмена

$$\alpha_{экв} = 1{,}03 \cdot 10 = 10{,}3 \text{ ккал/м}^2\cdot\text{ч}\cdot{}^\circ\text{C}.$$

По формуле (29) вычисляем эквивалентный коэффициент теплопроводности

$$\lambda_{экв} = \frac{0{,}15 + 0{,}15}{\frac{0{,}15}{1{,}01} + \frac{0{,}15}{0{,}56}} = 0{,}72 \text{ ккал/м}\cdot\text{ч}\cdot{}^\circ\text{C}.$$

Учитывая, что $\delta = \delta_1 + \delta_2 = 0{,}3$ м, вычисляем параметры (п. 3.5):

$$a_1 = \frac{0{,}375}{0{,}3} = 1{,}25, \quad a_2 = \frac{0{,}15}{0{,}3} = 0{,}5,$$

$$B_{i_1} = \frac{10\cdot 0{,}3}{0{,}72} = 4{,}17, \quad B_{i_2} = \frac{10{,}3\cdot 0{,}3}{1{,}01} = 3{,}08.$$

Из графиков приложений IV-VI определяем величины:

$\Sigma_1 = S_1(a = 1{,}25;\ B_i = 4{,}17) = 0{,}480$; $\Sigma_2 = S_1(a = 0{,}5;\ B_i = 3{,}08) = 0{,}875$;
$\Sigma_3 = S_2(a = 1{,}25;\ B_i = 4{,}17) = 0{,}330$; $\Sigma_4 = S_2(a = 0{,}5;\ B_i = 3{,}08) = 0{,}610$;
$\Sigma_5 = S_3(a = 1{,}25;\ B_i = 4{,}17) = 0{,}060$; $\Sigma_6 = S_3(a = 0{,}5;\ B_i = 3{,}08) = 0$.

Согласно п. 3.5 вычисляем величину c

$$c = \frac{10\cdot 0{,}375\cdot 0{,}480 + 10{,}3\cdot 0{,}15\cdot 0{,}875}{0{,}375\cdot\left(10 + \frac{0{,}72}{0{,}3}\right)\cdot 0{,}480 + 0{,}15\cdot\left(10{,}3 + \frac{1{,}01}{0{,}3}\right)\cdot 0{,}875} = 0{,}777$$

и находим величины $\theta_2^{усл}$ и $\theta_3^{усл}$

$$\theta_2^{усл} = 1 - 0{,}777 = 0{,}223,$$

$$\theta_3^{усл} = 1 - 0{,}777 + 0{,}4\cdot\left[0{,}777 - 3{,}08\cdot(1 - 0{,}777)\right]\cdot 0{,}610 = 0{,}249.$$

Согласно п. 3.21 вычисляем $\theta_7^{усл}$, $\theta_8^{усл}$

$$\theta_7^{усл} = \frac{0{,}15\cdot 0{,}223 + 0{,}15}{0{,}15 + 0{,}15} = 0{,}612,$$

$$\theta_8^{усл} = \frac{0{,}15\cdot 0{,}249 + 0{,}15}{0{,}15 + 0{,}15} = 0{,}625.$$

По п. 3.22 находим:

$$m = \frac{0{,}375}{0{,}15} = 2{,}5, \quad n = \frac{0{,}15}{0{,}15} = 1, \quad p = \frac{0{,}15}{0{,}15} = 1;$$

$$B_{i_2} = \frac{10{,}3\cdot 0{,}15}{1{,}01} = 1{,}55, \quad B_{i_1} = \frac{10\cdot 0{,}15}{0{,}58} = 2{,}54, \quad K = \frac{1{,}01}{0{,}58} = 1{,}73.$$

Из табл. 2 приложения X находим поправочные коэффициенты $\varepsilon_2 = 1{,}03$; $\varepsilon_7 = 1{,}09$; $\varepsilon_3 = 1{,}07$; $\varepsilon_8 = 1{,}04$ и вычисляем безразмерные температуры (п. 3.19):

$$\theta_2 = 1{,}03 \cdot 0{,}223 = 0{,}230;$$
$$\theta_3 = 1{,}07 \cdot 0{,}249 = 0{,}267;$$
$$\theta_7 = 1{,}09 \cdot 0{,}612 = 0{,}667;$$
$$\theta_8 = 1{,}04 \cdot 0{,}625 = 0{,}650.$$

По п. 3.26, используя приложения VIII и IX, вычисляем безразмерные температуры в точках 4, 5:

$$\theta_4 = \frac{0{,}230 + 0{,}267}{2} \cdot 0{,}267 = 0{,}066,$$

$$\theta_5 = \frac{0{,}230 + 0{,}267}{2} \cdot 0{,}2 = 0{,}050.$$

По формуле (43) вычисляем истинные температуры в конструкции:

$$t_2 = 40 + 0{,}230 \cdot 837 = 232^\circ C,$$
$$t_3 = 40 + 0{,}267 \cdot 837 = 263^\circ C,$$
$$t_7 = 40 + 0{,}667 \cdot 837 = 597^\circ C,$$
$$t_8 = 40 + 0{,}650 \cdot 837 = 584^\circ C,$$
$$t_4 = 40 + 0{,}066 \cdot 837 = 95^\circ C,$$
$$t_5 = 40 + 0{,}050 \cdot 837 = 82^\circ C.$$

Вычисляем величины $\mathcal{Y}_1$ и $\mathcal{Y}_2$ (п. 3.6):

$$\mathcal{Y}_1 = 0{,}777 - 0{,}8\left[0{,}777 - 4{,}17(1 - 0{,}777)\right] \cdot 0{,}060 = 0{,}783$$

и $\mathcal{Y}_2 = 0{,}777$

и находим η

$$\eta = \frac{10{,}3 + \frac{1{,}01}{0{,}3}}{10{,}3 \cdot 1{,}01(0{,}375 + 0{,}15)} (0{,}72 \cdot 0{,}375 \cdot 0{,}783 + 1{,}01 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}777) = 0{,}84.$$

По п.3,2 вычисляем удельный тепловой поток через плоскую стенку толщиной 0,3 м с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 1.01$ ккал/м·ч·°С (п. 2,1):

$$q = \frac{900 - 40}{\frac{1}{70} + \frac{0{,}3}{1{,}01} + \frac{1}{10}} = 2090 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}.$$

По формуле (15) вычисляем удельный тепловой поток через ребристую конструкцию

$$q_{выс} = 0{,}84 \cdot 2090 = 1760 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}.$$

Пример 5.

Исходные данные. Температура дымовых газов в стакане фундамента трубы $t_в$ = 650°С, материал и размеры элементов фундамента (см. рис. 3):

Стенка:	шамотная футеровка	δ_1' = 0,23 м,
	диатомитовая изоляция	δ_2' = 0,235 м,
	минераловатная изоляция	δ_3' = 0,15 м,
Стенка:	из жароупорного бетона с шамотным заполнителем	$\delta_н'$ = 0,985 м,
	наружный радиус стакана	$r_н$ = 3,75 м,
	внутренний радиус футеровки	$r_в$ = 2,15 м,
	высота цилиндрической стенки	h_c = 4,2 м,
Днище:	шамотная футеровка	δ_1' = 0,14 м,
	диатомитовая изоляция	δ_2' = 0,35 м,
	бетонная плита	δ_3' = 1,2 м.

Среднегодовая температура воздуха $t_н$ = 0°С;

Вид грунта – песок влажный.

Требуется. Найти распределение максимальных температур в элементах цилиндрической стенки и днища фундамента для случая, когда грунтовая вода находится значительно ниже подошвы фундамента.

а) Расчет температур в цилиндрической стенке фундамента

Предварительно задаемся температурами на границах слоёв и принимаем по приложению I коэффициенты теплопроводности (ккал/м·ч·°С) по средней температуре для каждого слоя:

λ_1 = 0,98, λ_2 = 0,24,

λ_3 = 0,131, λ_4 = 0,81.

Определяем термические сопротивления (м·ч·°С/ккал) для каждого слоя по формуле (10):

$$R_1' = \frac{1}{6,28 \cdot 0,98} \cdot \ln \frac{2,38}{2,15} = 0,0169;$$

$$R_2' = \frac{1}{6,28 \cdot 0,24} \cdot \ln \frac{2,615}{2,38} = 0,0630;$$

$$R_3' = \frac{1}{6,28 \cdot 0,131} \cdot \ln \frac{2,765}{2,615} = 0,0705;$$

$$R'_4 = \frac{1}{6,28 \cdot 0,81} \cdot \ell_n \frac{3,75}{2,765} = 0,0596;$$

$$\sum_{i=1}^{2} R'_i = 0,0799; \qquad \sum_{i=1}^{3} R'_i = 0,1504; \qquad \sum_{i=1}^{4} R'_i = 0,21.$$

Вычисляя термическое сопротивление теплоотдаче от газа к стенке (по формуле II) для α_1 = 40 ккал/м^2·ч·^{0}С (по табл. 2)

$$R'_1 = \frac{1}{3,14 \cdot 2 \cdot 3,75 \cdot 40} = 0,001 \text{ м·ч·}^0\text{С/ккал}$$

и параметр $a = \frac{9,75}{4,2} = 0,893$. Определяя по приложению XI при $b = 0,3$ значение величины $\Psi = 9,8$, а по приложению XII эффективный коэффициент теплопроводности грунта при $\lambda_{гр.с}$ =0,3 ккал/м.ч.^{0}С и $\lambda_{гр.бл}$ = 1,0 ккал/м.ч.^{0}С, и принимая ориентировочно $t_{с.н}$ = 350^{0}С, получим $\lambda_{гр.эф}$ = 0,38 ккал/м.ч.^{0}С, а затем находим температуру на наружной поверхности стенки (по формуле 44).

$$t_{с.н} = \frac{650}{1+0,38 \cdot 0,893 \cdot 9,8 \cdot (0,001 + 0,21)} = 382^0\text{С}.$$

Определяем температуру (^{0}С) на границах слоев (по формуле 46):

$$t_{с.1} = 650 - (650-382) \cdot \frac{0,001}{0,211} = 649;$$

$$t_{с.2} = 650 - (650-382) \cdot \frac{0,0179}{0,211} = 627;$$

$$t_{с.3} = 650 - (650-382) \cdot \frac{0,0809}{0,211} = 547;$$

$$t_{с.н} = 650 - (650-382) \cdot \frac{0,1514}{0,211} = 458;$$

и среднюю температуру слоев (^{0}С):

$$t_{1.ср} = \frac{649+627}{2} = 638,$$

$$t_{2.ср} = \frac{627+547}{2} = 587,$$

$$t_{3.ср} = \frac{547+458}{2} = 502,$$

$$t_{4.ср} = \frac{458+382}{2} = 420.$$

так как принятые коэффициенты теплопроводности с достаточной точностью соответствуют полученным температурам, пересчёт не требуется.

б) Расчет температур в днище фундамента

Принимаем коэффициенты теплопроводности(ккал/м·ч·°С) для каждого слоя днища $\lambda_1 = 0,96$, $\lambda_2 = 0,22$ и $\lambda_3 = 0,84$.

Определяем термические сопротивления слоев ($м^2 \cdot ч \cdot °С$/ккал) по формуле (3):

$$R_1 = \frac{0,14}{0,96} = 0,146, \qquad R_2 = \frac{0,35}{0,22} = 1,590, \quad R_3 = \frac{1,2}{0,84} = 1,430,$$

$$\sum_{i=1}^{2} R_i = 1,736, \qquad \sum_{i=1}^{3} R_i = 3,166.$$

Вычисляя термическое сопротивление от газа к днищу по формуле (4)

$$R_g = \frac{1}{40} = 0,025 \ м^2 \cdot ч \cdot °С/ккал$$

и найдя по приложению XII эффективный коэффициент теплопроводности грунта для $t = 380°С$; $\lambda_{гр.эф} = 0,38$ ккал/м·час·°С, определяем

$$t_{g\,н} = \frac{650}{1 + \frac{4 \cdot 0,38}{3,14 \cdot 2,15}(0,025+3,166)} = 372°С.$$

Вычисляем температуру (°С) на границах слоёв по формуле (47):

$$t_{g,1} = 650-(650-379)\frac{0,025}{3,191} = 648,$$

$$t_{g2} = 650-(650-379)\frac{0,171}{3,191} = 635,$$

$$t_{g3} = 650-(650-379)\frac{1,761}{3,191} = 500,$$

и находим среднюю температуру (°С) слоёв:

$$t_{1,ср} = \frac{648+635}{2} = 641,$$

$$t_{2,ср} = \frac{635+500}{2} = 567,$$

$$t_{3,ср} = \frac{500+382}{2} = 441.$$

Так как принятые коэффициенты теплопроводности слоев днища с допустимым приближением соответствуют полученным температурам, пересчёт не требуется.

О Г Л А В Л Е Н И Е

I. Основные расчетные положения 3
2. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую многослойные стенки 5
3. Тепловой расчёт конструкций с включениями 8
Расчет конструкций со сквозным включением 10
Расчёт конструкций со сквозным включением, выступающим за поверхность ограждения, и конструкций с включением на его внешней поверхности 11
Расчет конструкций с несквозным теплопроводным включением 12
Расчёт конструкций с несквозным изоляционным включением 13
Расчет ребристых конструкций 15
4. Расчёт температур в элементах фундаментов дымовых труб с подземным вводом газоходов 15
Приложение I. Коэффициенты теплопроводности обычного и жаростойкого бетонов, огнеупоров и изоляционных материалов 19
Приложение II. График для расчета плоской стенки ..... вкл.
Приложение III. График для расчёта цилиндрической стенки ..... вкл.
Приложение IУ. График для определения величин Σ_1, Σ_2 ... 21
Приложение У. График для определения величин Σ_3, Σ_4 ... 22
Приложение УI. График для определения величин Σ_5, Σ_6 23
Приложение УII. График для определения поправочного коэффициента β 24
Приложение УIII. График для определения величины S_4 25
Приложение IX. График для определения величины S_5 26
Приложение X. Поправочные коэффициенты для расчёта конструкций 27
Приложение XI. График для определения величины Ψ ... 34
Приложение XII. График для определения эффективного коэффициента теплопроводности влажных грунтов 35
Приложение XIII. Примеры теплового расчёта ограждающих конструкций 36

Редактор Т.Д.Петрякова
Технический редактор Н.А.Низяева
Корректор С.В.Дзасохова

Л-79124 Подписано в печать 25/III-1974 г. Тираж 300
Объем 3,0 п.л.+ 2 вкл.Уч.-изд.3,2 л.Изд.№ 6915 Зак.87
Цена 20 коп.

gost.e-ecolog.ru

ОВНТИ ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР