

- Плотность материала  $\gamma$ , кг/м<sup>3</sup>
  - масса 1 м<sup>3</sup> материала в том состоянии, в каком он будет использован
- Пористость материала  $\rho = (V_{\text{пор}} / V_o) \cdot 100\%$ 
  - процентное содержание пор в материале, выражается отношением объема пор к общему объему материала

$$V_o = m / \gamma$$

$$V_{\text{пор}} = V_o - V_{\text{скелет}} = (m / \gamma) - (m / \rho)$$

$$\rho = 1 - (\gamma / \rho)$$

$\gamma$  – плотность материала,  $\rho$  – плотность скелета

Кирпич	Объемный вес $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Пори- стость $p$ , %
Сухого прессования . . . . .	1900	27
Плотный машинный . . . . .	1800	31
Слабопористый . . . . .	1400	46
Пористый . . . . .	1200	54
Высокопористый . . . . .	800	69

# Влажность материала

характеризует наличие в материале химически несвязанной воды

- Весовая влажность

$$\begin{aligned}\omega_{\text{в}} &= (m_{\text{влаги}} / m_{\text{сух о}}) \cdot 100\% = \\ &= ((m_{\text{вл о}} - m_{\text{сух о}}) / m_{\text{сух о}}) \cdot 100\%\end{aligned}$$

- Объемная влажность

$$\omega_{\text{о}} = (V_{\text{влаги}} / V_{\text{сух о}}) \cdot 100\%$$

$$V_{\text{влаги}} = m_{\text{влаги}} / 1000, \quad V_{\text{сух о}} = m_{\text{сух о}} / \gamma_{\text{сух}}$$

$$\omega_{\text{о}} = m_{\text{влаги}} \gamma_{\text{сух}} / 1000 m_{\text{сух о}} = \omega_{\text{в}} \gamma_{\text{сух}} / 1000$$

## Нормальные влажности некоторых материалов в наружных ограждающих конструкциях

Материал	Объемный вес $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Влажность материала в %	
		весовая $\omega_B$	объемная $\omega_o$
Кирпич красный в сплошных стенах . . . . .	1800	1,5	2,7
Кирпич красный в стенах с воздушными прослойками . . . . .	1800	0,5	0,9
Кирпич силикатный . . . . .	1900	2,5	4,8
Бетон тяжелый . . . . .	2000	1,5	3
Шлакобетон . . . . .	1300	3	3,9
Керамзитобетон . . . . .	1000	6	6
Пенобетон в наружных стенах . . . . .	700	10	7
Пеностекло . . . . .	350	3	1,1
Штукатурка известково-песчаная . . . . .	1600	1	1,6
Шлак топливный в засыпке . . . . .	750	3,5	2,6
Минераловатные плиты . . . . .	200	2	0,4
Дерево (сосна) . . . . .	500	15	7,5
Фибролит цементный . . . . .	350	15	5,2
Торфоплиты . . . . .	225	20	4,5
Пенополистирол . . . . .	25	5	0,12

Примечание. Приведенные значения влажности материалов относятся только к конструкциям, правильно спроектированным и находящимся в нормальных условиях эксплуатации. При нарушении нормальных условий эксплуатации конструкций (особенно недостаточно просушенных после окончания строительства) влажность материалов может быть очень высокой.

- $Q = \lambda (\Delta t / \delta) S \theta$ , Дж — количество тепла, проходящее через слой площадью  $S$  толщиной  $\delta$  за время  $\theta$  при разности температур  $\Delta t$

- Коэффициент теплопроводности материала характеризует способность материала в той или иной степени проводить тепло через свою массу

$$\lambda = Q \delta / (\Delta t S \theta), \text{ Вт / (м К)}$$

— количество тепла, проходящее за 1 с через 1 м<sup>2</sup> слоя толщиной 1 м при разности температур на границах слоя в 1 градус



## **Коэффициент теплопроводности скелета**

Кристаллические материалы      4 - 6 Вт/(м К)

Органические материалы      0,3 – 0,4

Пластмасса      0,2 – 0,3

## **Коэффициент теплопроводности воздуха**

**в порах размером 0,1-2 мм      0,02 – 0,03**

Таблица 2

Зависимость  $\lambda$  от  $\gamma$  и  $\rho$  для глиняного обожженного кирпича

Кирпич	Объемный вес $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Пори- стость $\rho$ , %	Коэффициент теплопровод- ности	
			$\lambda$ , ккал/м·ч·град	в % от наи- большого значения $\lambda$
Сухого прессования . . . . .	1900	27	0,7	100
Плотный машинный . . . . .	1800	31	0,66	94
Слабопористый . . . . .	1400	46	0,45	64
Пористый . . . . .	1200	54	0,38	54
Высокопористый . . . . .	800	69	0,25	36

Таблица 2

Зависимость  $\lambda$  от  $\gamma$  и  $p$  для глиняного обожженного кирпича

Кирпич	Объемный вес $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Пористость $p$ , %	Коэффициент теплопроводности		$\lambda$ Вт/м К
			$\lambda$ , ккал/м·ч·град	в % от наибольшего значения $\lambda$	
Сухого прессования . . . . .	1900	27	0,7	100	0,8
Плотный машинный . . . . .	1800	31	0,66	94	0,76
Слабопористый . . . . .	1400	46	0,45	64	0,52
Пористый . . . . .	1200	54	0,38	54	0,44
Высокопористый . . . . .	800	69	0,25	36	0,29



# Коэффициент теплопроводности

воздуха в порах размером 0,1-2 мм

0,02 – 0,03 Вт/(м К)

воды

0,55 Вт/(м К)

льда

2,2 Вт/(м К)

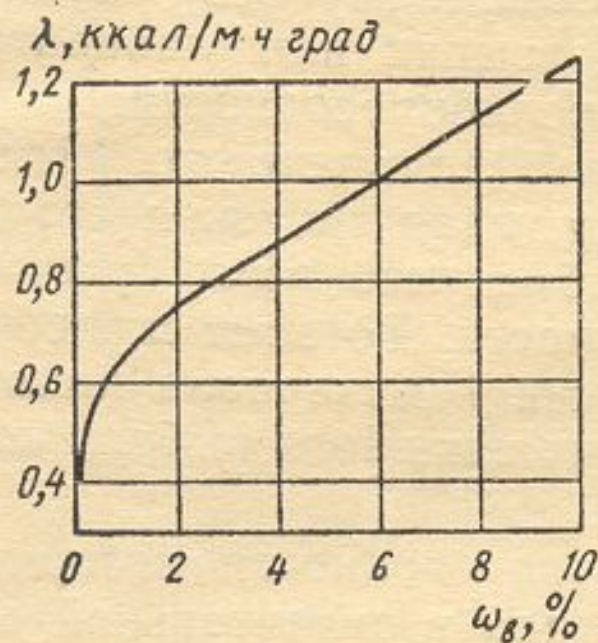


Рис. 4. Зависимость теплопроводности кирпичной кладки от влажности кирпича

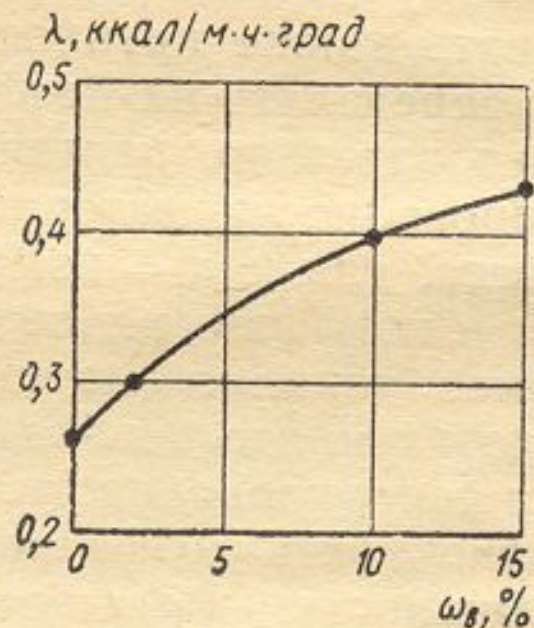


Рис. 5. Зависимость теплопроводности керамзитобетона объемного веса 1000 кг/м³ от его влажности (по данным НИИ Мосстроя)

Таблица 4

Изменение  $\lambda$  древесины в зависимости от направления теплового потока

Древесина	Объемный вес $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ древесины при направлении потока тепла		Увеличение $\lambda$ при направлении потока тепла параллельно волокнам в %
		перпендикулярно волокнам	параллельно волокнам	
Сосна . . . . .	550	0,15	0,3	100
Дуб . . . . .	800	0,2	0,35	75



Таблица 1.5\*

Данные по выбору расчетных значений коэффициентов теплопроводности в зависимости от условий эксплуатации ограждающих конструкций

Влажностный режим помещений и значения относительной влажности в них	Зоны влажности по схематической карте		
	сухая	нормальная	влажная
Сухой; $\varphi < 50\%$	Пониженные значения $\lambda$ (графа А)		Нормальные значения $\lambda$ (графа Б)
Нормальный; $\varphi$ от 50 до 60%	Пониженные значения $\lambda$ (графа А)	Нормальные значения $\lambda$ (графа Б)	Расчетные значения $\lambda$ , приведенные в графе Б, следует повышать на 10% для наружных ограждающих конструкций, выполняемых из медленно высыхающих материалов
Влажный; $\varphi$ от 61 до 75%	Нормальные значения $\lambda$ (графа Б)		
Мокрый 75%			

\* Наружными ограждающими конструкциями, выполняемыми из медленно высыхающих материалов, являются, например, стены сплошной кладки из силикатного кирпича или блоков, шлакобетона, гипсобетона, золобетона, газозолобетона, газосиликата, перлитобетона, керамзитобетона с объемным весом более  $1200 \text{ кг/м}^3$  и т. д.



Удельная теплоемкость  $c$ , Дж / (кг К)

характеризует свойство материала поглощать тепло при повышении температуры

$c = Q/(m \cdot \Delta t)$  — количество тепла, необходимое для повышения температуры на 1 градус массы вещества в 1 кг

Удельная теплоемкость воды  $c = 4200$ , Дж / (кг К)

$c = (c_0 + 0,01\omega_B)/(1+0,01\omega_B)$  — удельная теплоемкость при влажности  $\omega_B$

$c_0$  — удельная теплоемкость в сухом состоянии

- $R = \sigma T^4, \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$

$$Q = \sigma T^4 S \theta = 5,67 (T_1/100)^4 S \theta \quad (\text{Дж})$$

$$Q = \sigma \varepsilon T_1^4 S \theta = 5,67 \varepsilon (T_1/100)^4 S \theta = \\ = C (T_1/100)^4 S \theta \quad (\text{Дж})$$

- Коэффициент излучения

характеризует способность материала излучать тепло

$$C = Q / ((T_1/100)^4 S \theta) \quad \text{Вт} / (\text{м}^2 \text{ К}^4)$$

— количество тепла излучаемого

1 м<sup>2</sup> поверхности материала за 1 с в пустоту

при абсолютной температуре поверхности 100 К

## Коэффициент излучения

- Асбестовый картон 5,5 Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>)
- Кровельная сталь 3,9
- Бетон 3,5
- Полированная сталь 1,4
- **Алюминий 0,26**

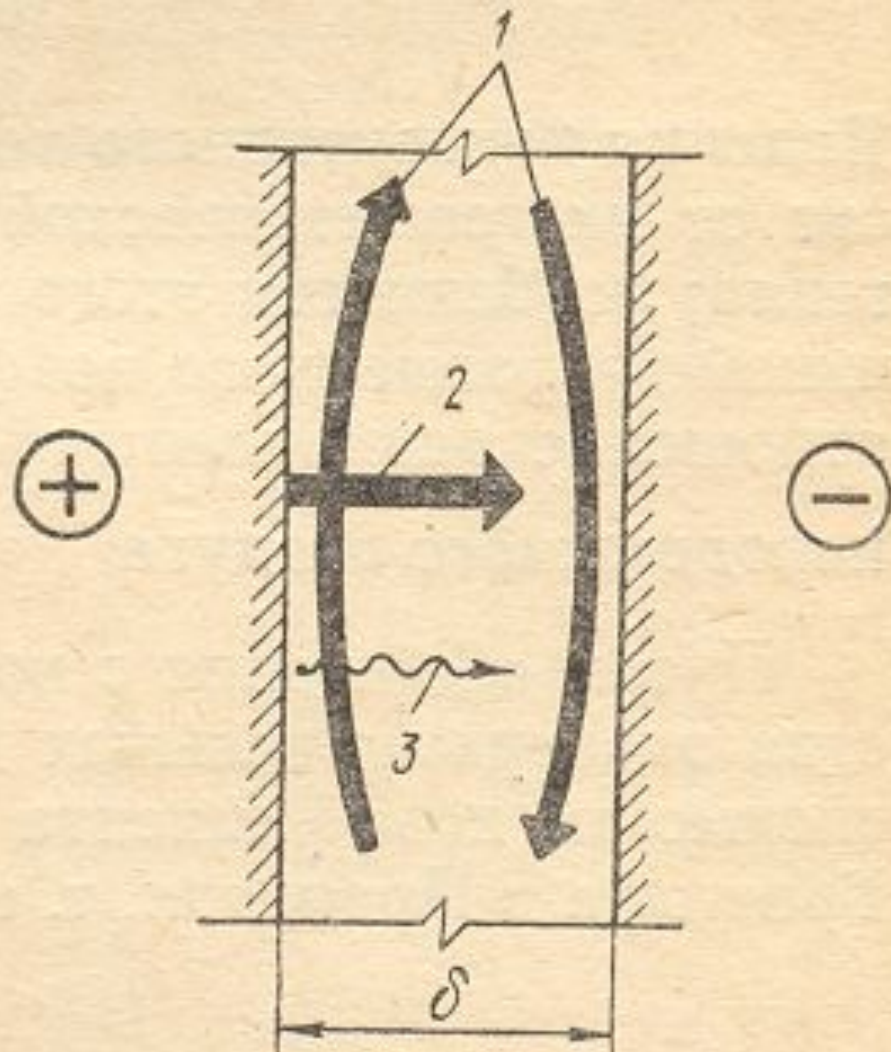


Рис. 1.12. Схема передачи тепла через воздушную прослойку:  
1 — путем конвекции; 2 — путем излучения; 3 — путем теплопроводности



- $q = q_T + q_K + q_L$

- $q_T = \lambda_1 (T_1 - T_2) / \delta$

$\lambda_1$  — коэффициент теплопроводности  
неподвижного воздуха

- $q_K = \lambda_2 (T_1 - T_2) / \delta$

$\lambda_2$  — условный коэффициент передачи тепла  
конвекцией

- $q_L = \alpha_L (T_1 - T_2)$

$\alpha_L$  — коэффициент теплоотдачи излучением

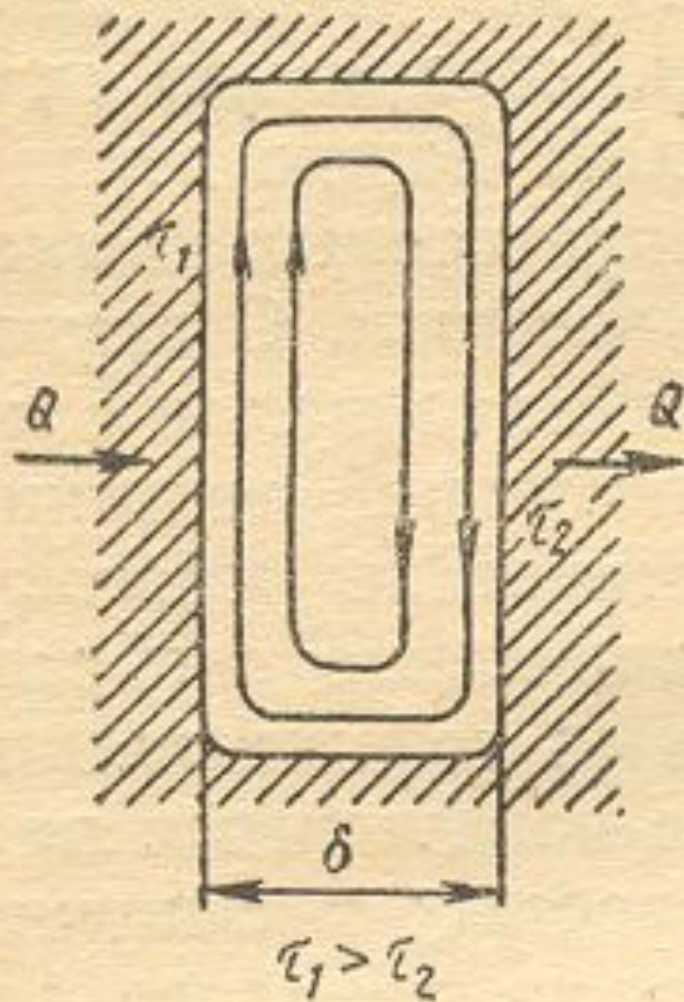


Рис. 19. Схема передачи тепла в воздушной прослойке

Таблица 6

Значения величин  $\lambda_1 + \lambda_2$  при температуре воздуха  $0^\circ \text{C}$  для вертикальных воздушных прослоек в зависимости от толщины прослойки  $\delta$  и разности температур на ее поверхностях  $\tau_1 - \tau_2^*$

$\tau_1 - \tau_2$	Значения $\lambda_1 + \lambda_2$ при $\delta$ в см									
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25
$1^\circ$	0,02	0,021	0,029	0,042	0,054	0,07	0,08	0,096	0,12	0,14
$2,5^\circ$	0,02	0,027	0,036	0,053	0,068	0,089	0,101	0,12	0,15	0,177
$5^\circ$	0,021	0,032	0,043	0,063	0,081	0,106	0,121	0,143	0,178	0,207
$10^\circ$	0,022	0,038	0,051	0,075	0,096	0,125	0,142	0,17	0,213	0,255
$15^\circ$	0,024	0,042	0,056	0,083	0,106	0,138	0,158	0,188	0,236	0,276
$20^\circ$	0,026	0,045	0,061	0,089	0,114	0,149	0,17	0,202	0,253	0,297
$25^\circ$	0,028	0,048	0,064	0,094	0,121	0,157	0,18	0,214	0,268	0,314
$30^\circ$	0,029	0,05	0,067	0,099	0,126	0,164	0,19	0,224	0,28	0,329

Для горизонтальных прослоек при потоке тепла снизу вверх приведенные значения  $\lambda_1 + \lambda_2$  увеличивать на:

20%	40%	42%	43%	38%	26%	20%	13%	6%	3%
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

Тепло, передаваемое излучением от  
более нагретой поверхности  $S_1$  к  
поверхности  $S_2$

$$Q = 5,67 \varepsilon_{\text{пр}} S_1 \psi \left( (T_1/100)^4 - (T_2/100)^4 \right)$$

$\varepsilon_{\text{пр}}$  — приведенный относительный  
коэффициент излучения при теплообмене  
между двумя серыми поверхностями

$\psi$  — угловой коэффициент излучения



$$Q = 5,67 \varepsilon_{\text{ПР}} S_1 \psi ((T_1/100)^4 - (T_2/100)^4)$$

$$q = 5,67 \varepsilon_{\text{ПР}} \psi ((T_1/100)^4 - (T_2/100)^4)$$

$$((T_1/100)^4 - (T_2/100)^4) = b (\tau_1 - \tau_2)$$

$$q = 5,67 \varepsilon_{\text{ПР}} \psi b (\tau_1 - \tau_2) = \alpha_{\text{л}} (\tau_1 - \tau_2)$$

$$b = 0,81 + 0,01 (\tau_1 + \tau_2) / 2$$

Таблица 7

Значения температурного коэффициента в зависимости от средней температуры воздушной прослойки

Средняя температура воздушной прослойки $\frac{\tau_1 + \tau_2}{2}$	+25°	+20°	+15°	+10°	+5	0°	-5°	-10°	-15°	-20°	-25°
Температурный коэффициент	1,06	1,01	0,96	0,91	0,86	0,81	0,77	0,73	0,69	0,65	0,61

$$q = q_{\tau} + q_{\kappa} + q_{\lambda} = (\lambda_1 + \lambda_2 + \alpha_{\lambda} \delta)(\tau_1 - \tau_2) / \delta$$

$\lambda_{\text{ЭКВ}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \alpha_{\lambda} \delta$  — эквивалентный коэффициент теплопроводности воздушной прослойки

$R_{\text{в п}} = \delta / \lambda_{\text{ЭКВ}}$  — термическое сопротивление воздушной прослойки

### ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЗАМКНУТЫХ ВОЗДУШНЫХ ПРОСЛОЕК

Толщина воздушной прослойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки $R_{в.п}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$			
	горизонтальной при потоке тепла снизу вверх и вертикальной		горизонтальной при потоке тепла сверху вниз	
	при температуре воздуха в прослойке			
	положи- тельной	отрица- тельной	положи- тельной	отрица- тельной
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,2—0,3	0,15	0,19	0,19	0,24

Примечание. При оклейке одной или обеих поверхностей воздушной прослойки алюминиевой фольгой термическое сопротивление следует увеличивать в 2 раза.

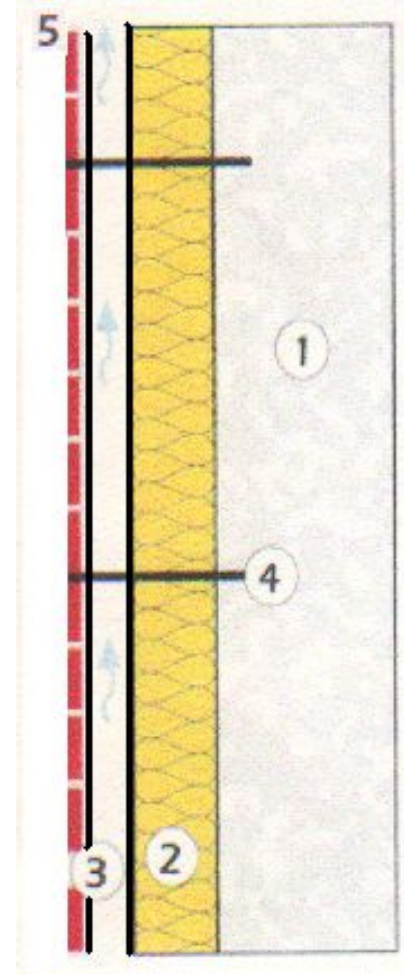
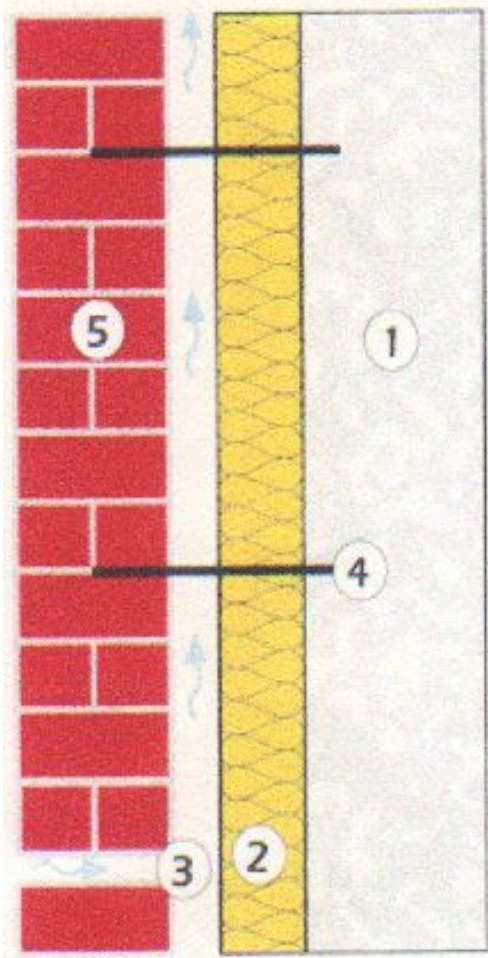


Таблица 9

Количество тепла, проходящего через вертикальные воздушные прослойки, при разности температур на их поверхностях  $5^\circ$

Толщина прослойки $\delta$ , см	Количество тепла $Q$ , ккал/м <sup>2</sup> ·ч	Количество тепла в % передаваемого			Эквивалентный коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{э}}$ , ккал/м·ч·град
		теплопроводностью	конвекцией	излучением	
1	26,5	38	2	60	0,053
5	22,3	9	19	72	0,223
10	21,3	5	20	75	0,426
20	20,5	2	19	79	0,818

Примечание. Приведенные в таблице величины соответствуют температуре воздуха в прослойке, равной  $0^\circ \text{C}$ , и коэффициентам излучения ее поверхностей  $C=4,4$ .



1 – несущая стена (ж/б, кирпич)

2 – утеплитель плитный с защитной дышащей пленкой

3 – вентилируемая воздушная прослойка ~ 50 мм

4 – связи или подблицовочная конструкция

5 – наружный облицовочный кирпич или фасадный лист



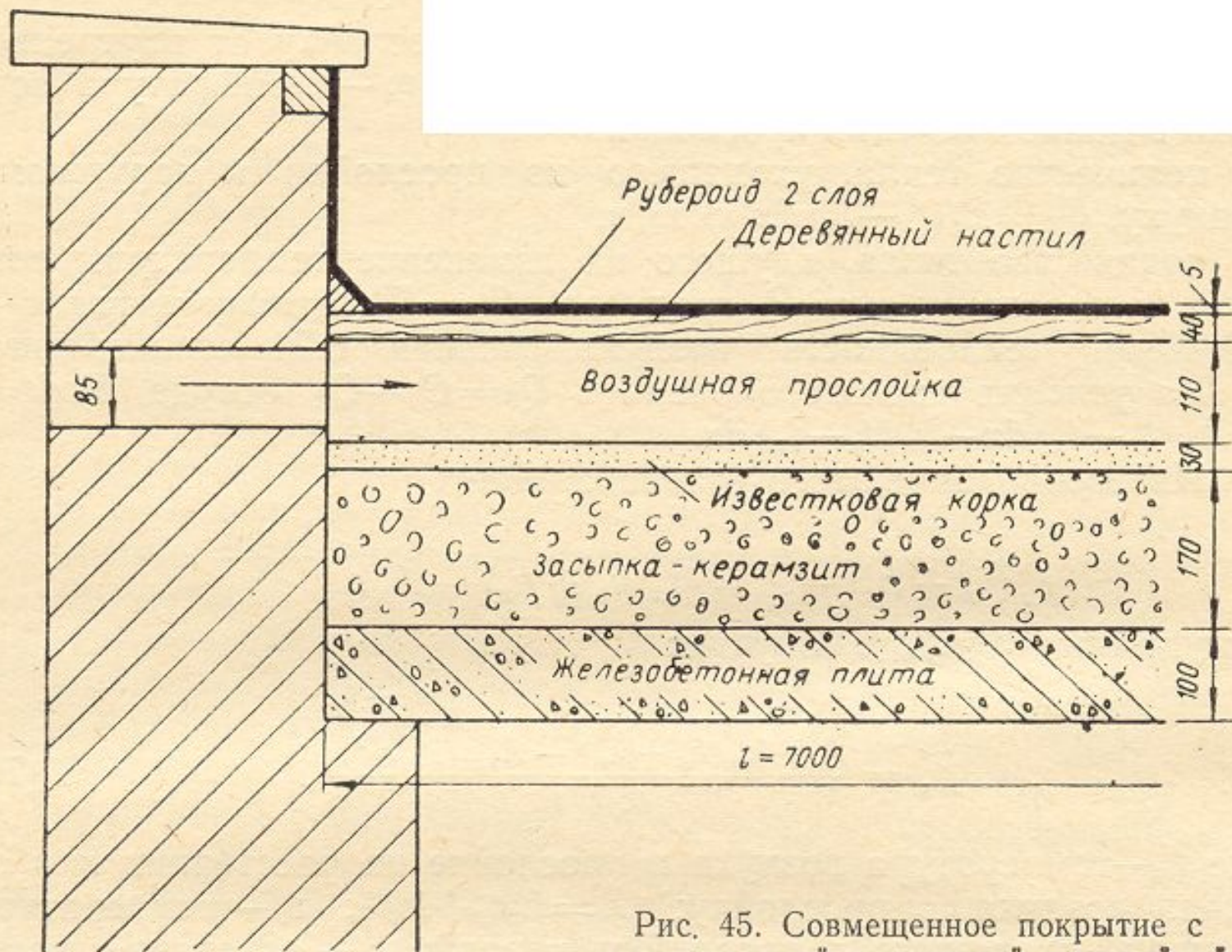


Рис. 45. Совмещенное покрытие с вентилируемой воздушной прослойкой