

Основные понятия и механизмы процесса

Теплоизоляция предназначена для создания благоприятной атмосферы, защиты человека от избытка или недостатка тепла, экономии затрат на отопление, предохранение конструкций от разрушений, возникающих вследствие конденсации водяных паров.

Основные понятия приведены в DIN 4108.

Количество тепла измеряется в ккал (Вт), температура - в °C, разность температур - в К (Кельвин); 1 ккал повышает температуру 1000 г воды на 1 градус.

Теплообмен возникает из-за конвекции, проводимости, излучения и диффузии водяных паров; может быть замедлен, но при устройстве теплоизоляции полностью не исключается.

Коэффициент теплопроводности λ ккал/м·ч·°C, [Вт/м·K] характеризует свойства материала; чем меньше эта величина, тем меньше теплопроводность. Значения по DIN 4108 округлены для удобства при практическом применении. Их нельзя сравнивать с измеряемыми величинами.

Коэффициент теплоизоляции $1/\lambda$ м²·ч·K/ккал [м²·K/Вт], характеризует толщину слоя материала: $1/\lambda = d/\lambda$, где d - толщина слоя в м. Удобнее считать, умножая d (толщина слоя в см) на коэффициент D' , т.е. $1/\lambda = d \cdot D'$. Значения $1/\lambda$ приведены в DIN 4108; кривая распределения температур в конструкции и повреждение от конденсации воды рассмотрены ниже.

Термическое сопротивление $1/\lambda$ характеризует теплоизолирующую способность воздушного слоя, прилегающего к конструкции. Чем меньше скорость воздушного потока, тем выше $1/\alpha$: на наружной стороне конструкции $1/\alpha_n = 0,05$, на внутренней - $1/\alpha_{вн} = 0,14$, в углах - $0,2$ м²·ч·K/ккал.

Сопротивление теплопереходу $1/k$ м²·ч·°C/ккал [м²·K/Вт], является суммой сопротивлений конструкции проникновению тепла: $1/k = 1/\alpha_{вн} + 1/\lambda + 1/\alpha_n$ (обратная величина - это коэффициент теплоперехода K , ккал/м²·ч·°C, характеризующий потери тепла конструкции и служит основой при расчете систем отопления).

Коэффициент теплопередачи k , ккал/м²·ч·°C [Вт/(м²·K)]. Это обратная величина сопротивления теплопереходу. В настоящее время это важная величина для расчета теплоизоляции. Величины k для различных случаев заданы в «Дополнениях к DIN 4108» и «Указаниях по теплоизоляции зданий». Те же величины принимаются за основу при расчете систем отопления.

Рассматриваемая величина k_m равна среднему коэффициенту теплопередачи «окно + стена»; при расчете учитываются в равной мере значения F и k обоих компонентов:

$$k_m(F+W) = (k_F F + k_W W) : (F + W)$$

k_m равна среднему коэффициенту теплопередачи ограждающей конструкции, рассчитанному при равных долях F и k составных частей конструкции, включая стены (W), окна (F), крыши (D), площади пола (G) и потолка, омываемые воздухом (DL), с учетом минимальных коэффициентов для крыши и поверхностей:

$$k_m = \frac{k_W F_W + k_F F_F + k_{DL} F_{DL} + 0,8 k_D F_D + 0,5 k_G F_G}{F_W + F_F + F_{DL} + F_D + F_G}$$

Теплопередача через строительную конструкцию: часть тепла проходит через внутренний воздушный слой и нагревает воздух помещения у внутренней поверхности конструкции; если количество тепла превышает теплоизолирующую способность конструкции, то оно достигает наружной поверхности, затем проходит через внешний воздушный слой и попадает в атмосферу (рис. 1).

Разность температур между внутренней и наружной поверхностями при этом распределяется на отдельные слои пропорционально процентному отношению, отражающему их влияние на суммарное сопротивление теплопереходу (рис. 2).

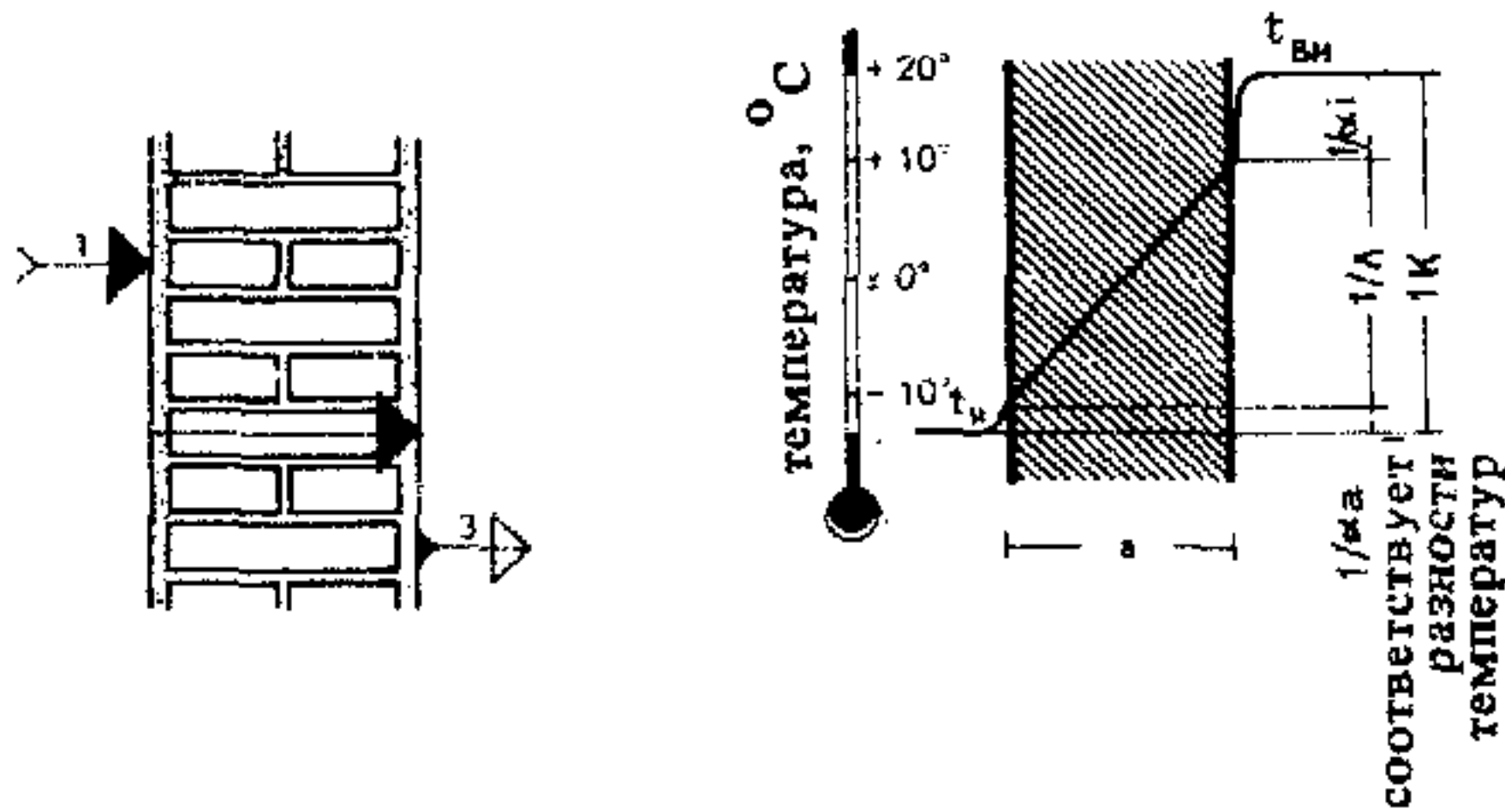
Пример 1. $1/\alpha_{вн} + 1/\lambda + 1/\alpha_n = 0,14 + 0,81 + 0,05 = 1$;
 $1/\alpha_{вн} : 1/\lambda : 1/\alpha_n = 14\% : 81\% : 5\%$.

При разности температур 40 К получаем:

$$\begin{aligned} 1/\alpha_{вн} &= 14\% \times 40 = 5,6 \text{ К}; \\ 1/\lambda &= 81\% \times 40 = 32 \text{ К}; \\ 1/\alpha_n &= 5\% \times 40 = 2 \text{ К}. \end{aligned}$$

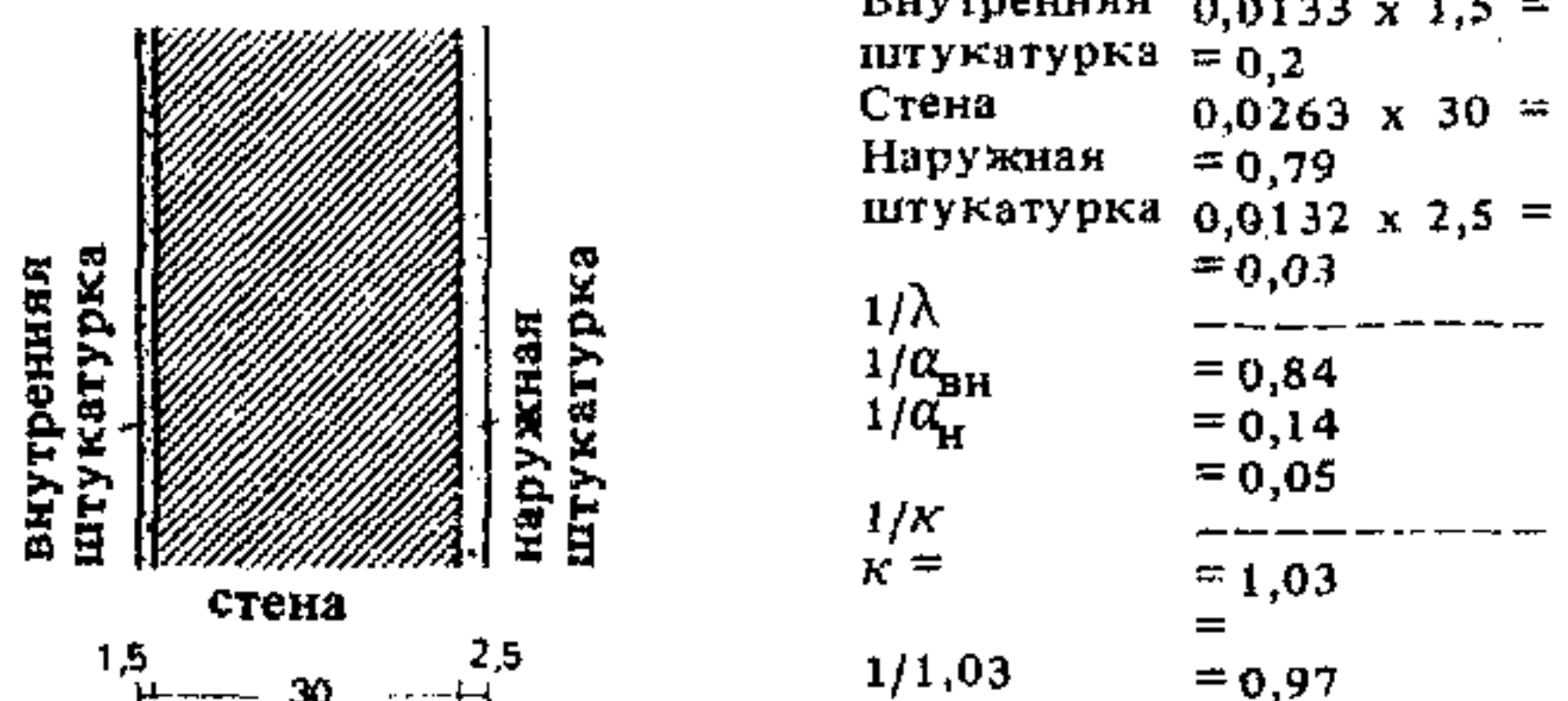
Пример 2. При $1/\lambda = 0,31$ получаем соотношение $0,14 : 0,31 : 0,05 = 28\% : 62\% : 10\%$. Тогда на внутреннюю воздушную прослойку приходится $28\% \times 40 = 11,2$ К, т.е. поверхность стены на 11,2 К холоднее воздуха в помещении. Таким образом, чем меньше теплоизоляция слоя, тем ниже температура внутренней поверхности конструкции (рис. 3), так как в ней легче появляется конденсационная влага.

Поскольку кривая распределения температуры зависит от теплоизоляции отдельных слоев, то она имеет вид прямой, если конструктивный элемент изобразить в масштабе теплоизолирующей способности составляющих его слоев (рис. 5, 6).

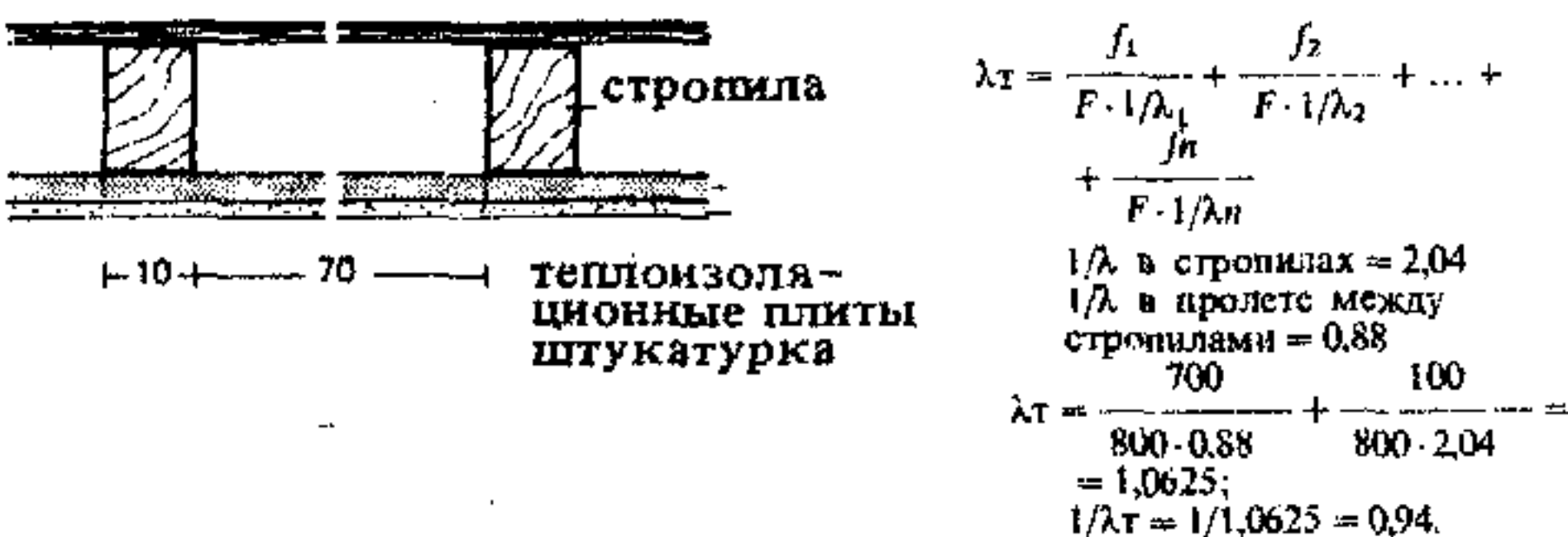


1. Теплопередача через строительную конструкцию

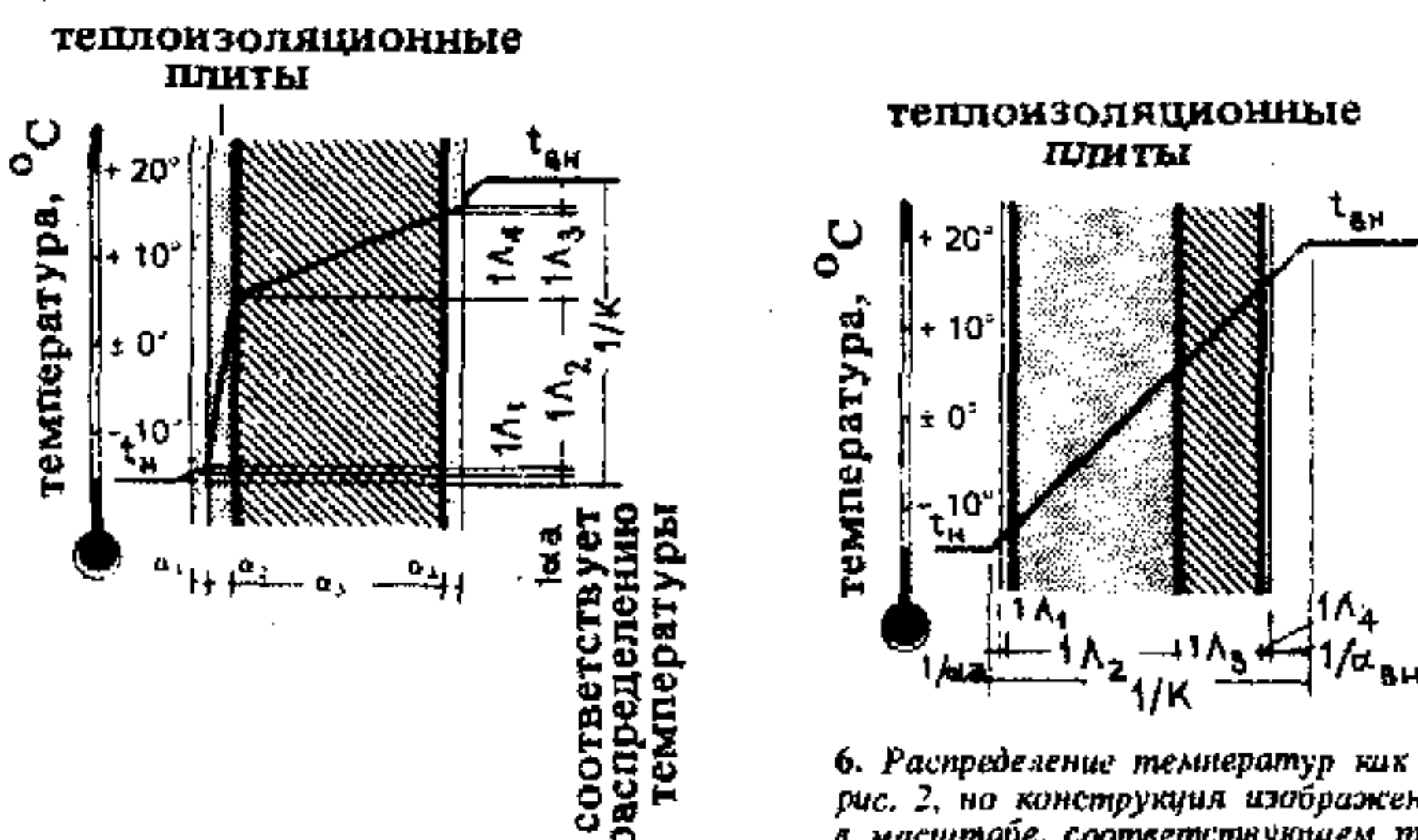
2. Распределение температур в однослойной стене



3. Расчет коэффициента k многослойной стены
Пример: стена из газобетона 800 кг/м^3 , толщиной 30 см, оштукатуренная

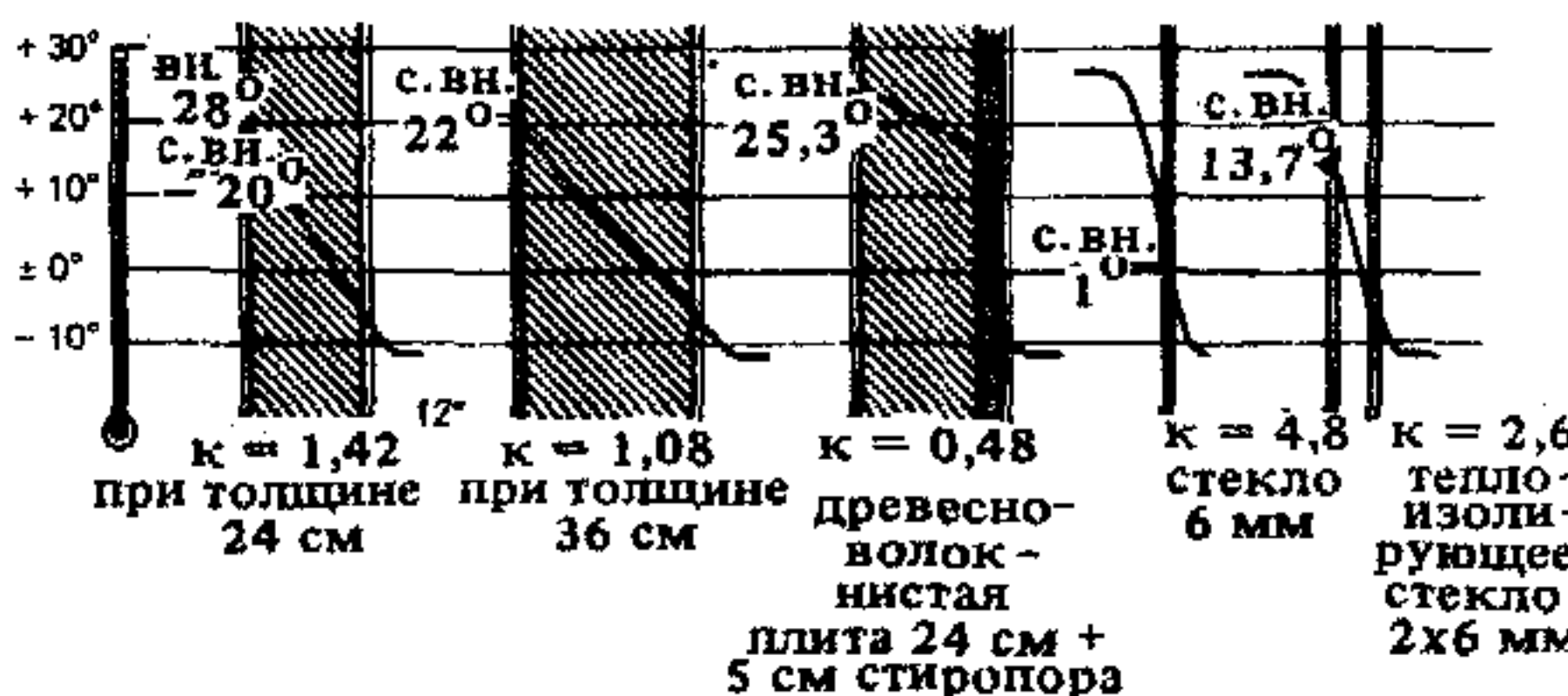


4. Расчет средней величины термического сопротивления составной конструкции.
Пример: наклонная крыша чердака



5. Распределение температур в многослойной стене

6. Распределение температур как на рис. 2, но конструкция изображена в масштабе, соответствующем термическому сопротивлению. По всей толщине конструкции закон изменения температур выражен прямой линией



7. Распределение температур в конструкциях с различным температурным сопротивлением при $t_{вн} = 28^\circ$ и $t_n = 12^\circ$. Температура внутренней поверхности стены ($t_{с.вн.}$) тем выше, чем лучше термическое сопротивление

Таблица 1. Расчет теплоизоляции по DIN 4108 «Дополнительные требования» по «Правилам устройства теплозащиты»

1. Определяем коэффициент теплоизоляции $1/\Lambda$ (см. с. 80) всех ограждающих конструкций и сравниваем со значениями DIN 4108 (табл. 2). (При расчете последний столбец табл. 2 может оказаться неиспользованным).
2. Определяем коэффициент теплопроводности k (см. с. 80) всех ограждающих конструкций и проверяем по табл. 2, столбец 4; для окон $k_{\text{макс}}$ принимают $3 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$ [$3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$]; значение k в подоконных нишах $< k$ стены.
3. Определяем среднее значение $k_{\text{м}}(W + F)$ для стены + окно по с. 80.
- Следующие далее по 4а, 5а, 7а — только при способе расчета 1:
- 4а. Проверяем $k_{\text{м}}(W + F) < 1,85$.
- 5а. Определяем по табл. 2 «Правил» допускаемое среднее значение k ограждающих конструкций или рассчитываем: $k_{\text{м, макс}} = 0,52 + 0,16V/F \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$ [$0,61 + 0,19V/F \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$], для бассейнов всегда $k_{\text{м, макс}} = 0,73 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$.
- 6а. Рассчитываем среднее значение k ограждающих конструкций ($k_{\text{м}}$ по с. 80 сравнить со значением по п. 5а).
- 7а. Только для бассейнов: проверить максимальное значение k для стены и крыши; $k_{\text{ст}} \leq 0,60$; $k_{\text{кр}} \leq 0,4 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$.
- Следующие далее по 4б, 5б — только при способе расчета 2 (упрощенный способ; для бассейнов не применяется).
- 4б. Устанавливаем, какое максимальное значение $k_{\text{м}}(W + F)$ следует принять: $1,25 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$ (план здания может быть представлен квадратом со стороной 13 м); $1,51 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$ (план здания может быть представлен квадратом со стороной 15 м) или $1,34 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$ для прочих случаев; сравниваем с $k_{\text{м}}(W + F)$ по п. 3.
- 5б. Проверяем $k_{\text{макс}}$ для крыши, равный $0,39$, для подвального перекрытия — $0,69$, заглубленных ограждающих конструкций — $0,78$.

Таблица 2. Минимальное значение теплоизоляции по DIN 4108 «Дополнительные требования»

Части зданий	Минимальное сопротивление теплопроводимости (коэф. теплоизоляции) $1/\Lambda$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{ккал}$ [$\text{м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$]		Максимальное значение коэффициента K , [$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$]	II	III	
	в температурных районах					примечания
	II	III				
Наружные стены *	0,55 (0,5)	0,65 (0,55)	Везде	1,35 (1,58)	1,2 (1,4)	
Внутренние стены жилых зданий и стены между производственными помещениями различного на- значения:						
без центрального отопления	0,3 (0,25)		Везде	1,7 (2)		
с центральным отоплением	0,08 (0,1)			2,8 (3,25)		
Стены лестничных клеток	0,3 (0,25)		То же	1,7 (2)		
Перекрытия в жилых домах и между производ- ственными помещениями различного назначения	0,4 (0,35)		Везде	1,45 (1,7)		
Нижний этаж бесподвальных помещений для дли- тельного пребывания (опирающихся на грунт)	1 (0,9)		То же	0,85 (1)		
Перекрытия в неиспользуемом чердаке *	1 (0,9) 0,5 (0,45)		В центре На неблагоприятном участке (теп- ловые мостики)	0,8 (1) 1,3 (1,7)		
Подвальные перекрытия	1 (0,9) 0,5 (0,45)		В центре На неблагоприятном участке (теп- ловые мостики)	0,75 (0,9) 1,25 (1,5)		
Перекрытия, ограждающие помещения для дли- тельного пребывания от наружного воздуха снизу	2 (1,75) 1,5 (1,3)		В центре На неблагоприятном участке (теп- ловые мостики)	0,45 (0,5) 0,55 (0,65)		
То же, сверху *	1,5 (1,3) 0,9 (0,8)		В центре На неблагоприятном участке (теп- ловые мостики)	0,6 (0,7) 0,9 (1,05)		
* Для частей зданий с массой $300 \text{ кг}/\text{м}^2$ данные см. ниже						
Масса в $\text{кг}/\text{м}^2$ < 300	0,55 (0,5)	0,65 (0,55)	Значения для стен и покрытий с небольшой массой	1,35 (1,58)	1,2 (1,4)	
200	0,6 (0,52)	0,75 (0,65)		1,25 (1,45)	1,05 (1,25)	
150	0,65 (0,55)	0,9 (0,8)		1,2 (1,4)	0,9 (1,05)	
100	0,95 (0,85)	1,3 (1,15)		0,9 (1)	0,65 (0,75)	
50	1,4 (1,2)	2 (1,75)		0,6 (0,7)	0,45 (0,5)	
20	1,85 (1,6)	2,6 (2,25)		0,5 (0,55)	0,35 (0,4)	

Таблица 3. Максимальный средний коэффициент теплопередачи $k_{\text{м, макс}}$ в зависимости от отношения F/V

F/V , м^{-1}	$k_{\text{м, макс}}$ *	
	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$
0,24	1,4	1,21
0,3	1,27	1,09
0,4	1,14	0,98
0,5	1,06	0,91
0,6	1,01	0,87
0,7	0,97	0,84
0,8	0,94	0,81
0,9	0,92	0,79
1	0,91	0,78

* Промежуточные значения определяют по следующему уравнению:

$$k_{\text{м, макс}} = 0,75 + 0,155 \frac{1}{F/V}$$

Таблица 4. Коэффициент теплопередачи k_G для ограждающих конструкций зданий, примыкающих к грунту

Площадь основания здания F_G , м^2	k_G	
	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$
≤ 100	2,2	1,9
$100 < F_G \leq 200$	1,7	1,47
$200 < F_G \leq 500$	1,4	1,21
$500 < F_G \leq 1000$	1,2	1,03
$1000 < F_G \leq 2000$	0,9	0,78
> 2000	0,6	0,52

* Между граничными значениями F_G на разных участках проводится линейная интерполяция.

Часть здания	Максимальный коэффициент теплопередачи	
	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$	$\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$
Ограждающие конструкции	0,85	0,73
Стены	0,7	0,6
Крыша	0,45	0,4

Таблица 5

Нормами служат DIN 4108. В них изложены понятия и минимальные требования к теплозащите и даны мероприятия по их реализации:

1. Отапливаемые помещения должны находиться рядом или друг над другом.

2. Следует предусмотреть тамбур.

3. Необходимо устанавливать двойные рамы или одинарные рамы с двойным остеклением или спаренные оконные переплеты со ставнями; среднее значение коэффициента k (окно + стена) должно быть меньше $1,6 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$ [$1,85 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$]. Это обязательное требование.

4. Необходимо следить за непроницаемостью оконных притворов, через которые происходят основные потери тепла.

5. Следует устанавливать раздвижные или сворачивающиеся жалюзи.

6. Трубопроводы и дымовые каналы следует пропускать только по внутренним стенам (из-за опасности их замерзания и перегрева), в противном случае требуется дополнительная теплоизоляция.

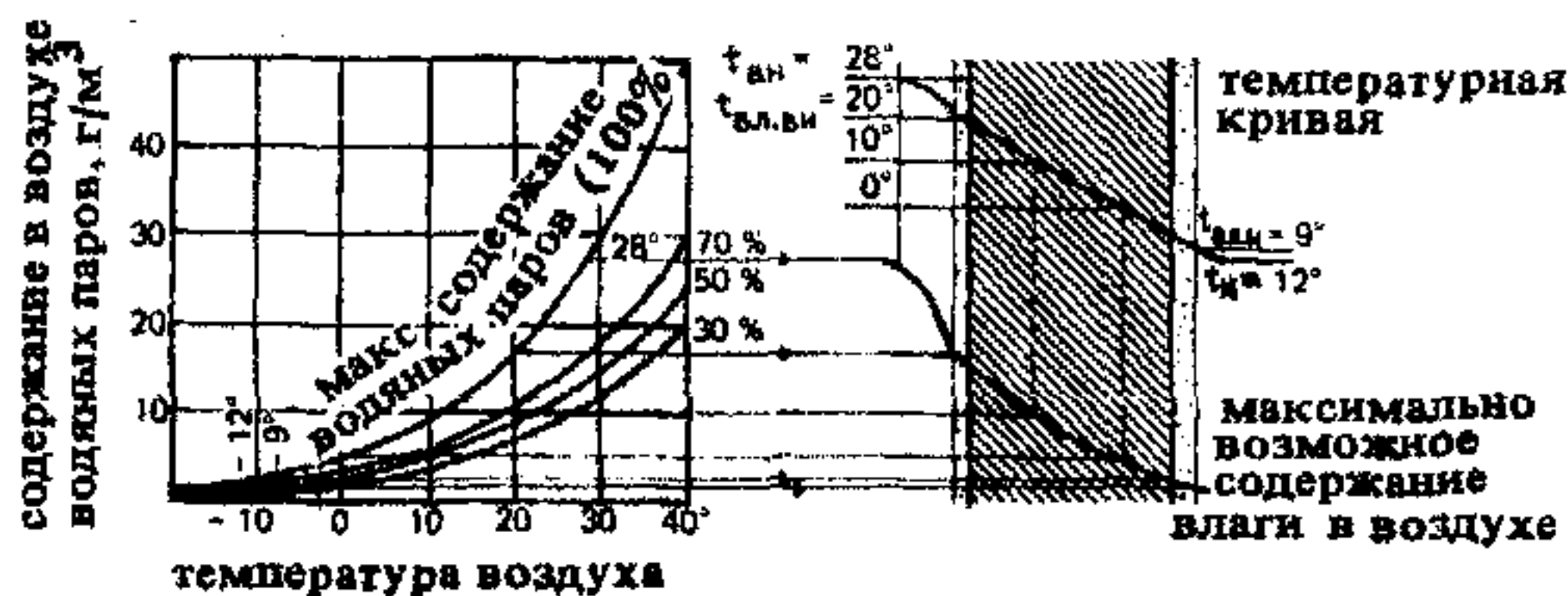
В зависимости от территориальных районов нормы DIN 4108 предъявляют различные требования к теплоизоляции (табл. 2). Для конструкций небольшой массы требуется повышенная теплозащита.

Карта районов по теплоизоляции сложилась частично исторически. Более точная карта сельскохозяйственного строительства. Температуры воздуха зимой, которые надо включать в расчет, приведены в DIN 4701.

В ноябре 1977 г. в постановлении об экономии энергии были даны практические требования к теплоизоляции. По табл. 1 можно определять толщину теплоизоляции двумя различными методами (для помещений с низкой внутренней температурой принимаются другие значения для $k_{\text{м, макс}}$): $k_{\text{м, макс}} = 0,65 + 132V/F \times [0,75 + 0,155V/F, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})]$.

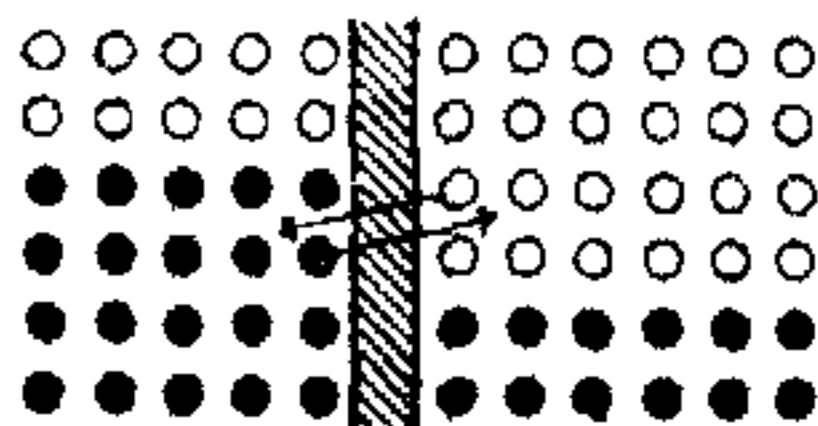
Кроме того, установлено, что швы в зданиях должны иметь определенное сопротивление теплопроводимости, а ограждающие конструкции — соответствующую воздухопроницаемость.

В настоящее время DIN 4108 перерабатывается и в будущем требования к теплоизоляции повысятся; будет учтен летний период путем повышения требований к легким постройкам и окнам: повышенная теплоизоляция при минимальном аккумулировании тепла, ограничение поверхности окон и обязательная установка солнцезащитных устройств

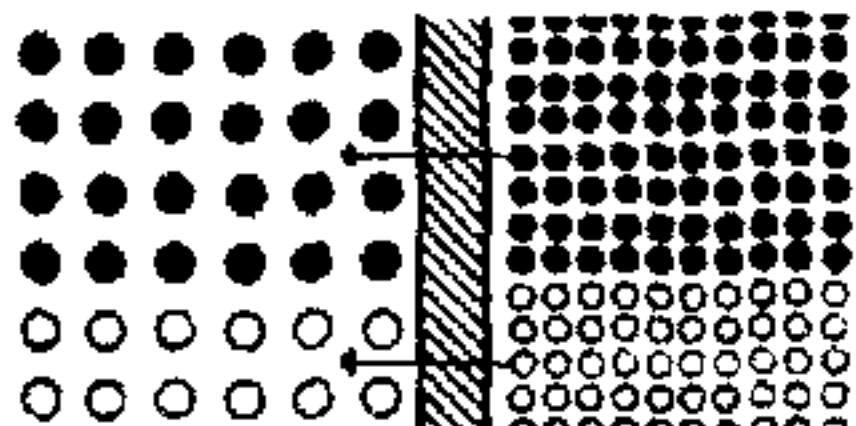


1. Содержание водяных паров в воздухе при различной относительной влажности воздуха

2. В соответствии с распределением температуры в строительной конструкции проходит кривая максимального содержания водяных паров в воздухе, диффундирующая через конструкцию — кривая давления насыщения



3. Относительная разность давления пара с двух сторон строительной конструкции



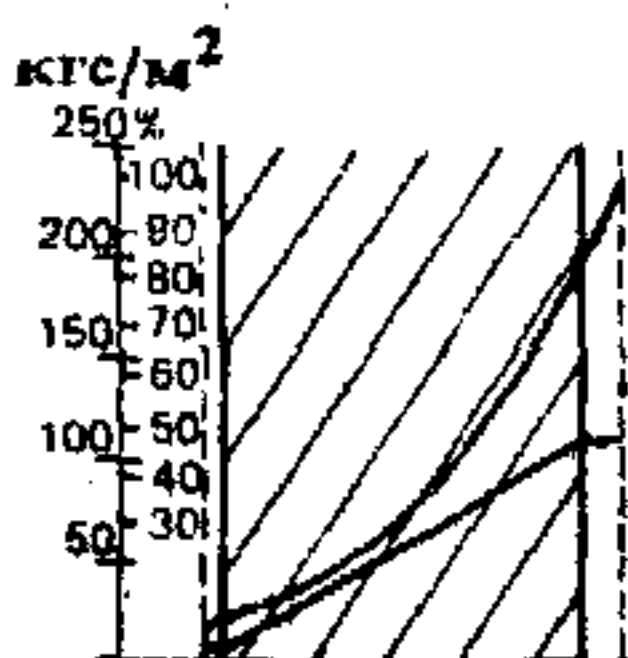
4. Абсолютная разность давления пара с двух сторон строительной конструкции

Таблица 1. Давление водяных паров в воздухе

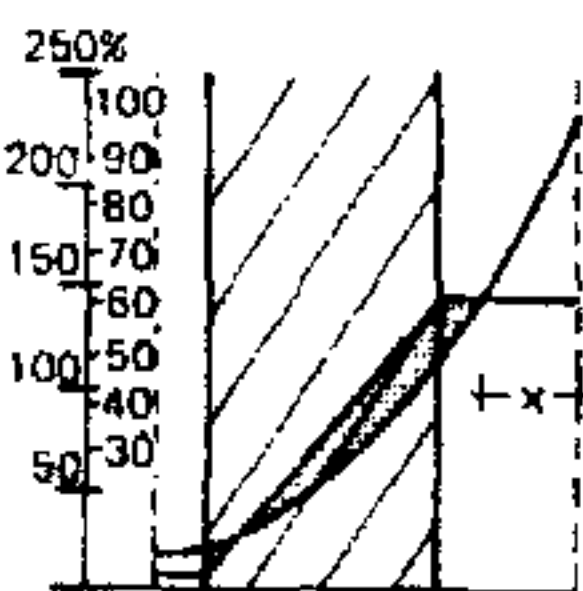
Температура, °C	Максимальное давление водяных паров, кг/м³
-10	26,9
-5	40,9
0	62,3
5	88,9
10	125,2
15	173,9
20	238,1
25	313

Таблица 2. Максимальная доля граничного воздушного слоя до паронейтральности (x)

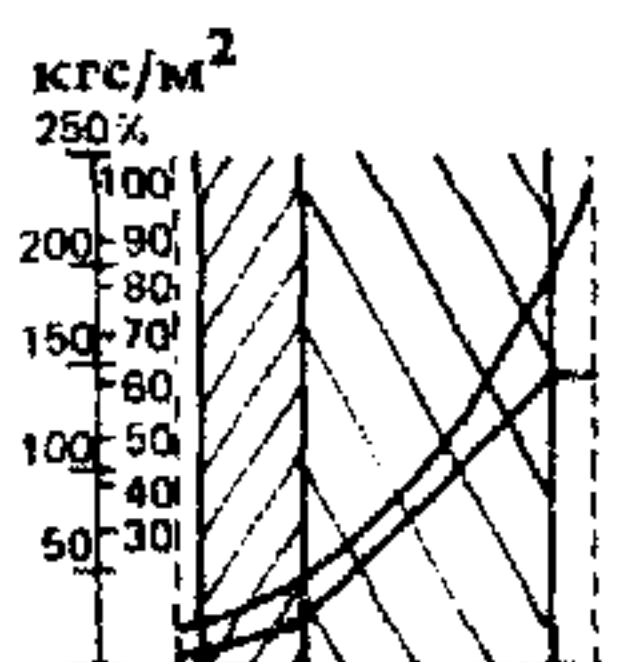
Наружная температура, °C	Относительная влажность воздуха, %		
	50	60	70
-12	33,5	25	17,8
-15	30,8	23	16,2
-18	28,4	21	15



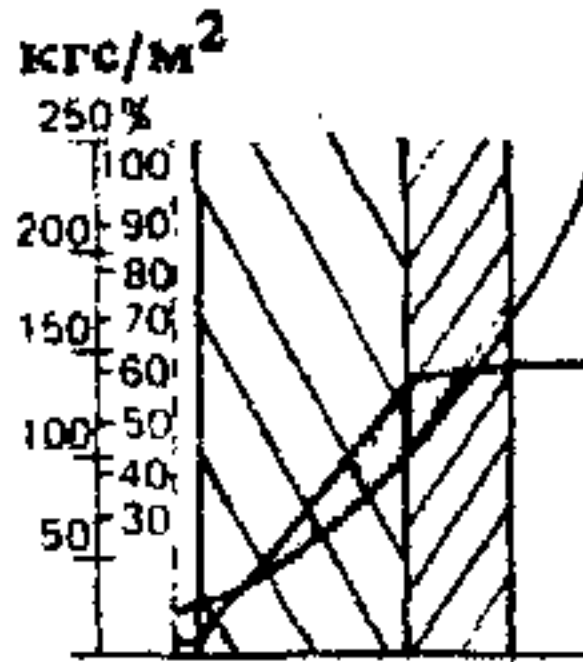
5. Давление водяных паров остается ниже максимально возможного — конденсата нет



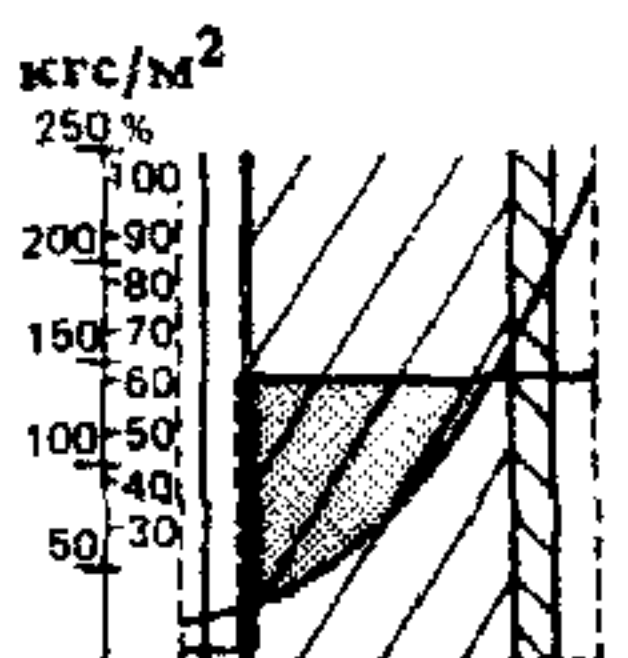
6. Граничный воздушный слой слишком велик из-за недостаточной теплоизоляции: конденсат на конструкции и внутри нее; X — максимально допустимая толщина граничного воздушного слоя



7. Коэффициент, характеризующий расположение слоев: крутизна кривой снижается к наружной стороне — хорошо



8. Неправильное расположение слоев: коэффициент и крутизна кривой растут к наружной стороне, в результате чего внутри конструкции выпадает конденсат



Диффузия водяных паров

Водяной пар возникает при кипении воды и при испарении при различной температуре. Для перехода воды в газообразное состояние из окружающей среды поглощается тепло в количестве около 600 ккал/кг. Водяной пар в воздухе не заметен («облака водяного пара» представляют собой парящие в воздухе водяные капли).

В воздухе может находиться лишь определенное количество водяного пара: чем теплее воздух, тем больше возможное содержание водяных паров. Процентное содержание пара в воздухе фактически определяет показатель относительная влажность воздуха. При снижении температуры воздуха и сохраняющемся без изменения содержании водяных паров возрастает относительная влажность воздуха.

Пример: содержание водяных паров в воздухе 125,2 кг/м³.

Температура воздуха: 20°: $125,2 : 238,5 = 52\%$
 15°: $125,2 : 173,9 = 72\%$
 10°: $125,2 : 125,2 = 100\%$

Если в этом примере и дальше понижать температуру воздуха, то водяные пары конденсируются в жидкость. Температура, при которой относительная влажность воздуха достигает 100%, называется точкой росы смеси воздуха с водяными парами.

Атмосферное давление воздуха 1 ат равно 10000 кг/м²; в смеси воздуха с водяными парами часть давления вызывается водяными парами. Такой показатель целесообразно применять для характеристики содержания водяных паров в воздухе, так как при этом более наглядны возможности диффундирования (0,06 г воды/1 кг воздуха = 1 кг/м³). Поэтому разность в давлении водяных паров (рис. 3) отражает только различное содержание молекул водяных паров при одинаковом полном давлении воздушной смеси; в противоположность этому абсолютная разность давления как в паровом котле (рис. 4), например, в пузырях кровельных ковров (см. с. 63 и далее).

Различное давление водяных паров может выравниваться за счет диффузии через конструктивные элементы и их слои. Сопротивление диффундированию характеризуется коэффициентом μd (см, м). Если учитывается воздушная прослойка, то коэффициент сопротивления диффузии определяется по табл. на с. 87-88.

При диффундировании внутри строительных конструкций возникают участки с пониженным давлением. Аналогично распределению температуры в конструкции распределяется давление в отдельных слоях в соответствии с их долей в общем коэффициенте сопротивления диффундированию. Воздушные прослойки малой толщины (снаружи 0,5, внутри 2 см) можно не учитывать.

Пример. Внутри 20°/50% = 119 кг/м³;
 снаружи 15°/80% = 14 кг/м³.

Стена толщиной 24 см: $\mu d = 4,5 \times 24 = 108$ см
 Штукатурка изнутри 1,5 см: $\mu d = 6 \times 15 = 90$ см
 114 см

Разность $119 - 14 = 105$ кг/м³
 $94,7\% \times 105 = 9,95$ кг/м³
 $5,3\% \times 105 = 5,5$ кг/м³
 100%

Примеры диффузии

Для предотвращения разрушения строительных конструкций необходимо исключить конденсацию в них влаги. Конденсация возникает там, где фактическое содержание водяных паров угрожает превысить количество, соответствующее температуре. В примере на рис. 5-10 конструкции с граничными воздушными слоями представлена в масштабе, пропорциональном их теплоизоляции (см. с. 83). Кривая рядом с прямой изменением температуры показывает максимально возможное давление водяных паров.

Для предотвращения разрушений важно учитывать: достаточную теплоизоляцию. В примере (рис. 5) показана однослойная конструкция без конденсации. В примере (рис. 6) возникает конденсат на внутренней стороне конструкции, так как доля граничного воздушного слоя слишком велика. Граничный воздушный слой не должен превышать определенной величины x в сопротивлении теплопередаче $1/k$ (табл. 2):

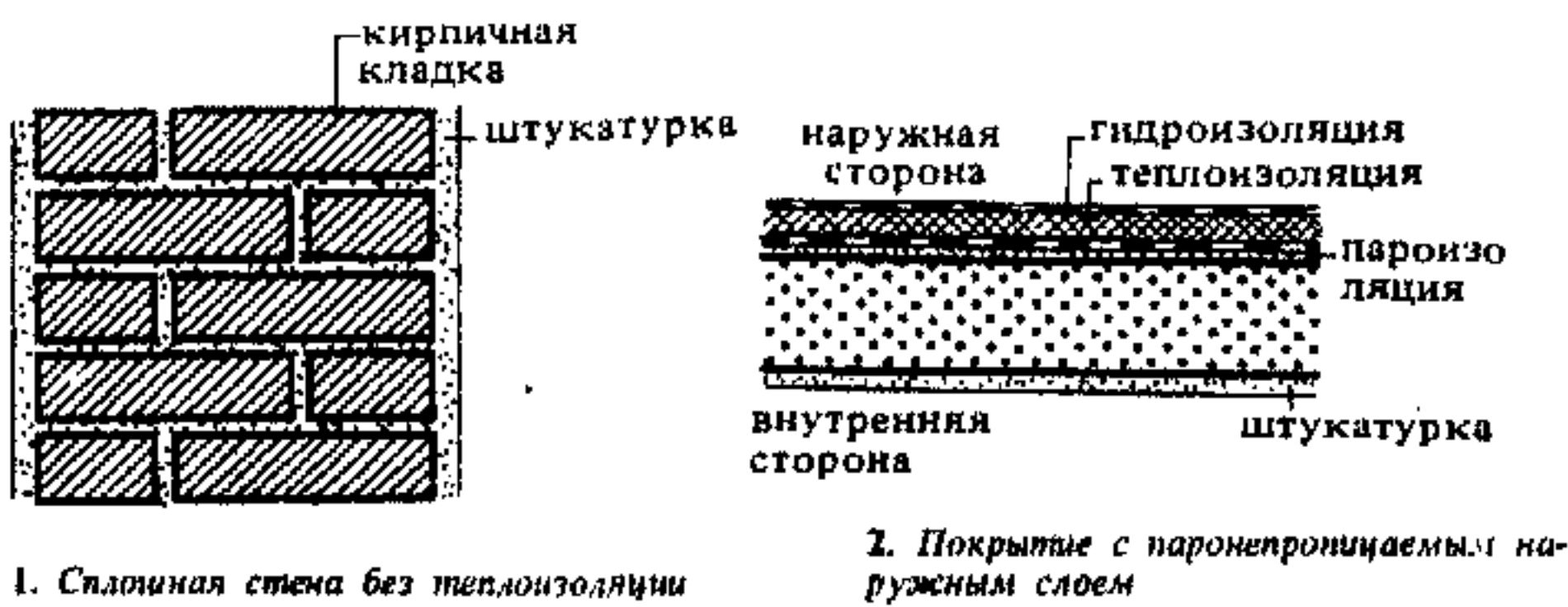
правильное расположение слоев. Диффузионная кривая должна иметь внутри по возможности крутой наклон, а снаружи быть плоской (рис. 7). В противном случае возникает конденсация (рис. 8). Уклон характеризуется коэффициентом μd : внутри высокий коэффициент сопротивления диффундированию, хорошая теплопроводность = высокий коэффициент μd ; снаружи низкий коэффициент сопротивления диффундированию, плохая теплопроводность = низкий коэффициент μd ;

правильное расположение паронейтральности. Если паронейтральный слой находится снаружи, то там падает давление водяных паров и в результате выпадает конденсат (рис. 9).

Чтобы этого избежать, слой паронейтральности должен располагаться внутри, причем слои, находящиеся перед ним, не должны превышать величины x в суммарном сопротивлении теплопередаче $1/k$ (табл. 2).

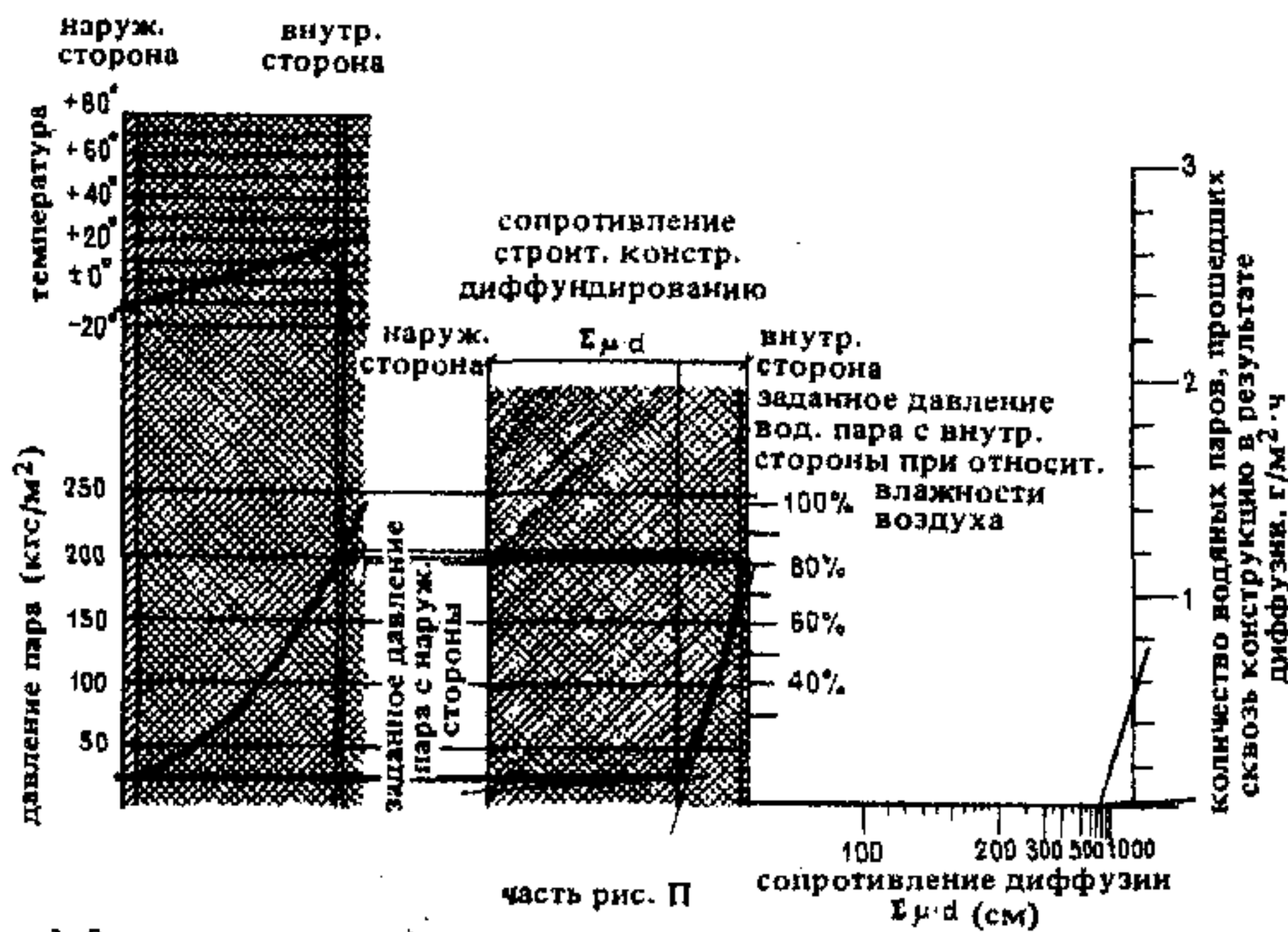
9. Паронейтральность с холодной стороны: конденсат внутри конструкции

10. Дополнительная паронейтральность с теплой стороны предотвращает образование конденсата. X — максимальная теплоизоляция с внутренней стороны паронейтральности

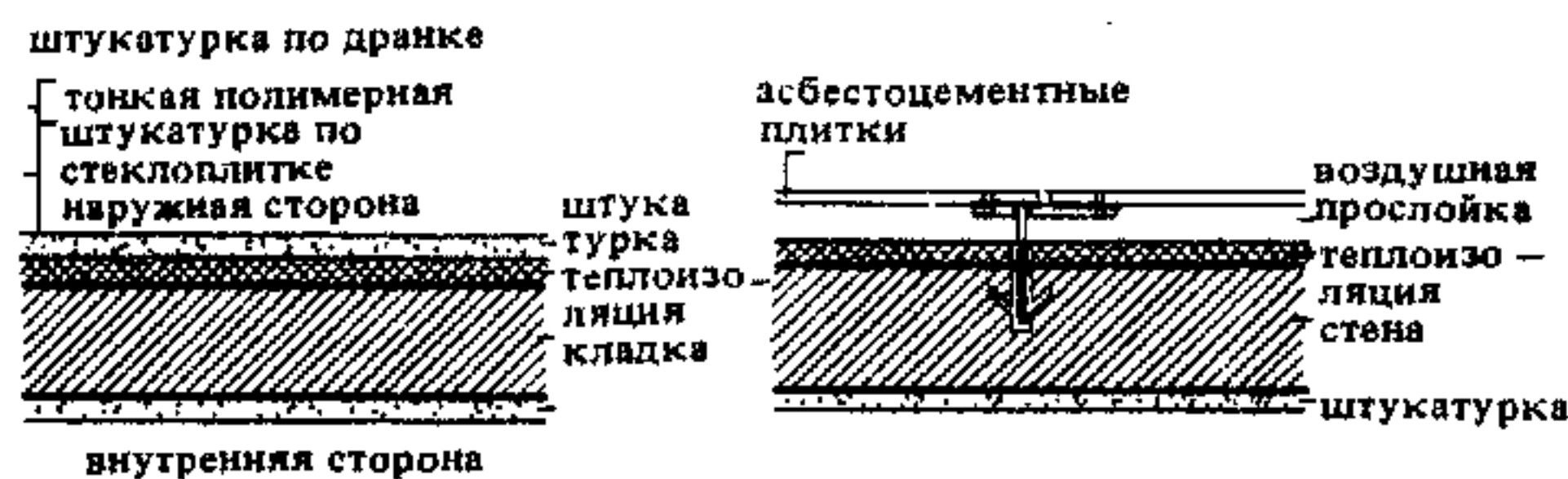


Последовательность слоев снаружи внутрь	Толщина слоя d , см	Коэффициент теплоизоляции $1/\lambda d$	Сопротивление диффузии μd , см
Воздушный слой с наружной стороны	—	0,05	—
Бетон (2200 кг/м³)	10	0,057	600
Стиропор тип 4	4	1,144	200
Штукатурка	1,5	0,02	15
Воздушный слой с внутренней стороны	—	0,14	—
Сумма		$1/k = 1,411$	815

сопротивление строительной конструкции теплопередаче



часть рис. II



6. На внутренней поверхности наружных углов возникает конденсат



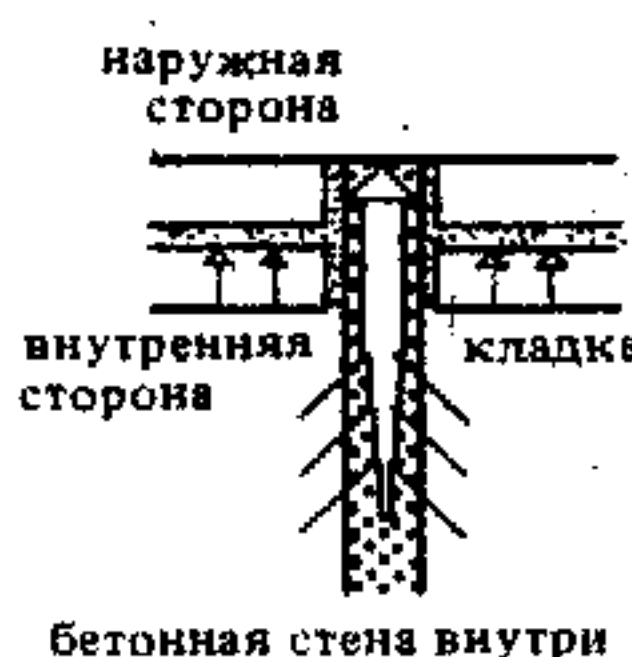
7. Во внутреннем угле конденсат не возникает



8. При большой внешней поверхности тепловых мостиков возникает конденсат (большие потери тепла на каждой единице площади)



9. При большой внутренней поверхности тепловых мостиков значительно снижается потеря тепла с единицы площади



Без пароизоляции (рис. 1). Описываемая конструкция не имеет пароизоляционных слоев. Слои расположены так, что не образуется конденсат: достаточная теплоизоляция. Коэффициент λ , характеризующий конструкцию, уменьшается к наружной стороне (см. с. 82, рис. 5, 6). Во влажных помещениях (например, бассейнах) необходимо аналитически или графически проверить распределение давления водяных паров (см. с. 82, табл. 1).

На наружной стороне теплоизоляционных слоев с обычной штукатуркой могут возникать трещины из-за температурных перепадов и недостаточной прочности основания на сдвиг. Поэтому рекомендуется применять штукатурную массу, упрочненную стекловолокном (рис. 3), но не для бассейнов.

С пароизоляцией (рис. 2). Новая конструкция («теплая кровля», «теплый фасад») с наружным пароизоляционным слоем и дополнительным внутренним слоем пароизоляции (см. с. 82, рис. 7, 8); в вертикальных конструкциях трудно выполнима, поэтому здесь лучше применять конструкцию с вентилируемым внешним слоем (исключение: сборные панели). Теплоизоляция с воздушными прослойками перед пароизоляцией не должна превышать определенной доли в сопротивлении теплопередаче (см. с. 82, рис. 7, 8, табл. 2).

В массивных конструкциях необходимо защищать пароизоляцию от механических повреждений с помощью выравнивающих слоев (см. с. 63 и далее). Поскольку с внутренней стороны пароизоляции возникает только относительная разность давлений водяных паров, то лишается смысла часто пропагандируемое «выравнивание давления» (в противоположность этому: выравнивающие слои под кровельным ковром, см. «Плоские кровли», с. 63 и далее).

С вентилируемым внешним слоем (рис. 4). Вентилирование устраняет пароизолирующее влияние относительно паронепроницаемых наружных слоев. Предпосылки: ширина вентилируемой прослойки в каждой точке ≥ 2 см; функциональное вентилирование путем разницы в высотах (минимальная разность высот между входом и выходом воздуха 10%).

При меньшей разности уровней необходимо устройство пароизоляции (см. конструкцию с пароизоляцией) с сопротивлением диффузии μd внутреннего слоя ≥ 10 см (в бассейнах ≥ 100 м). При недостаточном перепаде высот сопротивление диффузии внутреннего слоя > 50 см, иначе в наружном слое возникает конденсат. Внутренний слой располагается так же, как в конструкции без пароизоляции. Однако внутренний слой должен быть всегда воздухонепроницаемым.

Тепловые мостики являются частями конструкции с меньшей теплоизоляцией по сравнению с окружающими элементами. Поэтому там возрастает доля воздушных слоев в сопротивлении теплопередаче, так как на внутренней поверхности тепловых мостиков снижается температура и может выпасть конденсат (рис. 8). Возрастание стоимости на отопление из-за тепловых мостиков незначительно, так как они относительно невелики (за исключением одинарных окон, которые можно рассматривать как тепловые мостики, см. с. 80, рис. 7).

Чтобы предотвратить образование конденсата на поверхности конструкций и вызванные им вредные последствия (гниение и т. д.), необходимо повысить температуру внутренней поверхности тепловых мостиков за счет:

снижения теплопотерь. Тепловые мостики защищают теплоизоляцией от внешнего холода (повышение теплоизоляции снижает процентную долю воздушных прослоек в сопротивлении теплопередаче $1/k$);

повышения подачи тепла к мостикам путем увеличения их внутренней поверхности, применения прилегающих элементов с хорошей теплопроводностью, подачи горячего воздуха. При этом фактически снижается коэффициент сопротивления теплоотдачи $1/\alpha_{\text{вн}}$ тепловых мостиков и доля воздушных прослоек в сопротивлении теплопередаче $1/k$.

Типовой пример показан на рис. 8. Однако и нормальный наружный угол здания (рис. 6) образует тепловой мостик, так как там наблюдается обратная картина (рис. 9) и при небольшой теплоподающей внутренней поверхности имеется значительная наружная поверхность, отводящая тепло; поэтому изоляция воздушных прослоек в углах значительно выше, чем на плоских участках.

Из-за этого в стенах с минимальной теплоизоляцией в углах здания выпадает конденсат и образуется плесень.

8. При большой внешней поверхности тепловых мостиков возникает конденсат (большие потери тепла на каждой единице площади)

9. При большой внутренней поверхности тепловых мостиков значительно снижается потеря тепла с единицы площади

Таблица 1

Материал	Объемная масса камней, кг/м³	Толщина стен без штукатурки, см				
		11,5	17,5	24	30	36,5
1	2	3	4	5	6	7
Легкобетонные камни:						
пустотные блоки, двухкамерные блоки с порообразующими добавками (DIN 18151)	1000	—	0,5*	0,69*	0,85	1,02
	1200	—	0,46*	0,62*	0,76	0,92
	1400	—	0,41	0,55	0,68	0,81
	1400	—	—	0,62	0,76	0,92
трехкамерные блоки	1600	—	—	0,55	0,68	0,81
Полнотелые камни с порообразующими добавками (DIN 18152)	800	0,38**	0,55*	0,74*	0,91	1,1
	1000	0,34**	0,48*	0,65	0,80	0,96
	1200	0,31*	0,44*	0,58	0,72	0,87
	1400	0,26*	0,36	0,49	0,60	0,71
	1600	0,22*	0,3	0,4	0,49	0,59
Газобетонные и пенобетонные стеновые камни (DIN 4156) и легкий известибетон с паропрогревом	600	0,44**	0,65**	0,85*	1,05*	1,27
	800	0,38**	0,55*	0,74*	0,91	1,1
	1000	0,34**	0,48*	0,65	0,8	0,96
Газо- и пенобетонные камни, легкобетонные камни, твердеющие на воздухе	800	0,35**	0,51*	0,69*	0,85	1,02
	1000	0,30**	0,41*	0,55	0,68	0,81
	1200	0,24*	0,34*	0,45	0,55	0,66
Кирпич:						
с вертикальными, продольными отверстиями и пористый	1000	0,34**	0,48*	0,65	0,8	0,96
	1200	0,31*	0,44*	0,58	0,72	0,87
	1400	0,27*	0,38*	0,51	0,63	0,75
Полнотелый кирпич со штукатуркой с двух сторон и облицовкой толщиной 11,5 см из лицевого или дырчатого кирпича	1800	0,22*	0,3	0,4	0,49	0,59
	1800	0,22	0,3	0,4	0,49	0,59
Клинкерный кирпич	>1800	0,17*	—	0,32	—	0,46
Силикатный кирпич:						
пустотелые блоки	1000	—	—	0,61	—	—
	1200	—	—	0,55	—	—
Дырчатый кирпич	1200	0,30*	0,41*	0,55	0,68	0,81
	1300	0,24*	0,34*	0,45	0,55	0,66
Полнотелый кирпич	1800	0,18*	0,26	0,33	0,40	0,48
Упрочненный кирпич	>1800	0,17*	0,24	0,32	—	0,46
Шлакоблоки:						
марок HS100 и HS150	1800	0,24*	—	0,45	—	0,66
марки HHS	1800	0,20*	—	0,37	—	0,54

Таблица 2

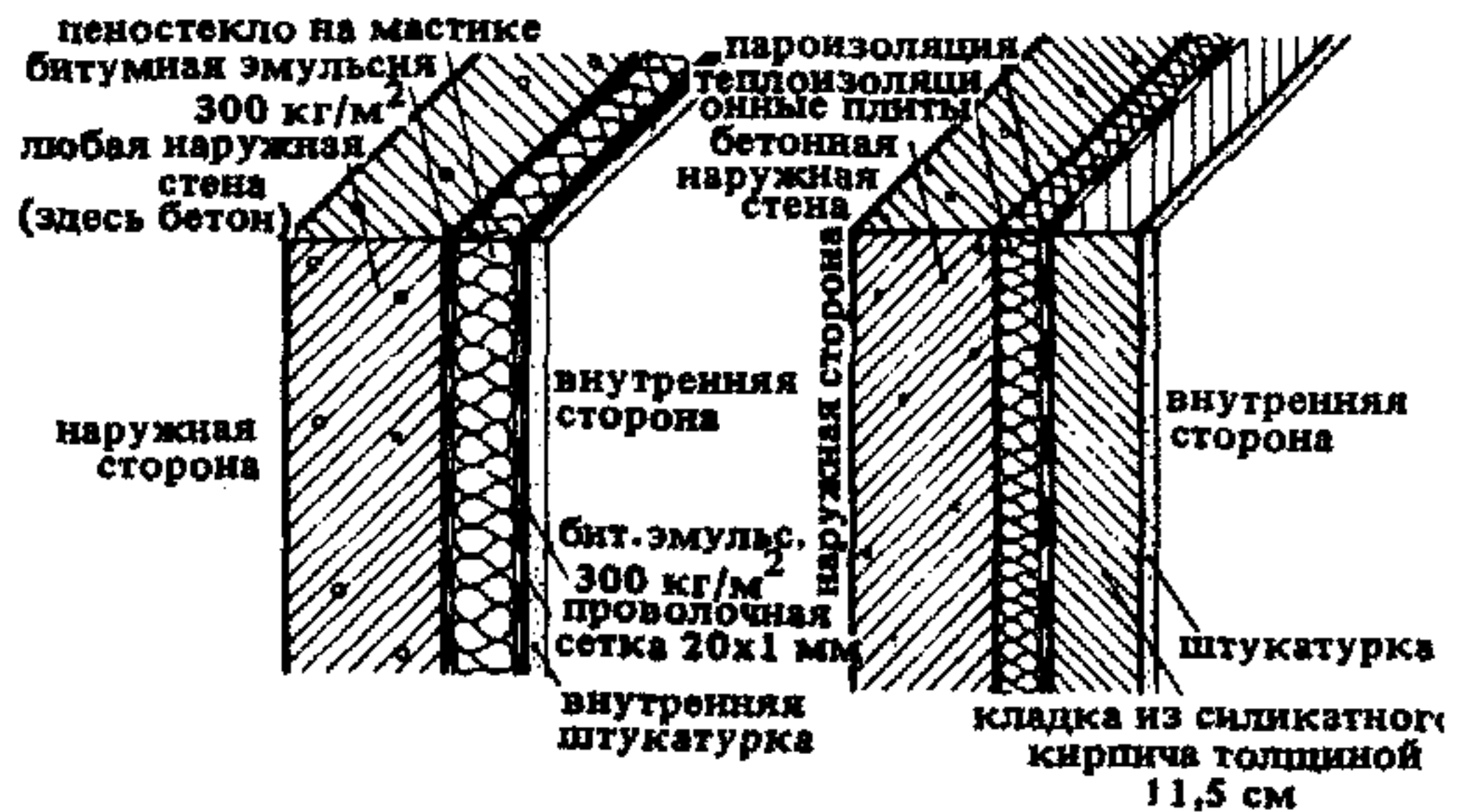
Вид бетона	Объемная масса бетона, кг/м³	Толщина стен, см				
		12,5	18,75	25,0	31,25	37,5
1	2	3	4	5	6	7
Газо-, пено- и легкий бетон с паропрогревом						
	400	1,09***	1,51***	2,13**	2,68**	—
	500	0,89***	1,22**	1,61**	2	—
	600	0,67***	0,98***	1,30*	1,61*	—
	800	0,55**	0,8*	1,05*	1,3	—
	1000	0,46**	0,67*	0,88	1,09	—
Пемзо-, керамзитобетон и бетон из вспененного или гранулированного доменного шлака						
	800	0,55**	0,8*	1,05*	1,3	1,54
	1000	0,46**	0,67*	0,88	1,09	1,69
	1200	0,76*	0,52	0,68	0,83	0,99
Бетон на кирпичном щебне и бетон на каменноугольном шлаке						
	1400	0,30*	0,43	0,55	0,68	0,79
	1600	0,23	0,33	0,43	0,52	0,62
Бетон на пористых заполнителях с непористыми добавками, например, гравий (бетон с монофракционным заполнителем)						
	1500	0,27*	0,39	0,45	0,61	0,72
	1700	0,22*	0,31	0,4	0,49	0,57
	1900	0,19	0,26	0,33	0,39	0,46
Гравийный и щебеночный бетон замкнутой структуры марок:						
B120	2200	0,14	0,19	0,24	0,29	0,34
B160	2400	0,12	0,15	0,19	0,22	0,26

* Включая штукатурку ≥ 200 кг/м².
 ** Включая штукатурку ≥ 150 кг/м².
 *** Включая штукатурку ≥ 100 кг/м².

Детали: наружные стены

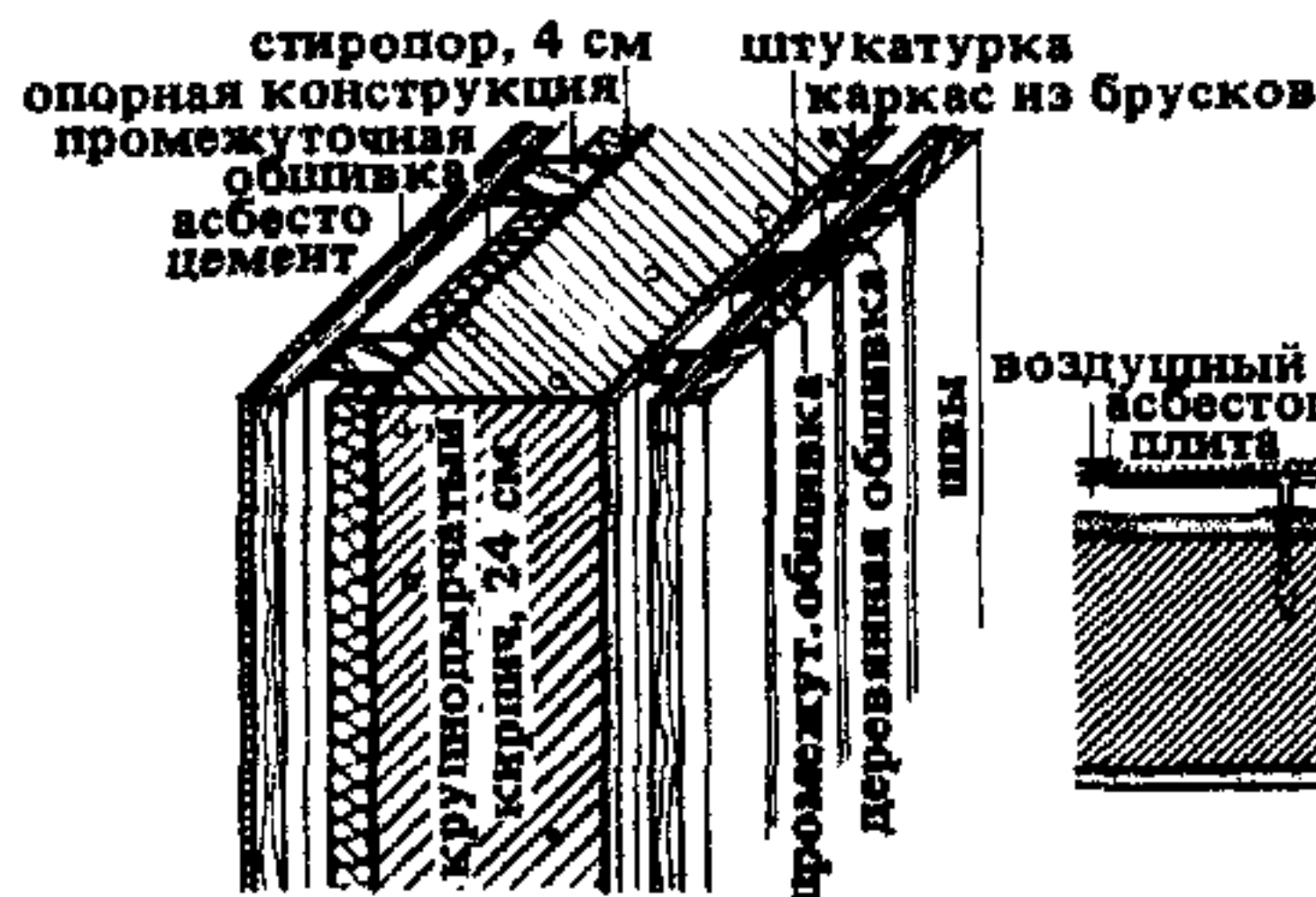
Значения термического сопротивления приведены в таблице с учетом массы конструкций (табл. 1 и 2) и принятого коэффициента теплоизоляции. Общее требование: при устройстве наружной теплоизоляции не применять обычную штукатурку, а выполнять вентилируемую облицовку или штукатурку по скелоткани (рис. 5).

Критические точки: швы скольжения в местах примыкания плоских покрытий (см. с. 63 и далее); ниши для радиаторов



1. Многослойная сплошная стена с пароизоляцией с внутренней стороны (пеностекло, 400 г/м² на мастике 607)

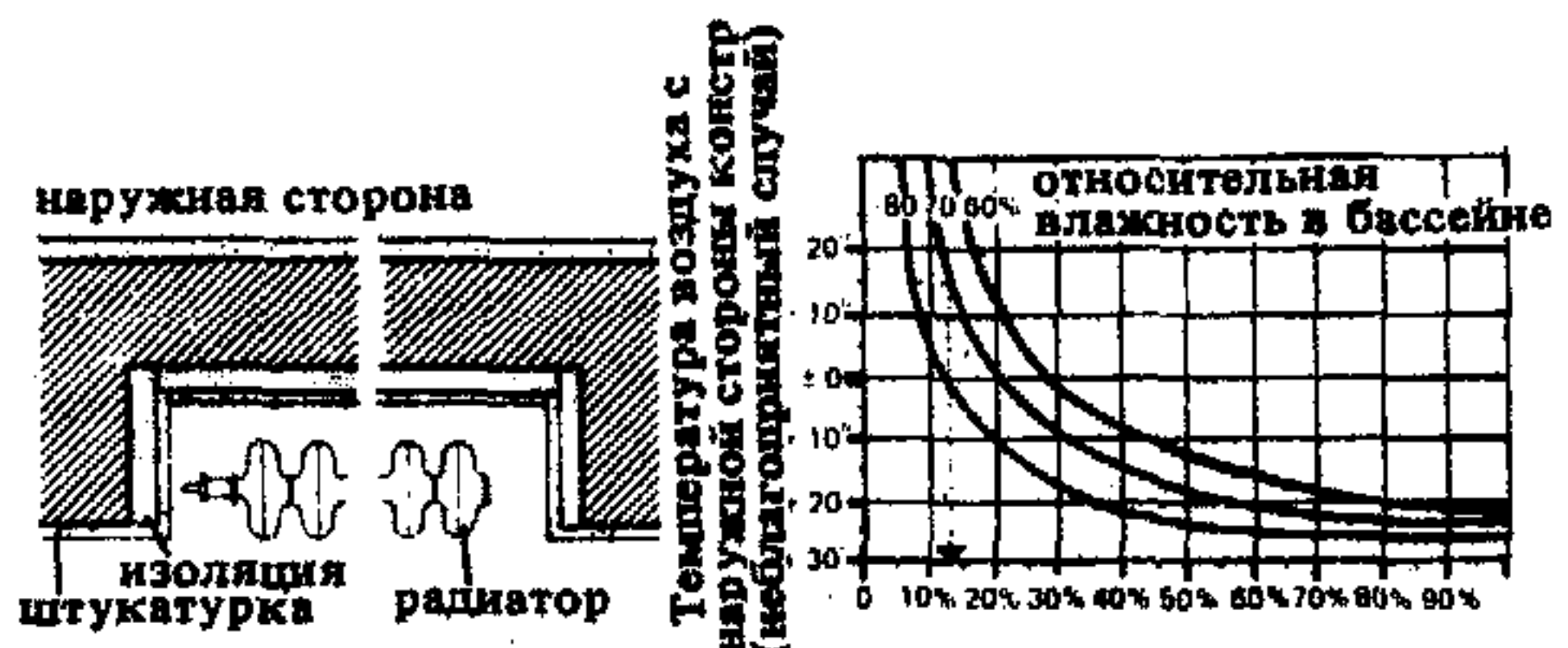
2. Многослойная сплошная стена с пароизоляцией с внутренней стороны и внутренней облицовкой из силикатного кирпича



3. Многослойная стена без пароизоляции с вентилируемой облицовкой с внешней стороны. С внутренней стороны вентилируемая деревянная облицовка



4. Горизонтальный слой в месте примыкания окна к вентилируемой облицовке из асбестоцементных плит (конструкция Иклера, Цюрих)



5. План: изоляция ниши радиатора-штукатурная мастика по стекловолокну

6. Теплоизоляция с внутренней стороны пароизоляции (максимальное процентное содержание)

(рис. 5); для снижения расходов на отопление требуется более высокое термическое сопротивление (тонкая стена, высокая температура); примыкание окон (рис. 4); тепловые мостики в четвертях; коробка для жалюзи (см. с. 86, рис. 1); теплоизоляция должна устраиваться не только на неподвижных стенках, но и на крышке (по DIN 4108).

Помещения с повышенной влажностью (например, бассейны): усиленная изоляция; максимальная доля x внутренних слоев (воздушный слой и слой конструкции до пароизоляции, см. с. 83) снижается. Поскольку штукатурка в данном случае слишком паронепроницаема, рекомендуется применять вентилируемую облицовку (рис. 3) (или конструкцию с пароизоляцией (рис. 2). Важно не прерывать пароизоляционный слой, для чего предусматривают защитную оболочку. В опасных случаях устраивают дополнительную изоляцию (рис. 1).

Детали: покрытия

Расчет термического сопротивления проводится по данным, приведенным в табл. на с. 87 с учетом значений табл. на с. 85. Обычно: плавающий слой. Преимущество ковровых полов из листового асфальта: очистители растворяют бесшовное покрытие (остаются пятна). Не следует забывать о звукоизоляции: теплоизоляционный слой, оштукатуренный с внутренней стороны снижает звукоизоляцию (следует применять тонкий слой штукатурной мастики).

Критические точки: примыкание покрытия к стене, крепление балконов. Применение балконных плит из легкого бетона предотвращает образование тепловых мостиков.

Необходимо предусматривать усиленную теплоизоляцию над гаражами и открытыми проездами (см. табл. на с. 87).

В очень влажных (бассейны) и теплых помещениях (котельные) под теплоизоляцией вышележащего покрытия следует предусмотреть пароизоляцию (устройство пароизоляции над теплоизоляцией неправильно, см. с. 82 и DIN 4109).

Детали: крыши

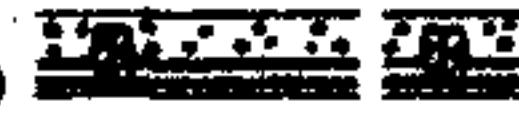
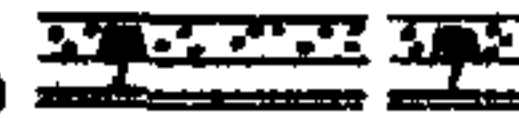
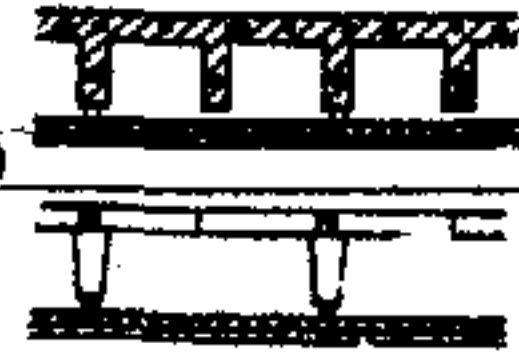
(см. также «Плоские кровли», с. 63 и далее)

Расчет теплоизоляции проводится по табл. на с. 87 с учетом значений, приведенных в табл. 1 на с. 84.

Общие требования: скатная крыша часто имеет вентилируемый наружный слой. Сопротивление диффузии внутреннего слоя ≥ 50 см. Вентилирование целесообразно осуществлять через приточные и вытяжные отверстия и при необходимости путем устройства промежуточной обрешетки. Вентиляционные отверстия не должны пересекаться. Ограниченное вентилирование возможно только при небольшом выпадении водяных паров (сплошные основания); лучше вентиляционные отверстия вывести выше снежного слоя за счет высокого конька или выполнить пароизоляцию как на плоской кровле (см. с. 63 и далее). Внутренний слой должен быть воздухонепроницаемым.

Таблица 1. Конструкции перекрытий с тепло- и звукоизоляцией. Однослойные монолитные перекрытия

Обозначение и конструкция	Толщина, см	Группа по теплоизолирующей способности, DIN 4108	Масса перекрытия, включая штукатурку, кг/см²	Коэффициент теплоизоляции 1/Δ, включая штукатурку, м²·ч·°С/ккал	Группа по звукоизолирующей способности, DIN 4109		
Железобетонные плиты по DIN 1045							
	Из бетона на гравии	10	1	260	0,09	I	
		12,5	2	320	0,09	II	
		15		380	0,11		
		17,5		440	0,12		
		20		500	0,13		
		22,5		560	0,15		
25	620	0,16					
	Из бетона на кирпичном щебне	12,5	3	270	0,16	I	
		15		320	0,19		
		17,5		370	0,21		
		20	3	420	0,24	II	
		22,5		470	0,27		
		25		520	0,30		
Пустотелые элементы с арматурой в швах, по DIN 1046							
	Из дырчатых блоков по DIN 4159	без поперечных ребер	10,5	160	0,17	•	
			12	180	0,18		
			14	205	0,19		
		с поперечными ребрами	16	230	0,26	I	
			18	260	0,28		
			20	290	0,29		
			22,5	320	0,30		
			25	350	0,32		
			28	370	0,34		
Железобетонные ребристые перекрытия по DIN 1045							
	С пустотными блоками из легкого бетона по DIN 58, без поперечных ребер		17	270	0,28**	I	
			19	285	0,29**		
			21	305	0,30**		
			23	320	0,31**		
			25	340	0,32**		
			3	27	360	0,33**	I (или II*)
				30	380	0,35**	
				33	400	0,36**	
				37	430	0,37**	
	Из дырчатых блоков по DIN 4160	без поперечных ребер	18	280	0,23	I	
			20	300	0,24		
			22	320	0,25		
		с поперечными ребрами	24	350	0,33	I (или II*)	
			26	380	0,34		
			28	400	0,35		
			30	420	0,36		
			32	440	0,37		

Обозначение и конструкция		Толщина, см	Группа по теплоизолирующей способности, DIN 4108	Масса перекрытия, включая штукатурку, кг/см ²	Коэффициент теплоизоляции 1/Δ, включая штукатурку, м ² ·ч·°С/ккал	Группа по звукоизолирующей способности, DIN 4109
Сборные железобетонные балочные перекрытия с вкладышами по DIN 4233						
	С вкладышами из легкого бетона без поперечных ребер	20	3	220	0,25**	*
		24		270	0,33**	I
Перекрытие по двутавровым балкам с шлакобетонным заполнением, объемная масса 1600 кг/м ³						
	Железобетонные пустотелые панели по DIN 4028	6,5+11 10+7,5	3	300	0,27 0,25	I
	Перекрытия из пустотелых элементов с укладкой арматуры в швах по DIN 1046	10+6 15+1	3	260	0,26 0,25	I
	Железобетонные плиты по DIN 1045	7+9 10+6 12+4	2	340 365 390	0,20 0,17 0,15	I
Железобетонные ребристые перекрытия без вкладышей						
	По DIN 4225		1	220	0,04	*
	По DIN 1045 и 4285			250	0,04	I
Монолитные перекрытия по двутавровым балкам						
	Железобетонные плиты по DIN 1045		1	220	0,04	*
Двухслойные монолитные перекрытия (внутренняя поверхность оштукатурена)						
Железобетонные ребристые перекрытия без вкладышей						
	Подвесной потолок из ДСП	По DIN 4225	4	250	0,55	II
		По DIN 1045 и 4225		280	0,55	
Монолитные ребристые перекрытия по двутавровым балкам						
	С подвесным потолком в виде штукатурки по сетке	Железобетонные перекрытия по DIN 1045	3	270	0,28	II

* Требуется официальное удостоверение о пригодности перекрытия.

** Для пустотных элементов из бетона на каменноугольном шлаке и кирпичном щебне. Пемзобетон улучшает теплоизолирующую способность перекрытия.

Коэффициент теплопроводности λ , ккал/(м·ч·°C)	Номерация	Материал	Объемная масса, кг/м³	Термическое сопротивление, м²·ч·град/(м·ккал)	Ориентировочные значения коэффициента диффузионного сопротивления μ
1	2	3	4	5	6

1. ЕСТЕСТВЕННЫЕ КАМНИ И ГРУНТ

1.1. Естественные камни, растительный грунт

3	1.11	Плотные естественные камни (гранит, мрамор и т. д.)		0,003	Паронепроницаемость
2	1.12	Пористые естественные камни (песчаник, ракушечник, конгломерат и др.)		0,005	10
1,2	1.13	Песок и гравийный песок естественной влажности	1800	0,0083	2
1,8	1.14	Связной грунт естественной влажности	1700	0,0056	2

1.2. Суглинок

0,8	1.21	Плотный суглинок и блоки из него	2100	0,0125	10
0,6	1.22	Солома с глиной	1700	0,0166	4
0,4	1.23	Легкий суглинок	1200	0,025	4
0,4	1.24	Жердь, обмотанная соломой с глиняной обмазкой	1600	0,025	4

1.3. Сухие заполнители перекрытий и других конструкций

0,5	1.31	Песок	1300	0,02	2
0,7	1.32	Гравий, мелкий щебень	1500	0,014	2
0,16	1.33	Пемзовый гравий	900	0,0625	2
0,16	1.34	Каменноугольный шлак	700	0,0625	2
0,12	1.35	Доменный шлак	1000	0,0835	2
0,35	1.36	Кирпичный бой		0,0286	2

2. РАСТВОРЫ И БЕТОНЫ

2.1. Штукатурка (внутренняя и наружная), бесшовные полы, растворные швы

0,75	2.11	Известковый раствор, раствор на гидравлической извести	1700		
		Известково-цементный раствор	1900	0,0133	10
1,2	2.12	Цементный раствор	2100	0,0084	15
	2.13	Гипсовый раствор, чистый гипс, известково-гипсовый раствор	1200		
0,6		Ангидритовый раствор	1700	0,0166	6

2.2. Тяжелые и легкие бетоны (в бесшовных конструкциях и большеразмерных плитах)

1,3	2.21	Бетон на гравии и мелком щебне с плотной структурой			
1,75		Бетоны марок В 120	2200	0,0077	20
0,65		Бетоны марок В 160	2400	0,0057	35*
0,8	2.22	Бетон на кирпичном щебне с плотной структурой	1600	0,0153	8
0,9		Железобетон на кирпичном щебне	1800	0,0125	12
0,55	2.23	Бетон с пористым заполнителем	2000	0,0111	18
0,7		Бетон с непористым заполнителем	1500	0,0182	3
0,95		Бетон с непористым заполнителем, например гравием	1700	0,0143	4
0,4	2.24	Бетон на кирпичном щебне	1900	0,0105	6
0,5		Бетон на доменном шлаке	1200	0,025	3
0,65		Бетон на пористом шлаке	1400	0,02	4
0,25	2.25	Пемзобетон, керамзитобетон и бетон на вспененном или гранулированном доменном шлаке	1600	0,0154	6
0,3		Газо- и пенобетон с паропрогревом, легкий	800	0,04	2,5
0,4		известковый бетон	1000	0,033	6
0,12	2.26	Деревобетон	1200	0,025	10
0,16					
0,2					
0,25					
0,3					
0,35					
0,45					

Коэффициент теплопроводности λ , ккал/(м·ч·°C)	Номерация	Материал	Объемная масса, кг/м³	Термическое сопротивление, м²·ч·град/(м·ккал)	Ориентировочные значения коэффициента диффузионного сопротивления μ
1	2	3	4	5	6

2.3. Бетонные и гипсовые плиты

0,3	2.31	Асбестоцементные плиты прессованные и непрессованные	1800	0,033	34
0,3			2200	0,033	34
0,25	2.32	Стеновые блоки из легкого бетона (DIN 18182)			
0,3	2.321	Сборные плиты из естественной пемзы	800	0,04	2,5
0,4	2.322	Панели из керамзито-пенобетона	1000	0,033	5
0,5	2.323	Шлакобетонные блоки	1200	0,025	10
	2.324	Панели из бетона на спекшейся пемзе, кирпичном щебне, туфе, легкобетонные панели на смешанном заполнителе	1400	0,02	10

2.33. Гипсовые панели (DIN 18183)

0,25	2.331	Пористый гипс	600	0,04	2
0,28			700	0,036	2
0,35	2.332	Гипс с наполнителем, пустотами или порами	900	0,029	3,5
0,4	2.333	Гипс (гипсовые панели)	1000	0,025	6
0,5			1200	0,02	6
0,5	2.334	Гипс со смешанным заполнителем	1200	0,02	6
0,18	2.34	Гипсовые плиты с двухсторонней картонной облицовкой толщиной до 15 мм		0,058	6

2.4. Кладка из бетонных камней (включая растворные швы)

0,9	2.41	Силикатный кирпич (DIN 106, ч. 1)			
0,9	2.411	Гвердый силикатный кирпич	>1800	0,011	30
0,85	2.412	Полнотелый силикатный кирпич	>1800	0,011	30
0,8			1800	0,0118	30
0,48	2.413	Дырчатый силикатный кирпич	1200	0,0209	5
0,48			1400	0,0167	7
0,43	2.414	Пустотелые силикатные блоки	1000	0,0232	3,5
			1200	0,0209	5
0,6	2.42	Керамзитовые блоки (DIN 398)			
0,75	2.421	Керамзитовые блоки марок HS100 и HS150	1800	0,0167	10
0,35	2.422	Керамзитовые блоки марки HHS	1800	0,0133	15
0,4	2.43	Легкобетонные полнотелые блоки (DIN 18152)	1000	0,0250	3,5
0,45			1200	0,0222	5
0,55			1400	0,0182	6,5
0,68			1600	0,0147	9
0,38	2.44	Легкобетонные пустотелые блоки (DIN 18151)			
0,42	2.441	Двухкамерные блоки	1000*	0,0263	2
0,48			1200*	0,0238	2,5
0,42			1400*	0,0209	3,5
0,48	2.442	Трехкамерные блоки	1400*	0,0238	3,5
0,3			1800*	0,0209	4,5
0,35	2.45	Газо- и пенобетонные блоки (DIN 4165) и легкие известково-бетонные блоки с паропрогревом	800	0,0333	3,5
0,4			800	0,025	10
0,38	2.46	То же, с твердением на воздухе	1000	0,025	10
0,48			800	0,0263	6
0,6			1000	0,0209	10
0,38	2.47	Блоки из деревобетона	1200	0,0167	16
0,48			800	0,0263	3
			1000	0,0208	3,5

3. КИРПИЧ И ПЛИТКА

3.1. Кладка из кирпича (DIN 105) (включая растворные швы)

0,9	3.11	Клинкер для надземных сооружений	>1900	0,011	20
0,68	3.12	Клинкер с вертикальными пустотами		0,0147	20
0,4	3.13	Полнотелый кирпич, облицовочный кирпич	1000	0,025	3,5
0,45			1200	0,022	4,5
0,52			1400	0,0192	6
0,68			1800	0,0147	10
0,4	3.14	Дырчатый кирпич, дырчатый	1000	0,025	3,5
0,45			1200	0,022	4,5
0,52			1400	0,0192	6
0,9	3.2	Керамическая плитка	2000	0,011	200

Коэффициент теплопроводности λ , ккал/(м·ч·°C)	Нумерация	Материал	Объемная масса, кг/м³	Термическое сопротивление, м²·ч·град/(м·ккал)	Ориентировочные значения коэффициента диффузионного сопротивления μ
1	2	3	4	5	6

4. СТЕКЛО

0,7	4.1	Листовое стекло (оконное, среднее значение)		0,0142	∞
-----	-----	---	--	--------	---

5. МЕТАЛЛЫ

50	5.1	Чугун и сталь		0,0002	∞
330	5.2	Медь		0,00003	>
55	5.3	Бронза, медное литье		0,00018	>
175	5.4	Алюминий		0,00000	>

6. ДРЕВЕСИНА, ВЫСУШЕННАЯ НА ВОЗДУХЕ (DIN 4074)

0,18	6.1	Дуб	800	0,066	100
0,15	6.2	Бук	800	0,067	80
0,12	6.3	Ель, сосна, пихта	600	0,083	110
0,12	6.4	Клеевая фанера	600	0,083	100

7. ИСКУССТВЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОКРЫТИЯ

0,16	7.1	Линолеум	1200	0,082	Паронизация
	7.2	Ксилолитовые и аналогичные покрытия (DIN 272)			
0,4	7.21	Подготовка и нижний слой двухслойных полов	1800	0,025	>
0,6	7.22	Промышленные полы и ходовой слой	2200	0,016	>

8. БИТУМНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

0,6	8.1	Асфальт	2100	0,017	Паронизация
0,15	8.2	Битумы	1050	0,067	>
0,16	8.3	Кровельный картон	1100	0,063	>

9. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

0,035**	9.1	Минеральные волокнистые теплоизоляционные материалы (стекло-, каменно-, шлаковолокнистые, DIN 18165)	30—200	0,286**	1,4
0,04**	9.2	Растительные волокнистые теплоизоляционные материалы (из морской травы, кокосовые, древесные, торфяные, торфяные, DIN 18165)	30—200	0,25**	2
0,06	9.3	Строительная шлаковата без наполнителя		0,167	1,4
0,12	9.4	Легкие плиты из древесной шерсти (DIN 1101) толщиной 15 мм	570	0,083	11
0,08		То же, толщиной 25 и 35 мм	460/415	0,125	6,5
0,07		То же, толщиной 50 мм и более	390/360	0,14	4
0,04	9.5	Древесно-волокнистые плиты	200	0,25	3
0,05			300	0,2	3
0,035	9.6	Пробковые плиты	120	0,286	30
0,038			160	0,63	30
0,04			200	0,25	30
0,055	9.7	Паркет из пробковых плит	450	0,182	
0,04	9.8	Плиты из волокнистого картона с пропиткой битумом	55	0,26	Паронизация*
0,035	9.9	Вспененная синтетическая смола в виде брусьев и хлопьев		0,286	
0,035*		Стиропор типа 1	13 и более	0,286**	25
0,035		> типа 2	16 и более	0,286	33
0,035		> типа 3	20 и более	0,286	42
		> типа 4	25 и более	0,286	50

* При открытых швах свободно проходит пар.

** Также в сжатом состоянии.

Коэффициент термического сопротивления $D' \times$ толщина слоя d (см) = коэффициент теплоизоляции $1/\Lambda$ (м²·ч·°C/ккал).Коэффициент диффузионного сопротивления $\mu \times$ толщина слоя d (см) = диффузионное сопротивление μd (см). Λ/λ стиропор = необходимая толщина слоя материала (см), применяемого вместо стиропора толщиной 1 см.Таблица 1. Сопротивление теплопередаче $1/\alpha$ (средние значения) по DIN 4108 (точные значения в зависимости от разности температур даны Гаммерером)

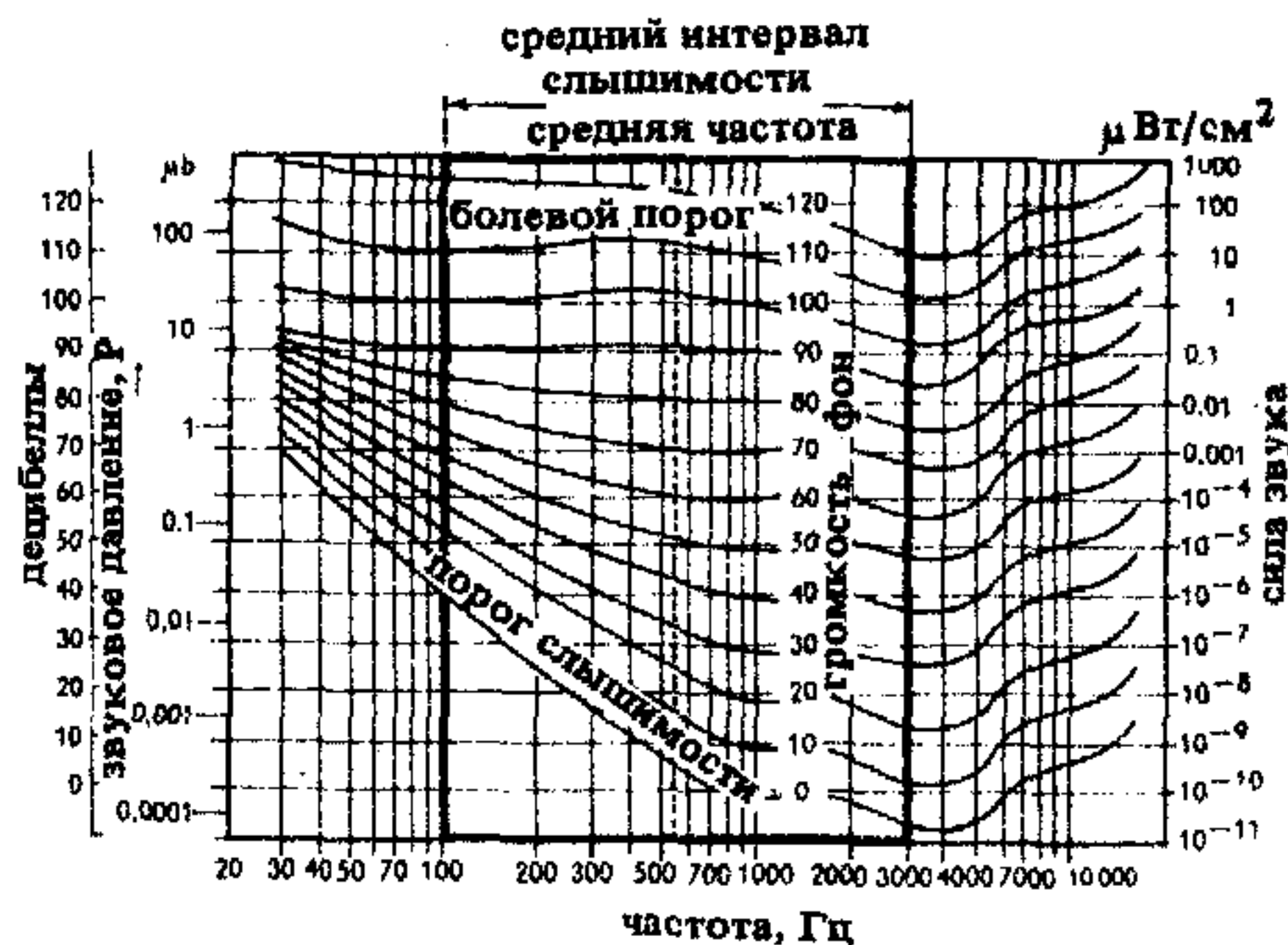
Положение воздушного слоя	Толщина, см	Коэффициент теплоизоляции $1/\Lambda' = d/D'$	$\mu\Lambda'$
Вертикальное	1	0,16	0,06
	2	0,19	0,105
	5	0,21	0,25
	10	0,2	0,5
	15	0,19	0,8
Горизонтальное, теплая сторона снизу	1	0,16	0,06
	2	0,17	0,12
	≥ 5	0,19	$\geq 0,25$
Горизонтальное, теплая сторона сверху	1	0,17	0,06
	2	0,21	0,1
	≥ 5	0,24	$\geq 0,2$

Таблица 2. Эквивалентный коэффициент теплоизоляции $1/\Lambda'$ замкнутых неподвижных воздушных прослоек

Местоположение	Сопротивление теплопередаче $1/\alpha$	Коэффициент теплопередачи α
На наружных поверхностях строительных конструкций при средней скорости ветра 2 м/с	$1/\alpha_n = 0,05$	$\alpha_n = 20$
В замкнутых помещениях при естественном движении воздуха на внутренней стороне стен, внутренних и наружных окон	$1/\alpha_{вн} = 0,14$	$\alpha_{вн} = 7$
перекрытий и полов, теплая сторона сверху	0,2	5
то же, снизу	0,14	7
в углах	0,2	5

Таблица 3. Коэффициент теплоизоляции $1/\Lambda$ окон (по DIN 4701, без учета потерь тепла через швы)

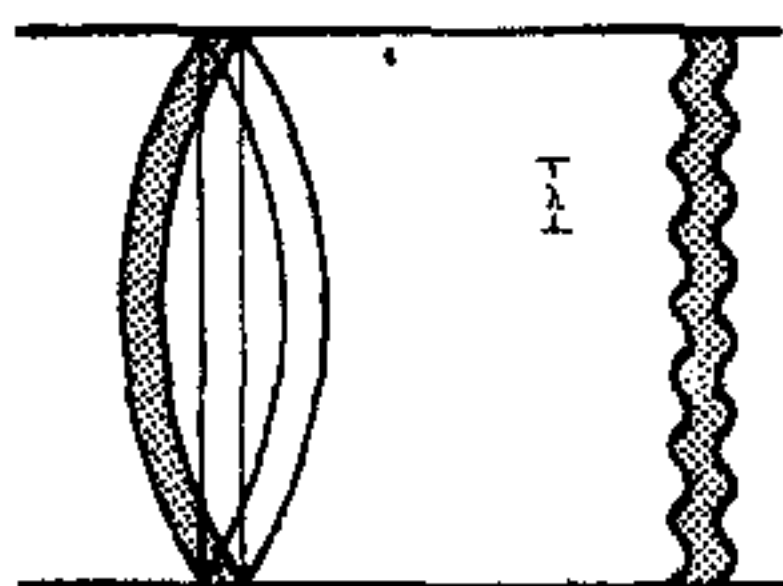
Тип окон (расстояние между переплетами)	Коэффициент теплопередачи, ккал/(м²·ч·°C)	Коэффициент теплоизоляции $1/\Lambda' = d/D'$, м²·ч·°C/ккал	Теплопотери по сравнению с одинарным деревянным окном, %
1	2	3	4
Одинарный стальной переплет, одинарное остекление			
Одинарная фрамуга в стальном переплете	5	0,96	111
Большие зеркальные окна			
Окна с бетонными переплетами			
Одинарный деревянный переплет, одинарное остекление	4,5	0,08	100
Одинарный стальной переплет, многослойное стекло толщиной 6 мм	3,4	0,15	75
То же, 12 мм	3,1	0,18	69
Стальной спаренный переплет	3	0,19	66
Одинарный деревянный переплет, многослойное стекло толщиной 6 мм	2,8	0,22	62
Стальной двойной переплет			
Одинарный деревянный переплет, многослойное стекло толщиной 12 мм	2,3	0,26	58
Стеклоблоки			
Деревянный спаренный переплет	2,2	0,32	49
Деревянный двойной переплет	2	0,36	44



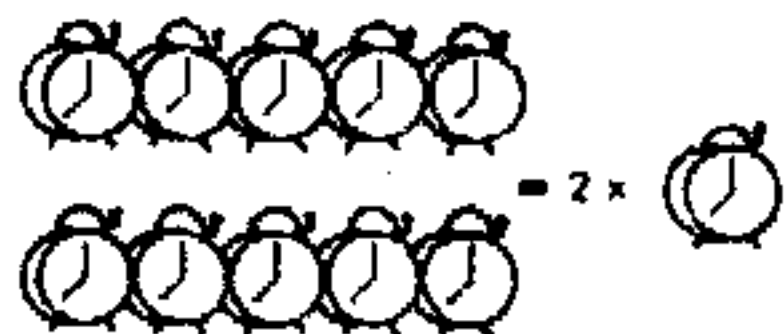
1. Взаимосвязь между уровнем громкости (в фонах), звуковым давлением (дБ), уровнем шума силы звука (дБ) и силой звука (мВт/см²)

Таблица 1. Шкала уровней громкости, фоны

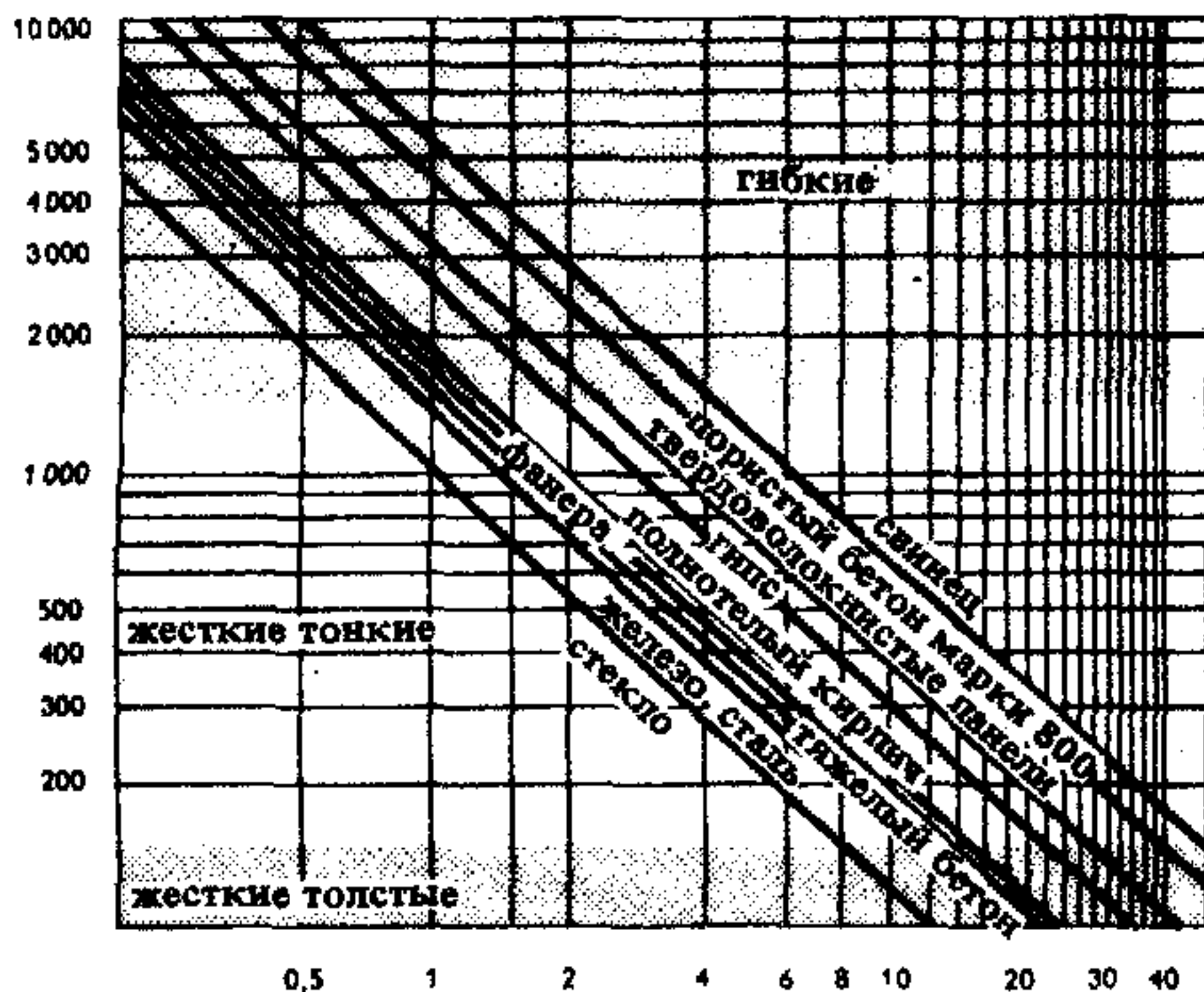
0—10	Порог слышимости
20	Шелест переворачиваемых страниц
30	Нижний уровень обычного шума в квартирах
40	Шумы средней громкости в квартирах. Негромкий разговор. Тихая улица
50	Разговор обычной громкости. Громкость музыки по радио в комнате
60	Шум тихо работающего пылесоса. Обычная громкость шума на деловых улицах
70	Шум отдельной пишущей машинки. Телефонные звонки на расстоянии 1 м
80	Оживленная транспортная магистраль. Машинное бюро
90	Шумное производственное помещение
100	Автосигнал на расстоянии 7 м. Мотоцикл
110—130	Производство с очень сильным шумом (кузнечный цех)



2. Схема распространения волн в стене при нормальной частоте. Стена не колеблется целиком (а — неправильно), колебания связаны с перемещением частей стены относительно друг друга; б — правильно)



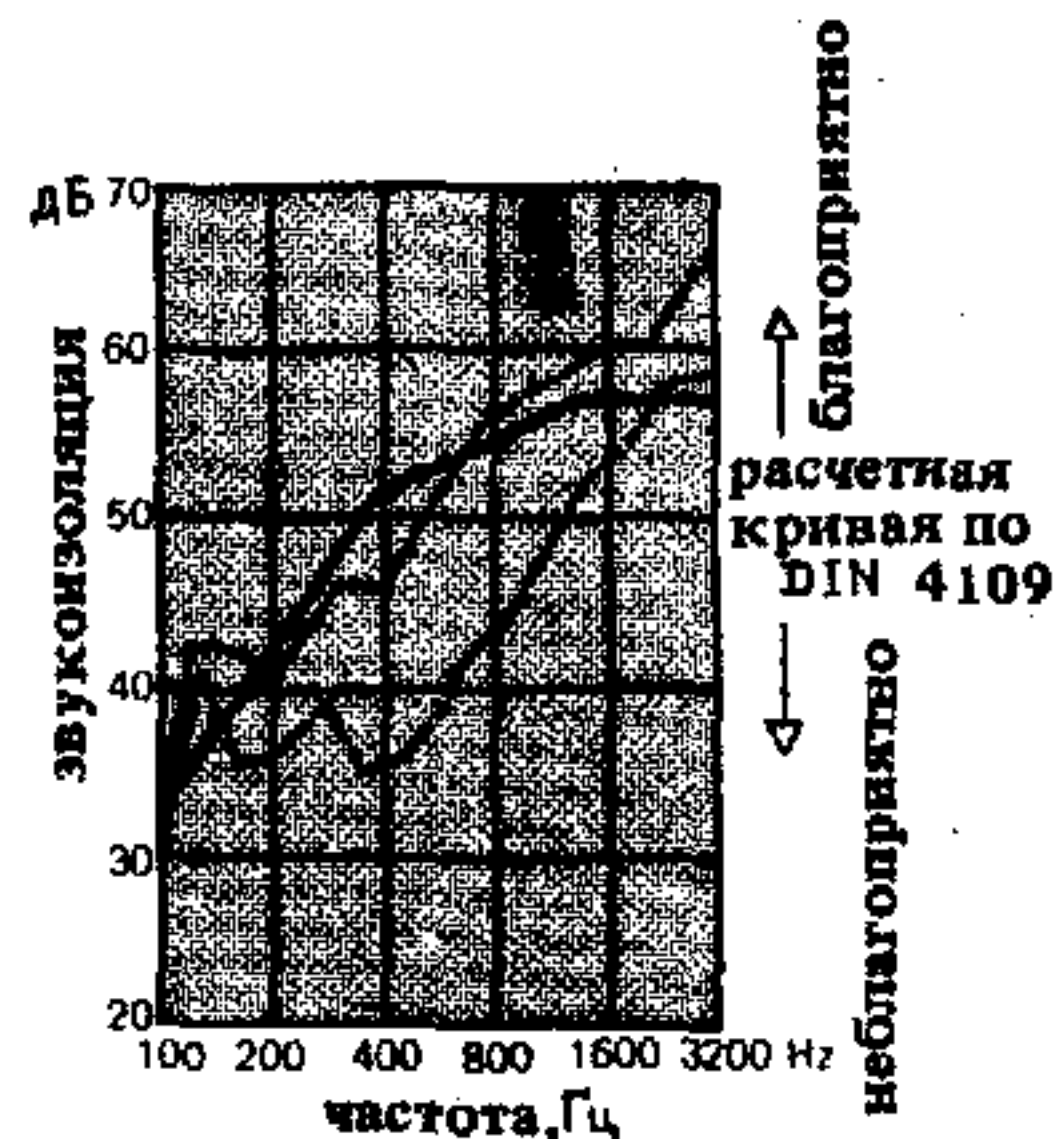
3. Ощущение громкости звука: при возрастании силы звука в десять раз ухо ощущает лишь удвоенный шум



4. Граничные частоты для плит из различных материалов



5. Панель из штукатуренного древесноволокнистого материала. Состав: сухая штукатурка 1,5 см, пемзобетон 11,5 см, теплоизоляция (стиропор) 1,6 см, легкая древесноволокнистая плита 2,5 см², гипсопесчаная штукатурка 2 см. Полная толщина 19,5 см



6. Звукоизолирующая способность стены по измерениям проф. Гезеле. При отсутствии облицовки значения уменьшаются на 7 дБ, при наличии — увеличиваются на 2 дБ

К звукоизоляции относятся все мероприятия, препятствующие попаданию звука от его источника к уху человека. Полностью изолировать человека от звуков невозможно.

Если источник звука и человек находятся в одном помещении, то применяются звукопоглотители, если в разных, то в принципе можно выполнить звукоизоляцию.

Различают изоляцию от воздушного шума (когда источник звука влияет прежде всего на окружающий его воздух) и изоляцию от корпусного шума (когда источник звука воздействует непосредственно на строительную конструкцию).

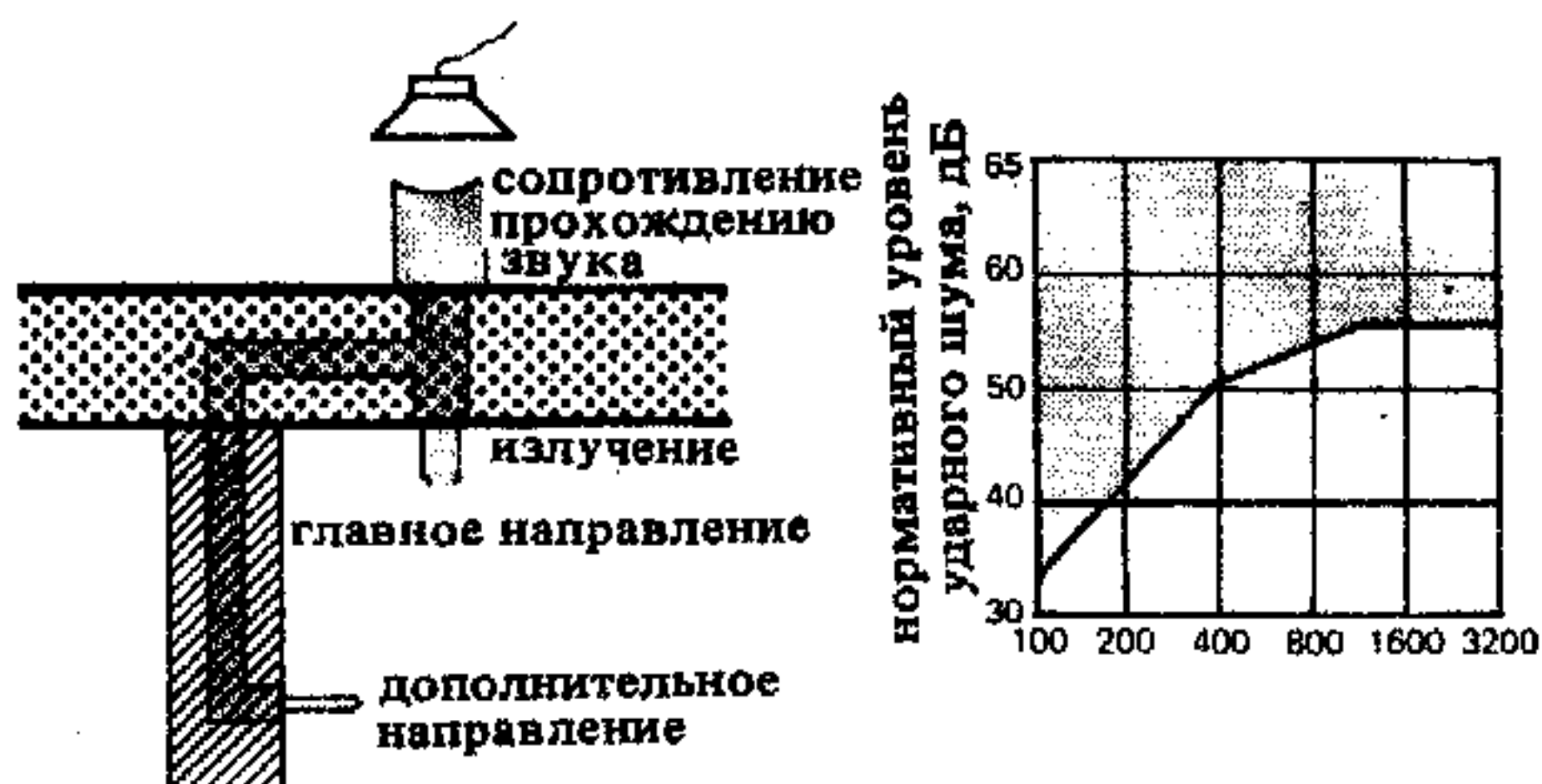
Пример воздушного шума: радио, крик, громкая музыка. Пример корпусного шума: шум шагов, шум в трубах, игра на рояле (последнюю также считать воздушным шумом).

Требования к звукоизоляции приведены в DIN 4109 (для воздушного шума на с. 90, для корпусного — с. 91). Звук распространяется в виде механических колебаний волнами, которые вызывают ничтожное, измеряемое микробарами (мбр) увеличение или уменьшение давления по сравнению с атмосферным (1,03333 кг/см²). Изменение давления при громком разговоре около 1/1 000 000 атм.

Человеческий слух воспринимает звуковые колебания в диапазоне частот от 20 до 20 000 Гц; 1 Гц равен 1 колебанию в 1 с.

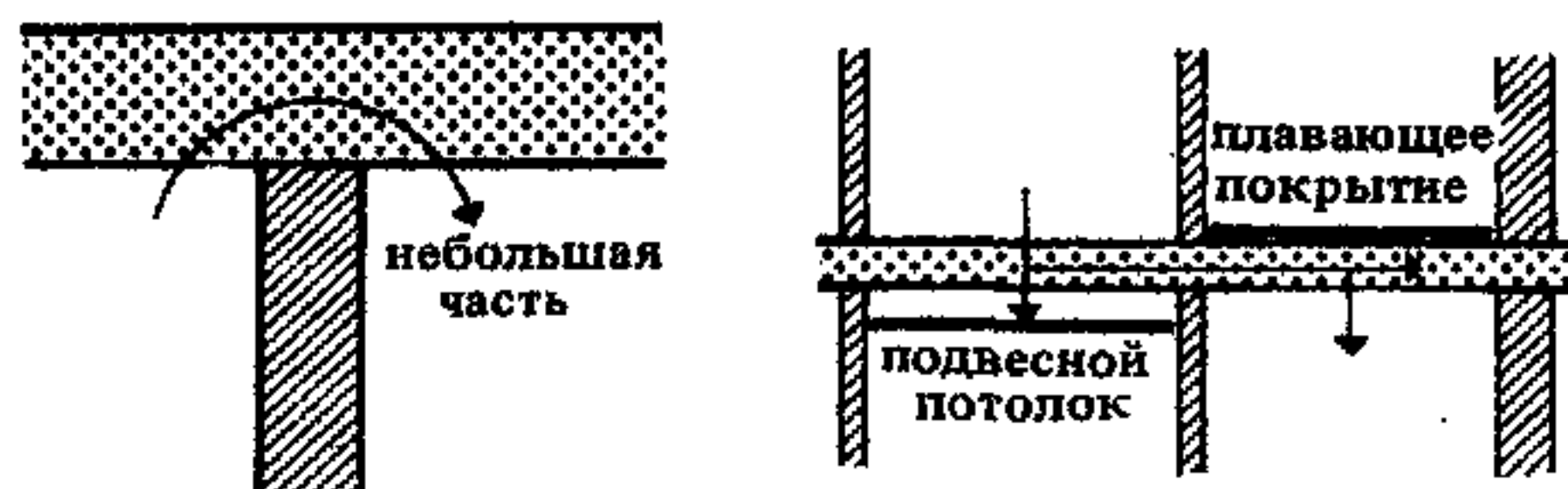
Однако в строительстве важен диапазон от 100 до 3200 Гц, к которому наиболее чувствительно человеческое ухо. Область звуковых давлений, воспринимаемых человеком, простирается от порога слышимости до порога болевых ощущений (рис. 1) и делится на 12 частей = 12 бел (Б) (названы в честь А. Белла, изобретателя телефона).

Поскольку 1/10 бел = 1 децибел (дБ) еще воспринимается человеческим слухом при частоте в 1000 Гц как разница звуковых давлений, то децибел принят в качестве единицы измерения уровня силы звука, отнесенного к единице площади (рис. 1).



1. Распространение воздушного шума

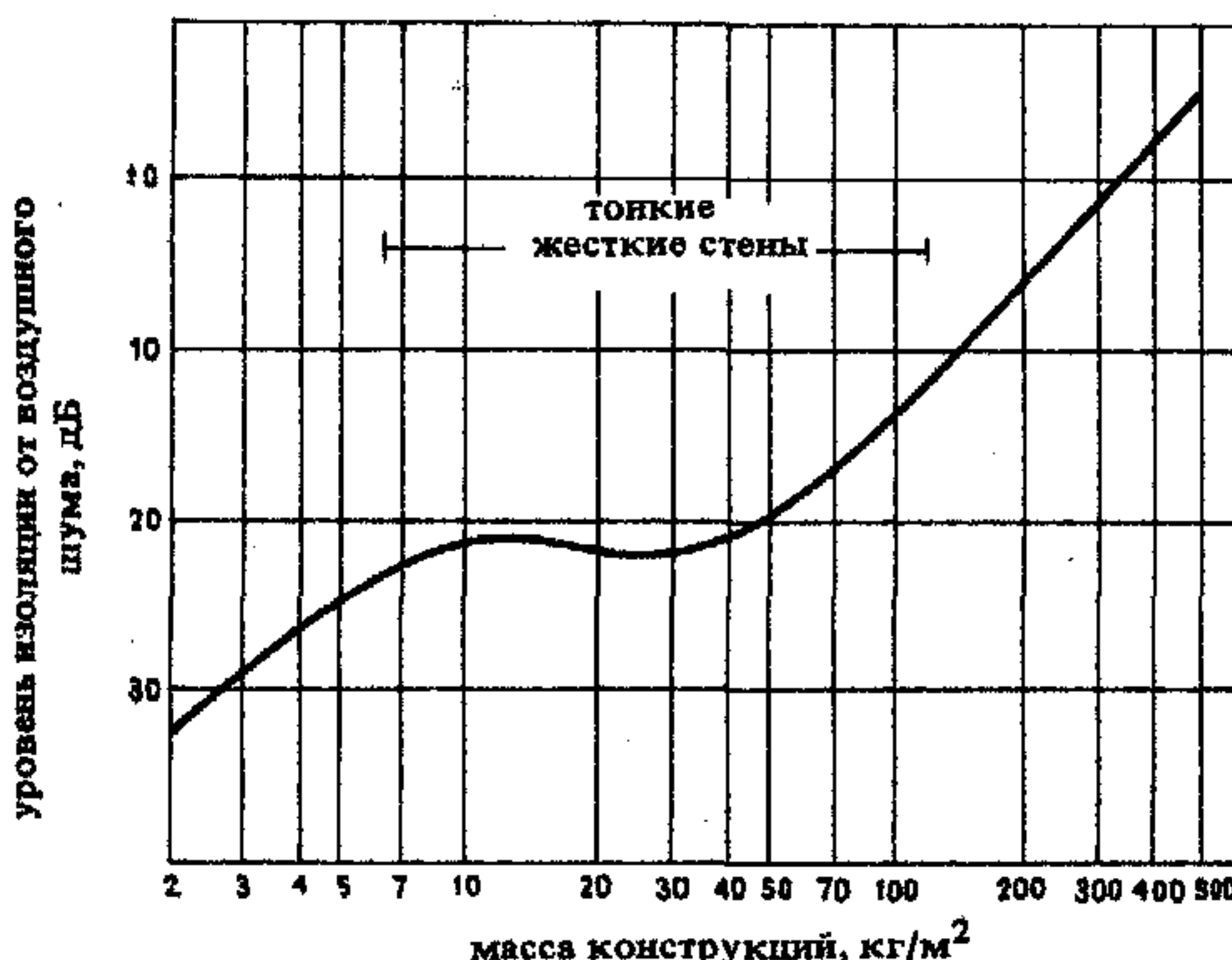
2. Расчетная кривая воздушного шума



3. Дополнительное направление распространения воздушного шума в местах примыкания конструкций, когда их масса превышает 250 кг/м²

4. Распространение звука по диагонали

кирпичные блоки с вертикальными пустотами (1400 кг/м³)	6,25	11,5	24	36,5
легкий бетон (800 кг/м³)	6,25	12,5	25	37,5
клинкер (1900 кг/м³)	6,25	11,5	24	
стекло (2600 кг/м³)	0,3	0,5	1	1,5
прессованный асбестоцемент (2000 кг/м³)	0,3	0,5	1	1,5
гипс (1000 кг/м³)	1	1,5	2	3
фанера (600 кг/м³)	0,3	0,5	1	1,5



5. Изоляция от воздушного шума, толщина и масса конструкций (по Гёзеле)

Таблица 1. Звукоизоляция дверей и окон по DIN 4109

Одноразовая дверь с порогом без специального уплотнения	До 20 дБ
Тяжелая дверь с порогом и хорошим уплотнением	До 30 »
Двойная дверь с порогом без специального уплотнения, открывание поочередное	До 30 »
Тяжелая двойная дверь с порогом и уплотнением	До 40 »
Одноразовое окно без дополнительного уплотнения	До 15 »
Одноразовое окно с хорошим уплотнением	До 25 »
Окно с двойным переплетом без специального уплотнения	До 25 »
То же, с хорошим уплотнением	До 30 »

При воздушном шуме звуковые волны воздействуют на строительную конструкцию (рис. 1), поэтому возрастает влияние граничной частоты на звукоизоляцию (рис. 5). Расчетная кривая по DIN 4109 показывает, какой должна быть минимальная разность уровня шума при различных частотах, чтобы при применении звукоизоляции полностью исключить воздушный шум. Заданные значения приведены на рис. 2, требуемая толщина стен — в табл. 2.

На изоляцию от воздушного шума в большей мере, чем от ударного, отрицательно влияют «побочные» пути распространения звука. Проведенные испытания показали, что «побочными» проводниками звука служат жесткие пластины массой 10–160 кг/м². Поэтому перегородки в жилых домах, к которым примыкают эти пластины в поперечном направлении, должны иметь массу не менее 400 кг/м² (если примыкающие стены имеют массу более 250 кг/м², то перегородки могут весить 350 кг/м²).

Двери и окна с низким коэффициентом звукоизоляции (табл. 1) отрицательно влияют на изоляцию от воздушного шума. Даже при небольшой доле проемов в площади стен результирующий коэффициент звукоизоляции получается ниже арифметического среднего, подсчитанного отдельно для стен и проемов. Поэтому прежде всего следует повысить звукоизоляцию оконных и дверных проемов. Звукоизоляцию стен можно повысить путем установки гибкой рубашки (см. с. 89, рис. 5). Двойные стены имеют высокую звукоизолирующую способность в том случае, когда они изготовлены из пластичных упругих материалов и обладают достаточной гибкостью (см. с. 89, рис. 5) или когда их слои не соприкасаются между собой по всей поверхности. Гибкие пластины относительно нечувствительны к небольшим звуковым мостикам (в противоположность жестким пластинам). Для двойных звукоизолирующих стен всегда следует применять типовые конструкции. Оштукатуривание изолирующих материалов нормальной твердости (например, стиропора) значительно ухудшает звукоизолирующую способность.

Таблица 2. Минимальная толщина односторонних стен, при которой достигается полная изоляция от воздушного шума

№№ п. п.	Нормы	Наименование	Объемная масса, кг/м³	Масса стен > 400 кг/м³		Масса стен > 350 < 400 кг/м³	
				минимальная толщина без штукатурки, мм	масса с штукатуркой, кг/м²	минимальная толщина без штукатурки, мм	масса с штукатуркой, кг/м²
1	2	3	4	5	6	7	8
Кладка из полнотелых, дырчатых и пустотелых блоков, оштукатуренная с двух сторон, штукатурка толщиной 15 мм							
1	DIN105	Дырчатый и полнотелый кирпич	1,2	365	450	300	380
2			1,4	300	445	240	360
3		Полнотелый кирпич	1,8	240	405	—	—
4		Клинкер для надземного строительства	1,9	240	485	—	—
5			2,0	240	505	—	—
6	DIN106, лист 1	Силикатные пустотные блоки	1,2	300	440	300	380
7			1,4	300	445	240	360
8		Силикатный дырчатый кирпич	1,4	240	405	—	—
9			1,6	240	440	—	—
10		Силикатный полнотелый кирпич	1,8	240	485	—	—
11			2,0	240	530	—	—
12	DIN398	Шлаковые камни	1,8	240	485	—	—
13		Твердые шлаковые камни	1,9	240	505	—	—
14		Двух- или трехкамерные пустотные блоки, устанавливаются в перевернутом положении, пустоты заполняются песком	1,2	300	420	—	—
15			1,4	300	460	—	—
16			1,6	240	410	—	—
17	DIN18151	Без заполнения песком	1,6	240	440	—	—
18			1,8	365	400	—	—
19			1,2	—	—	—	—
20			1,4	—	—	300	355
21			1,6	300	430	240	380
22	DIN18152	Легкобетонные полнотелые блоки	0,8	365	405	—	—
23			1,0	365	450	300	380
24			1,2	300	445	240	360
25			1,4	240	405	—	—
26			1,6	240	440	—	—
27	DIN4165	Газо- и пенобетонные блоки	0,6	—	—	490	390
28			0,8	490	485	365	380
Легкие бетоны и бетоны в бесшовных стенах и панелях высотой на этаж, оштукатуренные с двух сторон, штукатурка толщиной 15 мм							
29	DIN4164	Газо- и пенобетон	0,6	—	—	500	350
30			0,8	437,5	400	375	350
31			0,8	437,5	400	375	350
32		Пемзобетон, бетон на каменноугольном, кирпичном щебне и др.	1,2	375	425	312,5	360
33			1,4	312,5	425	250	—
34	DIN4232	Пористый бетон, бетон с вспорытым заполнителем (например, гравием)	1,4	250	400	—	350
35			1,6	250	450	187,5	350
36			1,7	250	475	187,5	370
37			1,8	250	425	—	—
38			1,9	250	475	187,5	370
39	DIN1047	Бетон на гравии или мелком щебне с плотной структурой	2,2	187,5	480	150	380
40			2,4	—	—	—	—
41			2,6	—	—	—	—
42			2,8	—	—	—	—
43			3,0	—	—	—	—

Перегородки

Панельные перегородки массой менее 350 кг/м^2 должны разделяться швами на всю глубину здания. Минимальная масса таких перегородок 150 кг/м^2 , а в многоэтажных жилых домах — 200 кг/м^2 . Если деформационный шов начинается от фундамента, то от дополнительных мер можно отказаться; если же шов начинается на высоте уровня местности, то подвальное перекрытие должно иметь плавающий слой или пружинящее покрытие пола (как в междуэтажных перекрытиях). Швы заполняют лентами из пеноматериалов и т.п.; предпочтительнее регулируемые швы. Даже небольшие соединительные элементы понижают звукоизоляцию жестких панелей.

Стены смешанных конструкций

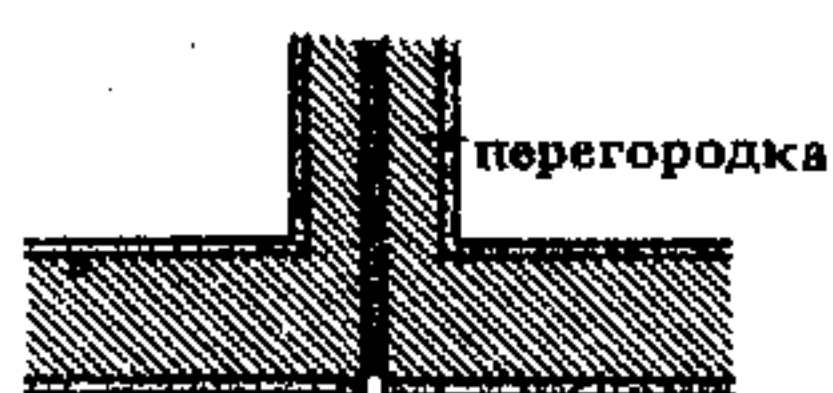
К ним относится всякая стена с участками различной звукоизолирующей способности, например с дверью. В таком случае значение общей звукоизолирующей способности $D_{\text{общ}}$ определяют путем уменьшения максимального значения звукоизолирующей способности стены на величину R (рис. 10).

Последовательность расчета.

1. Определяют разницу между значениями звукоизолирующей способности отдельных участков стены $D_2 = D_1 - D_2$, где принимается, что $D_1 > D_2$.



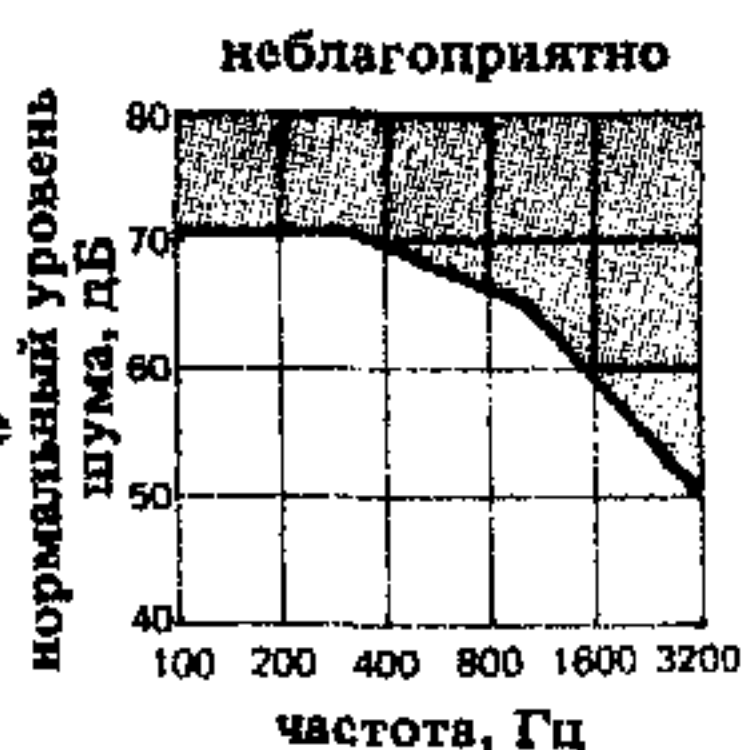
1. Разрез перегородки



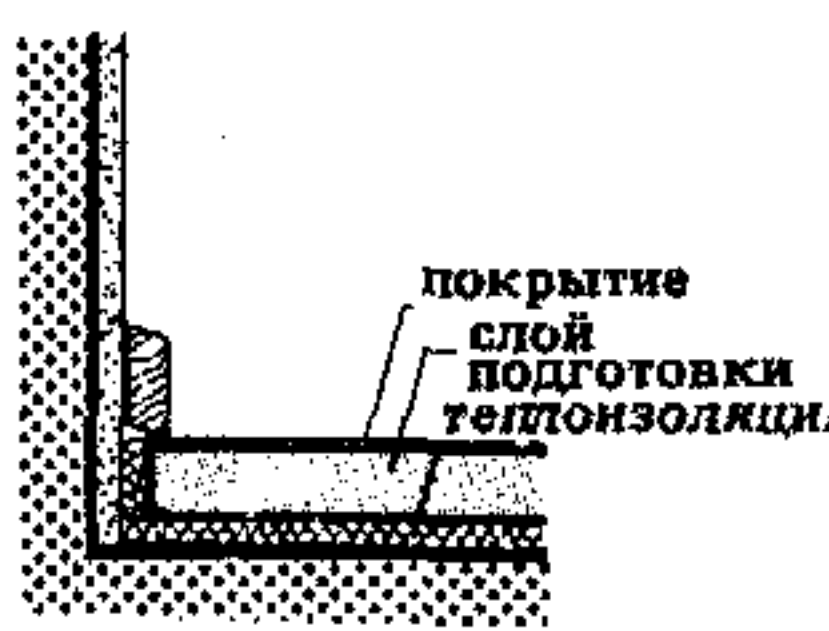
2. Устройство перегородок при однослойной наружной стене (вид в плане)



3. Передача корпусного шума



4. Теоретическая кривая ударного шума



5. На необработанную поверхность нанесена штукатурка перед подготовкой. Обязательна для пористых стен



6. Штукатурка после подготовки в сплошных стенах



7. Плавающий пол из керамической плитки (ванные)

Линолеум толщиной 2,5 мм — 7 дБ
То же на строительном каркасе — 14 дБ
Пробковый линолеум в зависимости от толщины — 15–18 дБ
Резиновый слой толщиной 5 мм с резиновой прокладкой толщиной 4 мм — 24 дБ
Ковровый пол под плинтус — 20–30 дБ

2. Вычисляют отношение площадей разных по звукоизоляции участков стены.

3. Величину снижения звукоизолирующей способности R находят на пересечении кривой отношения площадей с вертикалью, соответствующей значению разницы их звукоизолирующих способностей D_2 .

Изоляция от ударного шума

При ударах перекрытие приводится в колебательное движение (рис. 3). Теоретические кривые по DIN 4109 (рис. 4) показывают нормальный уровень шума, который может быть услышан в нижележащем помещении, когда сверху работает «нормальная» ударная установка. К полученным значениям следует добавить 3 дБ с учетом возраста конструкций. Обычно плавающее покрытие, обеспечивающее изоляцию от ударного шума, имеет следующую конструкцию: бесшовный мягко пружинящий изоляционный слой, покрытый защитным слоем, затем стяжка из цементного раствора, ангидрита, литого асфальта (толщины этих слоев приведены в DIN 4109, с. 3).

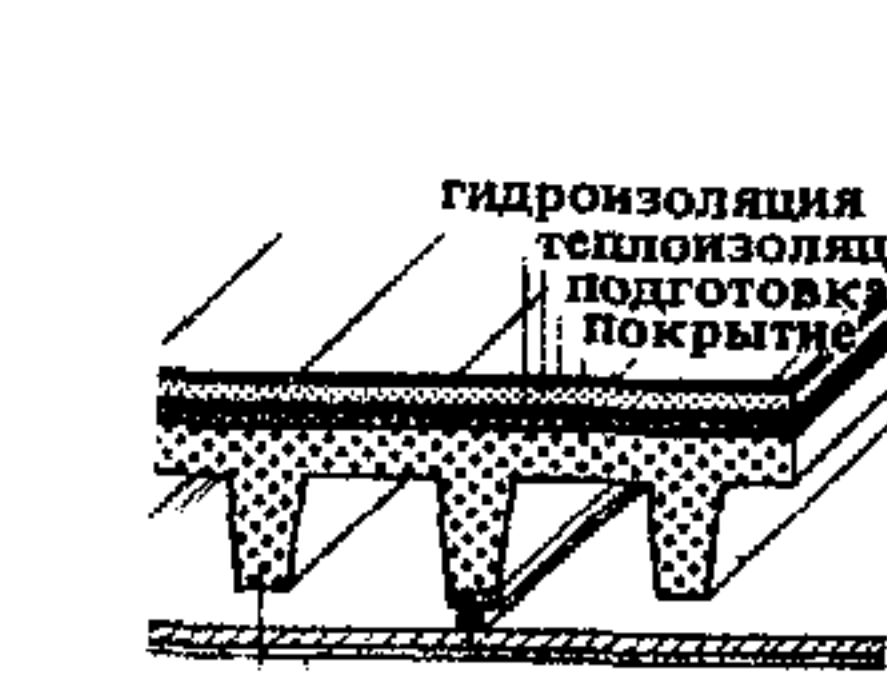
Воздушный шум, возникающий одновременно с ударным, воспринимается всеми видами покрытий (группа I и II, см. с. 85 табл. 1). Края пола всегда должны быть подвижными, их заполняют долговечной замазкой (это относится также к полам из керамической плитки, рис. 7). Чем более жесткий на изгиб слой покрытия, тем более чувствителен он к звуковым мостикам.

В перекрытиях с достаточной изоляцией от воздушного шума (группа II, см. с. 85, табл. 1) можно достичь достаточной звукоизоляции от ударного шума путем укладки пружинящего слоя.

Величина звукоизоляции стандартных чистых полов (DIN 4109, лист 5)

линолеум толщиной 2,5 мм	7 дБ
то же, на строительном картоне	14 »
пробковый линолеум в зависимости от толщины	15–18 »
резиновый слой толщиной 5 мм с резиновой подкладкой толщиной 4 мм	24 »
ковровый пол под плинтус	20–30 »

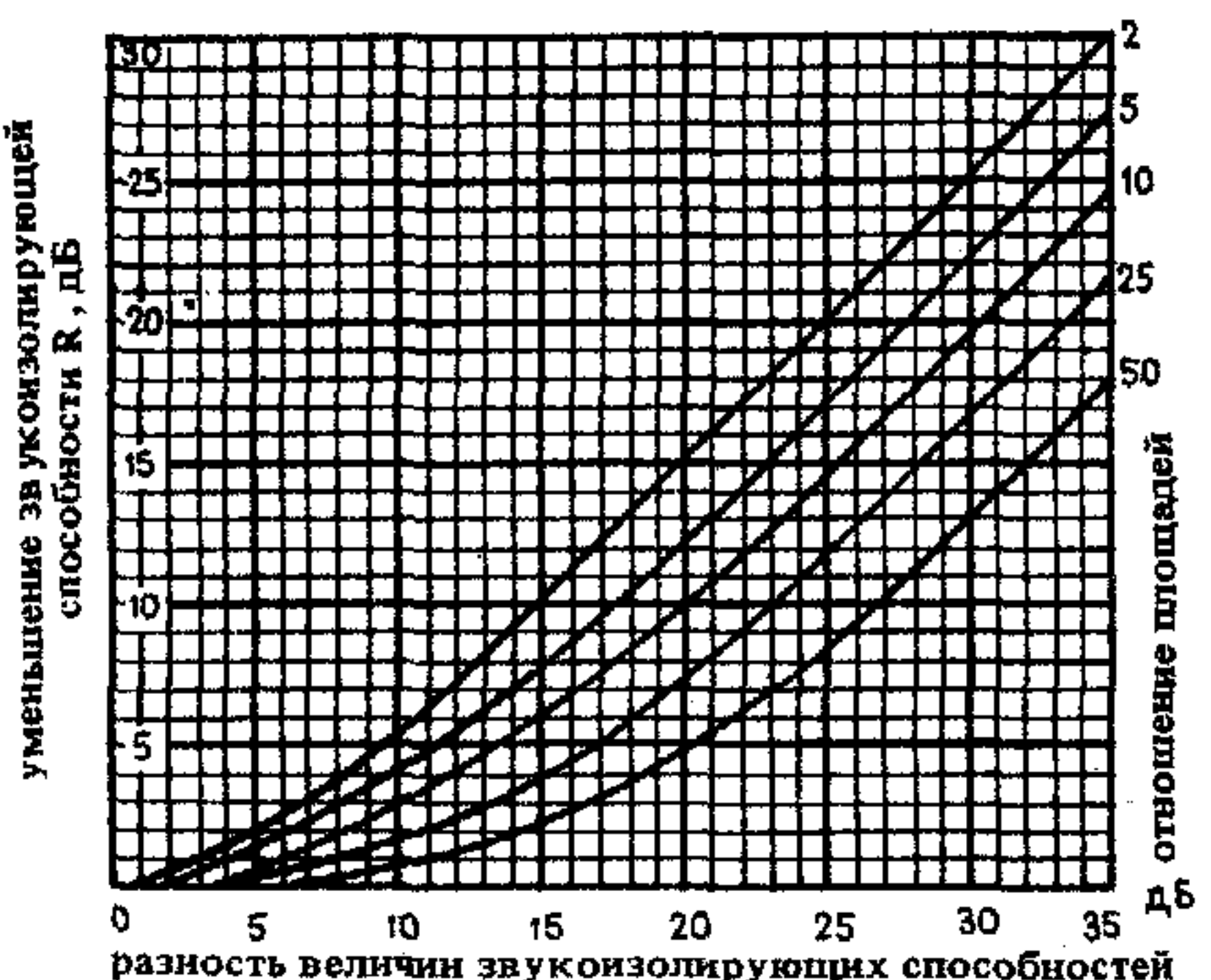
Перекрытия группы I могут получить свойства группы II при устройстве гибкого подвесного потолка (рис. 8).



8. Гибкий подвесной потолок



9. Звукоизолирующая способность против ударного шума перекрытия по деревянным балкам



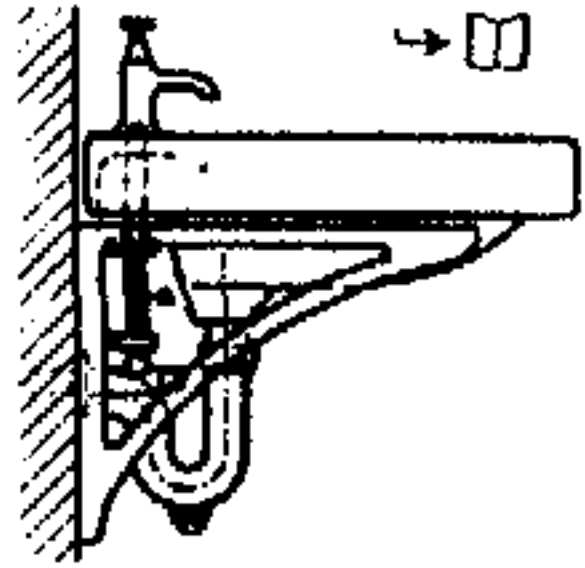
10. Определение значения уменьшения звукоизолирующей способности (по Целлеру)



1. Устранение шумов при помощи интерференции $\lambda = 340/f$ м (f, Гц) (по Тинхаузу)



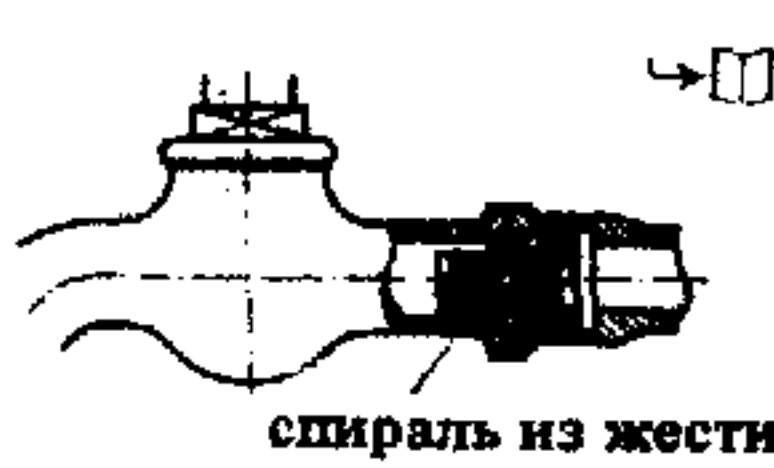
2. Применение звукопоглощающих материалов в каналах (абсорбирующий звукопоглотитель), по Тинхаузу



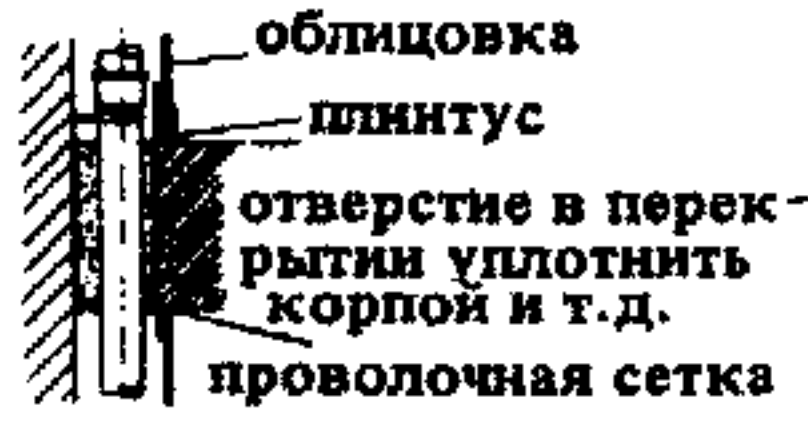
3. Резиновый шланг (а) с обмоткой из стальной проволоки



4. Звукоизоляционная прокладка



5. Дресселирование струи спиралью из жести



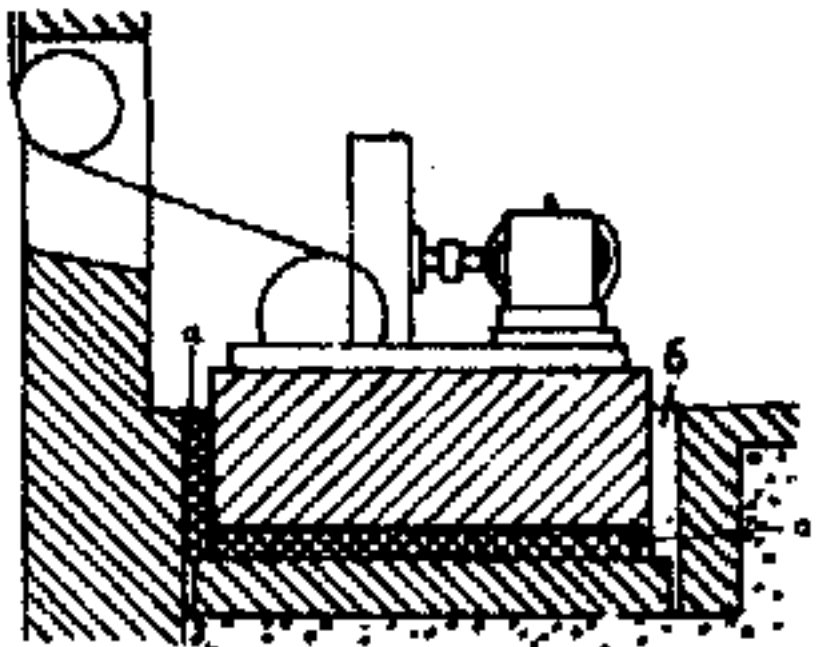
6. Изоляция труб при пропуске через перекрытие



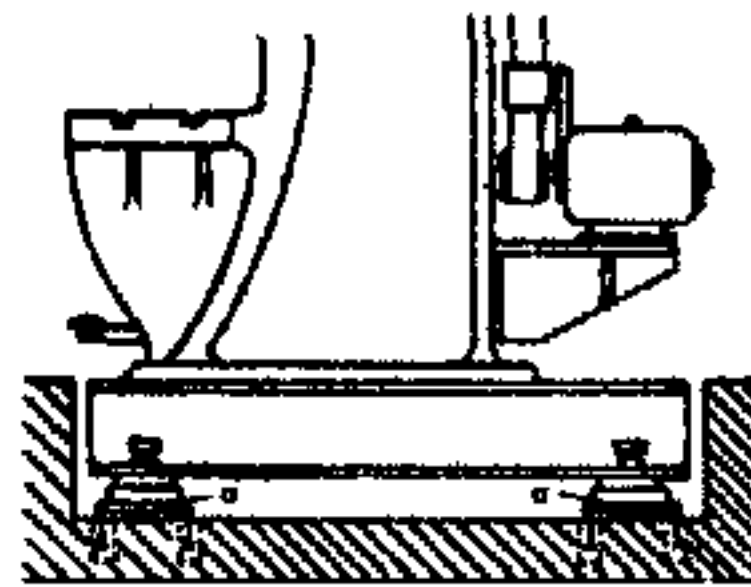
7. Звукоизоляционная прокладка в узле соединения фланцев



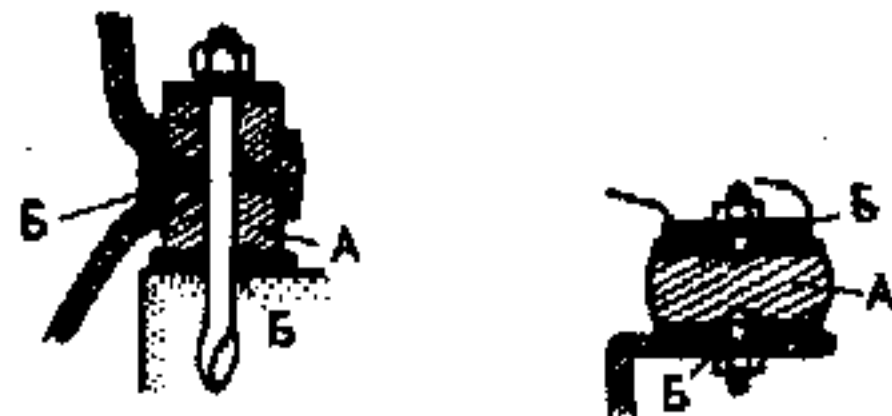
8. Изоляция труб при креплении к кладной пробке в стене



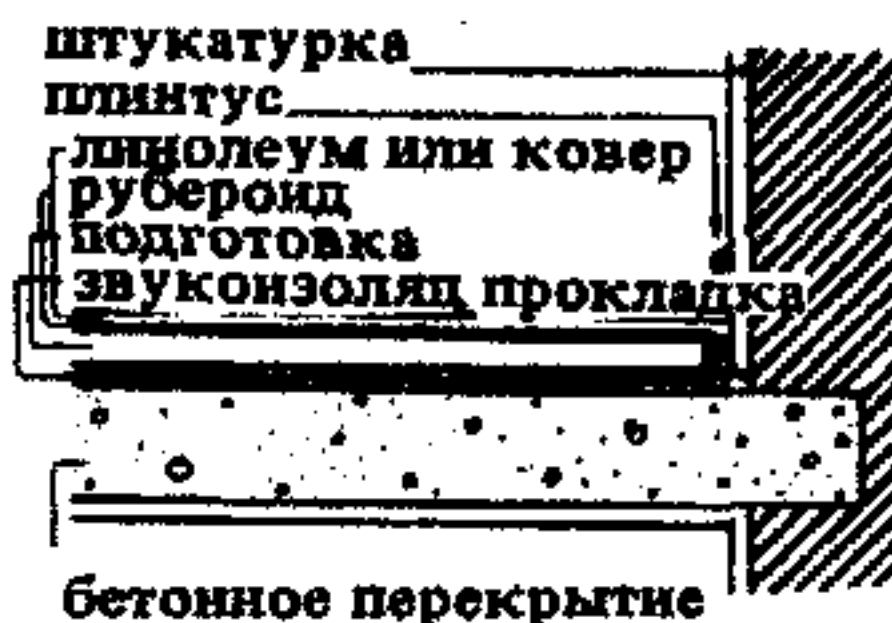
9. Фундамент под оборудование (например, в машинном отделении лифта в подвале), по Тинхаузу:
а — звукоизолирующий материал;
б — воздушная прослойка



10. Установка оборудования на виброгасителях, например прессах (по Дитеру)
а — пружины



11. Звукоизолирующее крепление оборудования (по Целлеру)
А — звукоизоляция от корпусного шума, например резина; Б — воздушная прослойка или прокладка из изоляционного материала



12. Устройство плавающей подготовки, препятствующей распространению ударного шума



13. Изоляция водосточной трубы в толще покрытия с плавающей подготовкой (по Целлеру)

Корпусные шумы. Инфразвуками называют не воспринимаемые ухом человека упругие колебания низкой частоты. Землетрясения и сотрясения, вызываемые транспортом, частотой 10–50 Гц в большинстве случаев не воспринимаются слухом, но являются источником беспокойства.

Чтобы построить удовлетворительное с точки зрения зву-

коизоляции здание, надо учитывать помимо конструктивных элементов (см. с. 77) местные технические условия и инженерные сети, являющиеся источниками шума и вибраций.

В борьбе с распространением по зданию корпусного шума применяют плавающую бесшовную подготовку или стяжку в перекрытиях (рис. 12–13), а также звукоизолирующие прокладки при установке и монтаже инженерных сетей и оборудования (рис. 2–10). При этом важно, чтобы изолирующая прокладка не была слишком уплотнена (рис. 11–13). Упругие материалы должны иметь возможность свободно сжиматься и давать минимальный прогиб под статической нагрузкой от установленного на них оборудования (рис. 10). Крепление трубопроводов осуществляется на хомутах с изоляционными прокладками из полос волокнистых материалов.

Возникающие в трубопроводах шумы могут быть снижены за счет:

увеличения сечений в целях снижения давления и скорости движения в трубах;

устранения резких поворотов и изменений сечения;

применения усовершенствованных типов кранов, вентилях, задвижек и т. п.;

размещения трубопроводов в хозяйственных и подсобных помещениях (кухнях, уборных, лестничных клетках и т. п.).

Возникающие в трубопроводах шумы ограниченного диапазона частот могут быть устранены путем интерференции (рис. 1). Во избежание распространения корпусного шума соединения кранов и труб надо делать гибкими (парусиновые или резиновые манжеты и т. д.). Трубопроводы, служащие источником распространения шумов, не следует крепить к перегородкам и металлическим несущим конструкциям.

Звукоизолирующая способность междуэтажных перекрытий в жилых зданиях от ударного шума должна обеспечивать измеренный приборами уровень громкости ≤ 85 фон под перекрытием при работе на нем стандартной ударной машины. Уровень громкости, возникающий под перекрытием от шагов, зависит от вида обуви и составляет 25–40 фон. Ударный шум согласно DIN 4110, D11 измеряется в фонах (единицах громкости). В настоящее время еще нет надежных методов предварительного расчета перекрытий на ударный шум. Испытания готовых перекрытий осуществляются по DIN 4110, D11 с помощью стандартной ударной машины.

В качестве звукоизоляции от ударного шума применяют мягкие покрытия полов (ковры и т. п.). Звукоизолирующая способность ксилолитовых полов такая же, как и цементных. Войлочные и подобные прокладки под линолеум снижают уровень громкости от ударного шума примерно на 3 фона.

Применение упругих прокладок в конструкции перекрытия, например плавающей бесшовной подготовки (рис. 12, 13) или прокладок под лагами (см. с. 91, рис. 10), обеспечивает удовлетворительную звукоизоляцию перекрытия. Звукоизоляционные прокладки из разных материалов (табл. 1) должны быть доведены по контуру помещения до верхней отметки пола так, чтобы подготовка как бы «плавала в ванне»; при этом не должно быть плотного примыкания элементов конструкции пола к стенам (рис. 12).

К лучшим звукоизоляционным материалам относятся маты из минеральных и органических волокнистых веществ. Недостаточно обеспечивают (или совсем не обеспечивают) звукоизоляцию от ударного шума древесностружечные плиты, войлочные маты на битуме и другие прокладки, не обладающие достаточной эластичностью.

Крепление или подвеска к потолку штукатурки по сетке (система Рабитца) не улучшает звукоизоляции перекрытия.

Звукоизоляция перекрытий должна также учитывать изоляцию от воздушного шума (см. с. 91).

Таблица 1. Снижение уровня громкости ударных шумов упругими прокладками под плавающей подготовкой (по Тинхаузу)

Материал упругой прокладки	Толщина, мм	Обычные размеры, м	Снижение уровня громкости ударного шума, фон	Требуемая толщина цементной или гипсовой стяжки, см
Войлочные маты на битуме	15	1×20	3	2,0–2,5
Пробковые плиты, оклеенные толем	20	1×0,5	9	3,5–4,0
Маты:				
из шлаковаты по волнистому картону	8	1×10	10	4,0–4,5
из морской травы	13	1×25	20	4,5–5,0
из стекловаты	15	1×10	23	4,5–5,0
из стекловаты	20	1×10	25	5,5–6,0
из морской травы	20	1×25	25	5,5–6,0

Хорошая слышимость — одно из важнейших требований, которому должны удовлетворять помещения для собраний, концертов и т.д. Это требование можно считать выполненным, если в любой точке помещения воспринимается без искажения звук, возникший в другой точке (без эхо и с благоприятной длительностью реверберации).

Слышимость зависит от: 1) формы помещения; 2) его размеров; 3) конструктивного решения; 4) размещения источника звука; 5) времени реверберации.

1. **Форма помещения.** Благоприятна прямоугольная или трапециевидная форма плана. В последнем случае направление звука должно совпадать с высотой трапеции (рис. 5).

Неудовлетворительны в акустическом отношении помещения квадратной, круглой и овальной формы в плане, покрытия в виде выпнутых поверхностей большого размера (купола, цилиндрические своды и т.п., концентрирующие отраженные звуковые волны), экранирующие поверхности (ярусы с большим выносом, глубокие ниши и т.п., рис. 2, 3).

Благоприятны для слышимости поднимающиеся от сцены ряды мест, членения поверхностей стен и потолков (если это не создает экранирования размещенных под ними мест и не поглощает звуковых колебаний высокой частоты — обертонов).

2. **Размеры помещений.** Предел слышимости обычной речи по ее направлению находится между 20 и 30 м, в стороны — 13 м, в обратном направлении — 10 м.

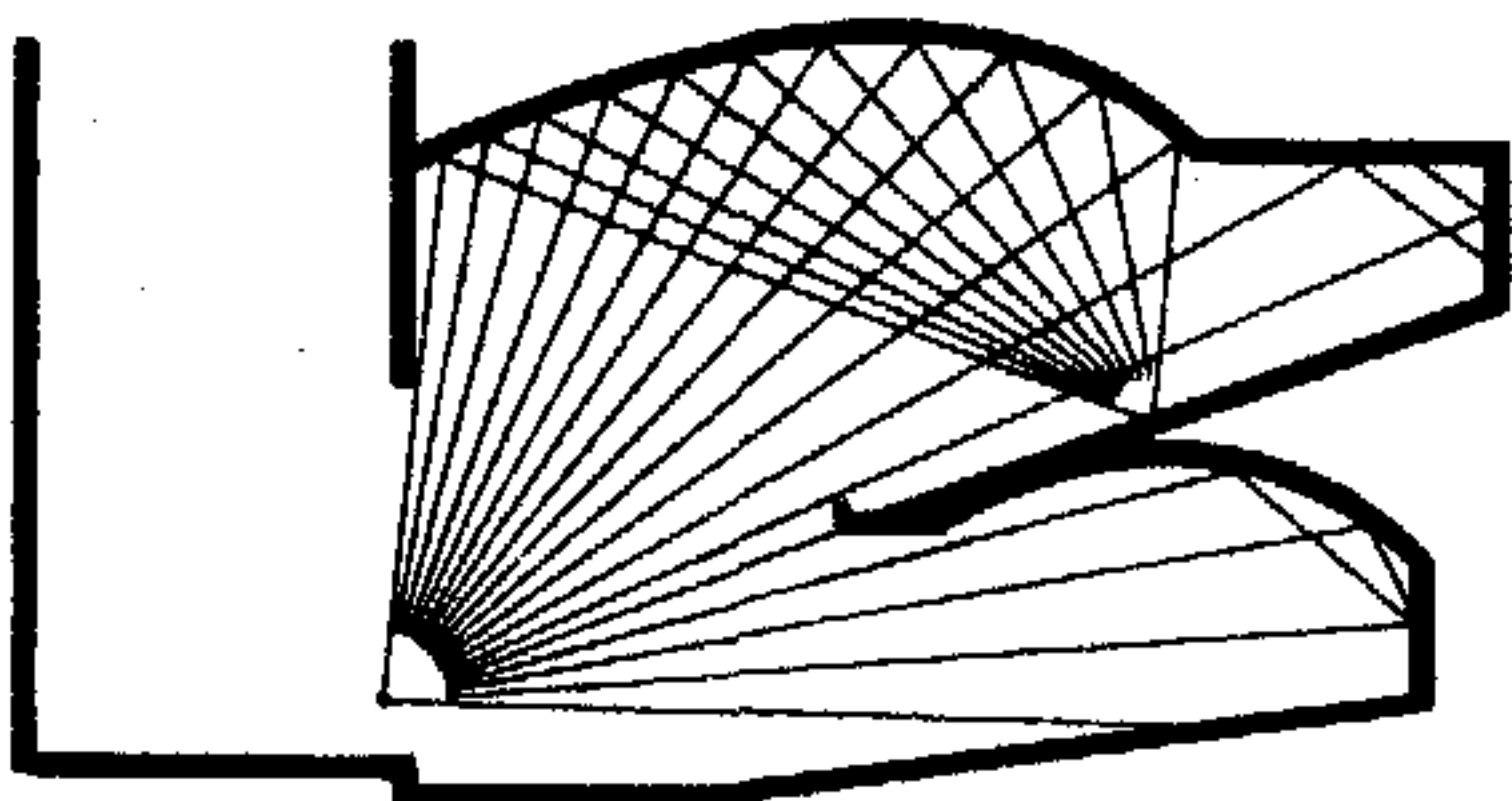
Предельные объемы помещений без привлечения технических средств усиления звука (громкоговорителей, отражателей и т.п.): для драматических представлений — до 18 000 м³, для музыкальных мероприятий — до 30 000 м³. Высота помещений желательна не более 8 м. Отношение высоты помещений к их длине и ширине желательно принимать 2:3:5 и $1:\sqrt[3]{2}:\sqrt[3]{4}$, а также по соотношениям, близким к золотому сечению, например 3:5:8.



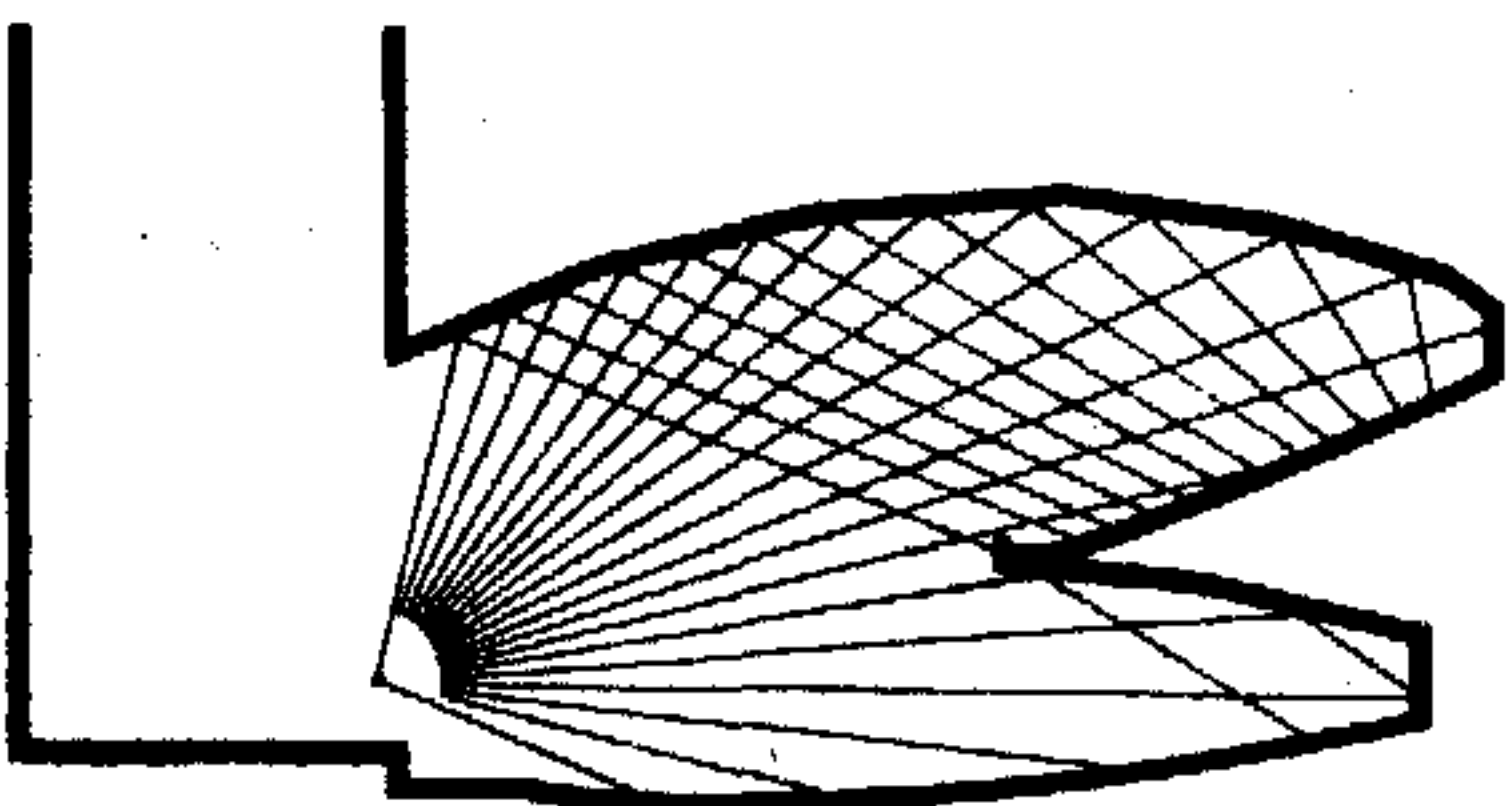
Пучок лучей от источника звука:

1. Законы отражения пучка лучей

Поверхность	Плоская	Выпуклая	Вогнутая
Отражение	Рефлексируется	Диспергируется	Фокусируется
Изменение	Без изменения	Увеличивается	Уменьшается



2. Вогнутая поверхность потолка с акустической точки зрения неблагоприятна



3. Ломанный профиль потолка создает равномерное распределение звука

3. **Конструктивное решение.** Массивные потолки и стены, как правило, менее благоприятны в акустическом отношении, чем резонирующие облицовки на отnose (из дерева или искусственных плит). При устройстве систем отопления и вентиляции следует избегать восходящих токов теплого воздуха на пути звука от источника к слушателям.

Для задних стен зрительного зала, в покрытиях куполов, барьеров ярусов лож следует применять звукопоглощающие материалы (см. с. 95, табл. 1).

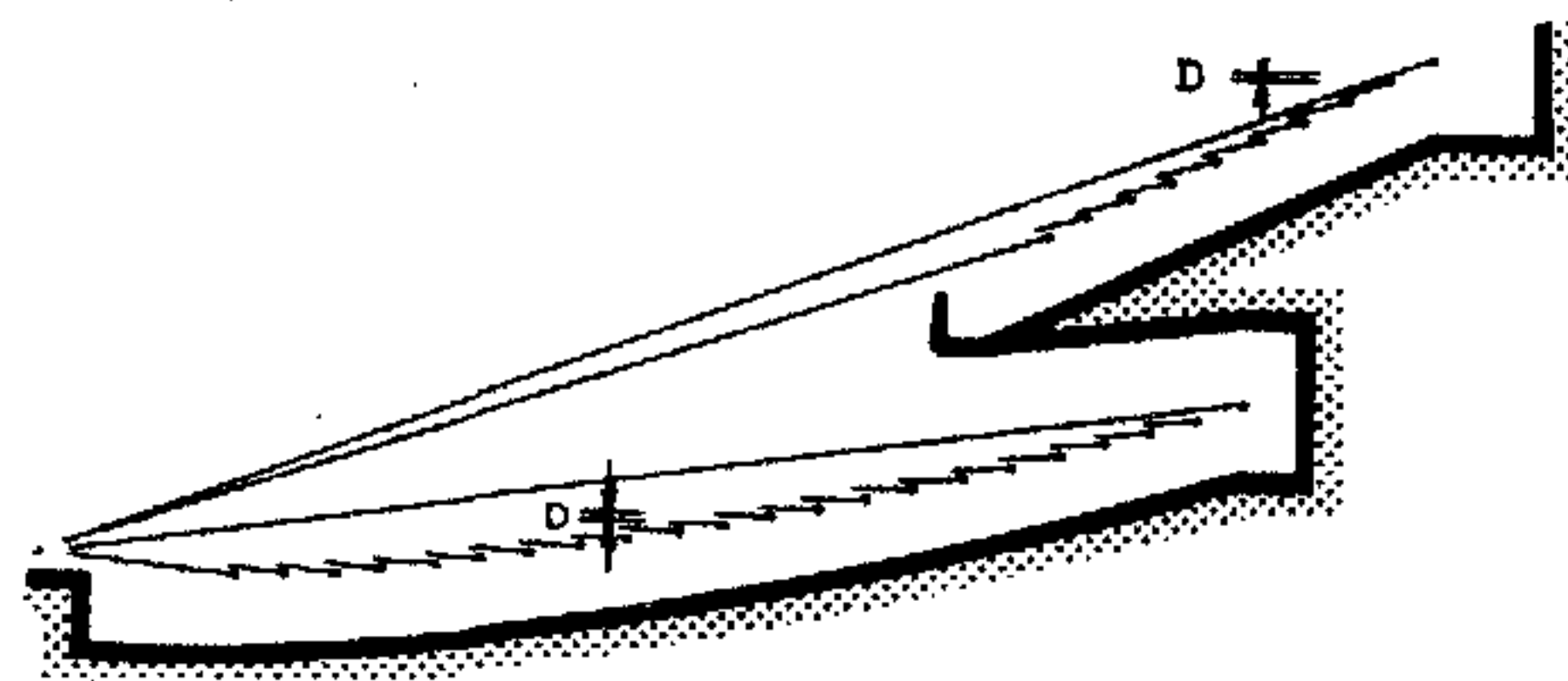
Размещение дополнительных мест в проходах и подъем рядов от сцены благоприятно влияют на акустику зала. Превышение рядов с местами для зрителей на 8 см (по французским нормам) обеспечивает каждому зрителю хорошую слышимость (рис. 4).

4. **Размещение источника звука.** Источник звука следует по возможности размещать у жесткой в акустическом отношении стены; при большой высоте помещения рекомендуется устраивать акустический козырек.

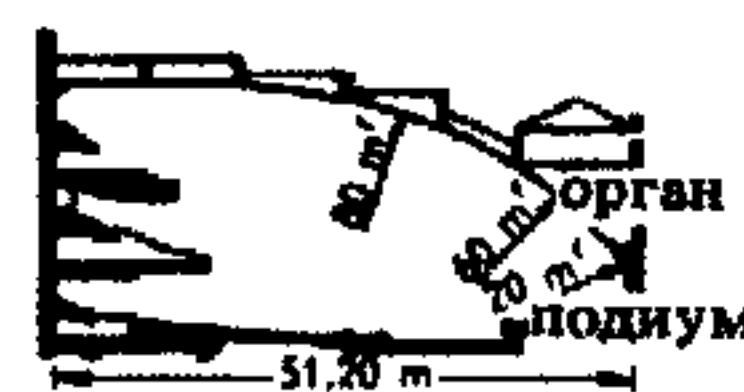
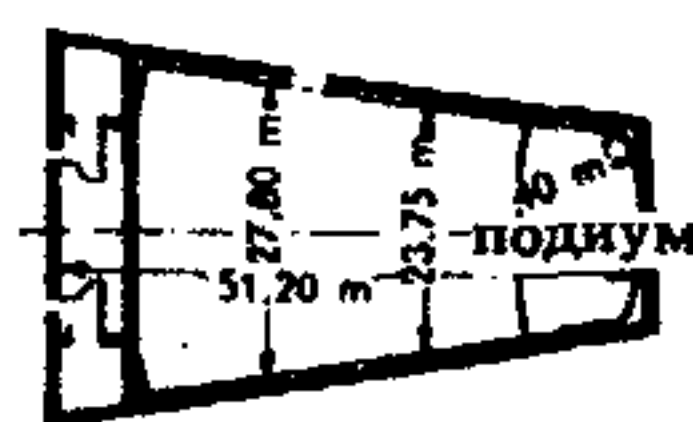
Несколько источников звука следует сосредоточивать в одном месте: громкоговорители для воспроизведения речи размещают в помещениях не дальше 34 м, для музыки — не дальше 24 м от источника звука.

5. **Время реверберации.** Явление реверберации возникает при отражении звуков ограждающими поверхностями помещений. Слушатель воспринимает это явление как затухание звуков. Явление, при котором отраженный звук воспринимается во времени отдельно от прямого звука (когда длина пути отраженного звука $\geq 34-24$ м), называется эхо. Следовательно, с увеличением размеров помещений время реверберации возрастает.

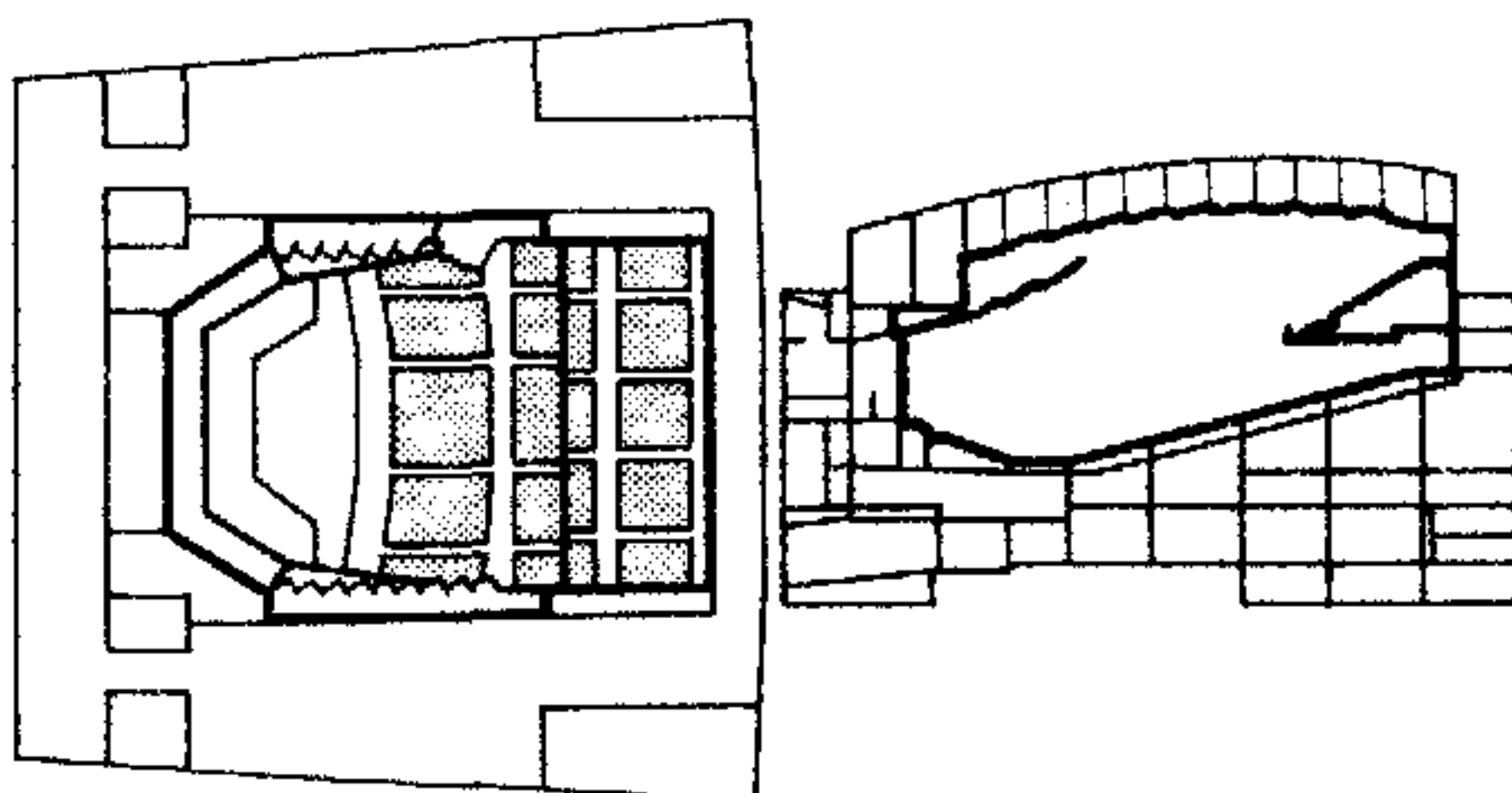
Наличие эхо является недостатком акустики помещений, но реверберация при определенной продолжительности даже желательна (см. с. 94, рис. 1).



4. Размещение мест в зрительном зале с постоянной величиной превышения рядов обеспечивает беспрепятственное восприятие звука. $D = 8$ см — постоянная величина



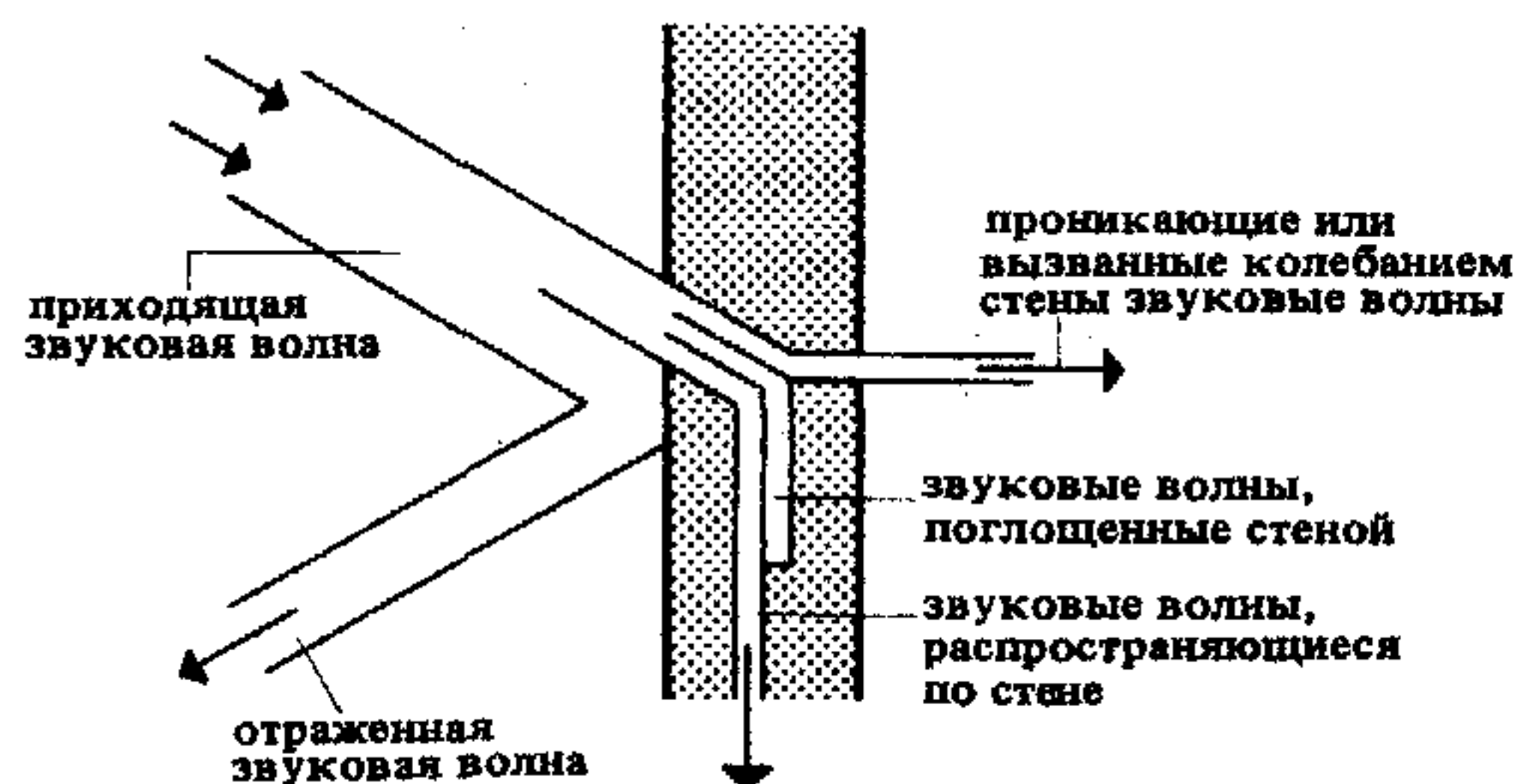
5. План и разрез концертного зала Плейель в Париже, 1927 г.



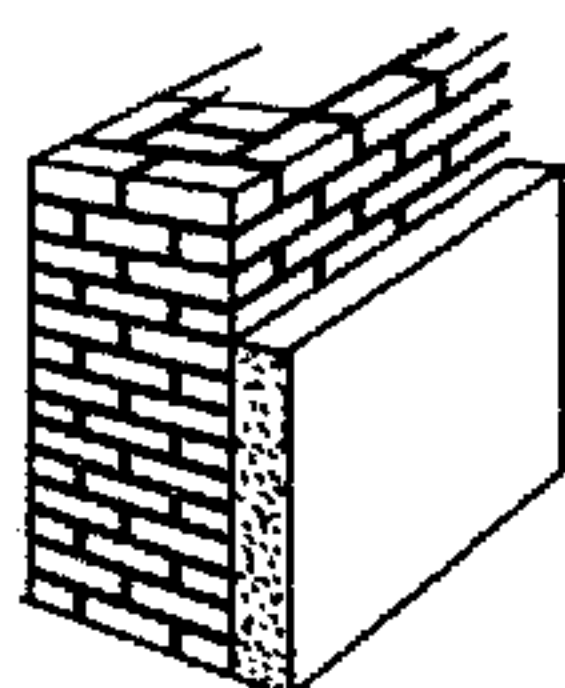
6. План и разрез зала «Ройал фестиваль холл» в Лондоне (архит. Р. Мэттью), 1951 г.



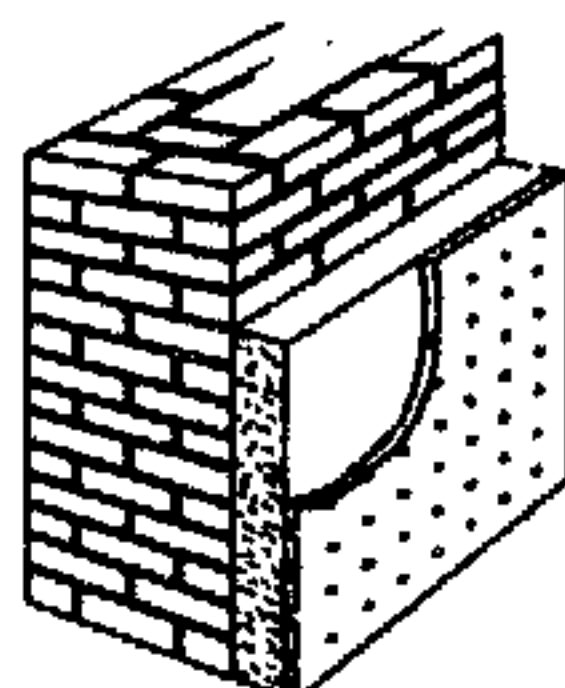
1. Зоны благоприятного времени реверберации в помещениях при их полном заполнении (по Тинхаузу)



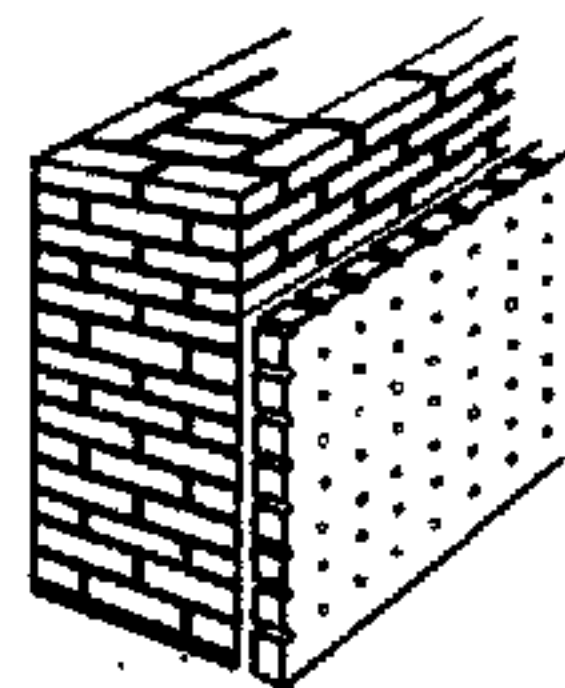
2. Прохождение звуковой энергии через стену



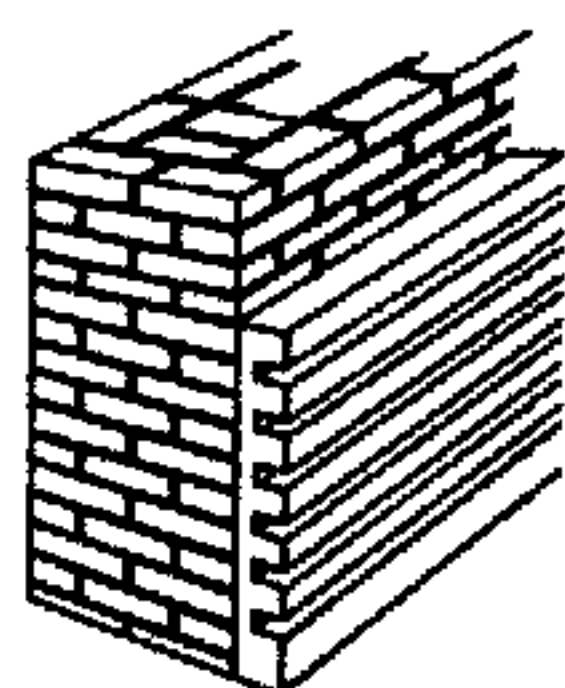
3. Пористая облицовка стены



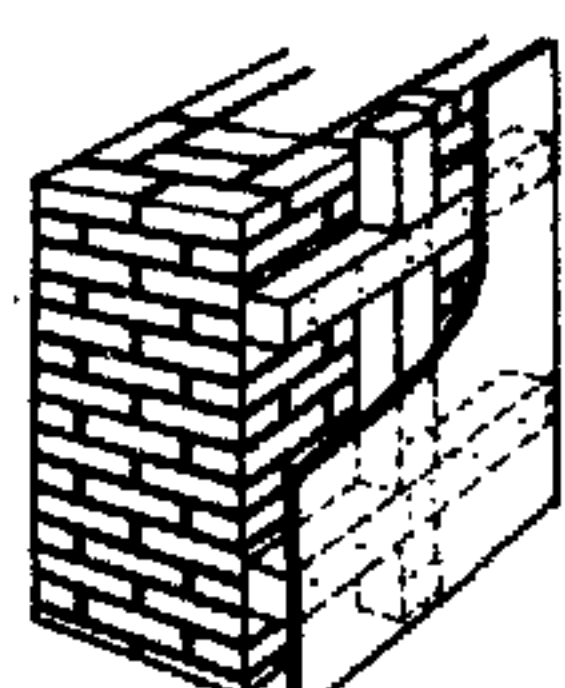
4. Пористая облицовка с перфорированным покрытием



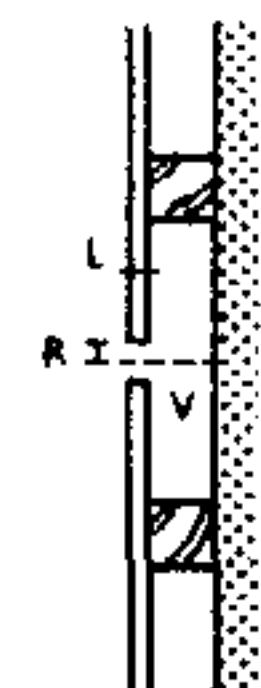
5. Акустическая плита с круглыми отверстиями



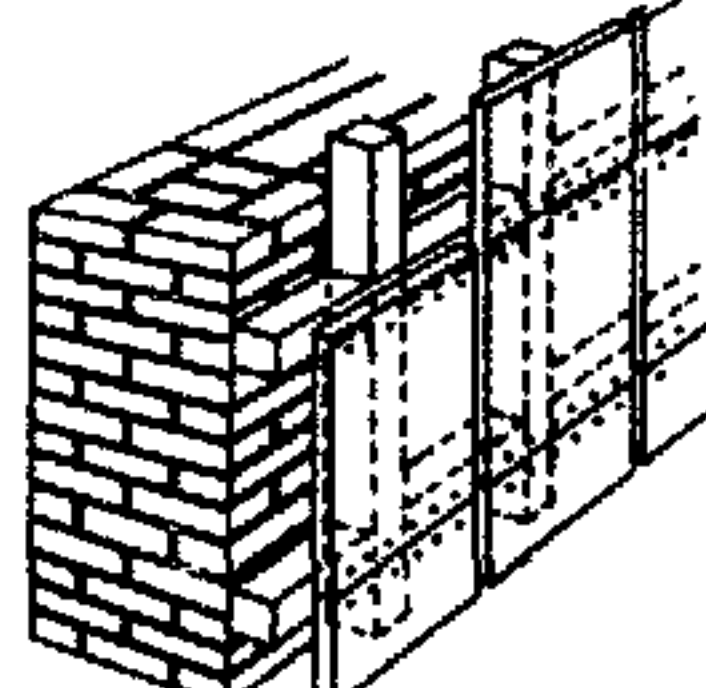
6. Акустическая плита с бороздами



7. Мембрана по обрешетке



8. Резонатор Гельмгольца



9. Щелевой резонатор

Время реверберации можно регулировать путем изменения размеров помещения и применения звукопоглощающих материалов (п. 2). Для каждого помещения существует оптимальное время реверберации, которое зависит от объема и назначения помещения (речь или музыка).

Разборчивость речи в залах также зависит от времени реверберации. С увеличением объема зала должно возрастать и время реверберации на 0,5–1 с. Для концертных залов объемом от 2000 до 14 000 м³ принимают среднее значение времени реверберации – 1,7 с. Время реверберации почти полностью зависит от поглощения звуков наполняющей зал публикой; объем зала принимают из расчета минимально 6–7 м³ на 1 место; оптимальный объем зала 8–9 м³ на 1 место. Для устранения колебаний длительности реверберации в зависимости от заполнения зала следует применять кресла с мягкой обивкой сиденья, которая соответствует по звукопоглощающей способности одному зрителю.

Время реверберации определяют по формуле Целлера $t = \frac{V}{6A}$, где V – объем зала, м³; A – суммарная поверхность звукопоглощения зала, м².

Поверхность звукопоглощения A определяется как сумма составляющих αF , где α – коэффициент звукопоглощения; F – площадь соответствующего участка; $A = \sum \alpha F$, подсчитанных для всех внутренних поверхностей помещения.

Поглощение звука. Звуковые волны, встречая на своем пути стены или другие предметы, частично ими отражаются (причем угол падения равен углу отражения), частично поглощаются (с преобразованием звуковой энергии в тепловую) и частично проникают сквозь преграду (рис. 2).

Для расчета звукопоглощения пользуются коэффициентами, имеющими определенное значение для различных материалов.

В качестве звукопоглощающих материалов могут служить:

пористые материалы, звукопоглощающая способность которых повышается с увеличением частоты звучания (рис. 3). Для поглощения звуков низкой частоты следует применять рыхлые волокнистые материалы, укладывая их слоями достаточно большой толщины (100 мм). Жесткие волокнистые плиты обладают низкой звукопоглощающей способностью, а при толщине свыше 10 мм вообще не оказывают влияния. Включение воздушных прослоек путем, например, крепления пористых материалов по обрешетке повышает их эффективность. При их покраске не следует применять красители, создающие плотный слой;

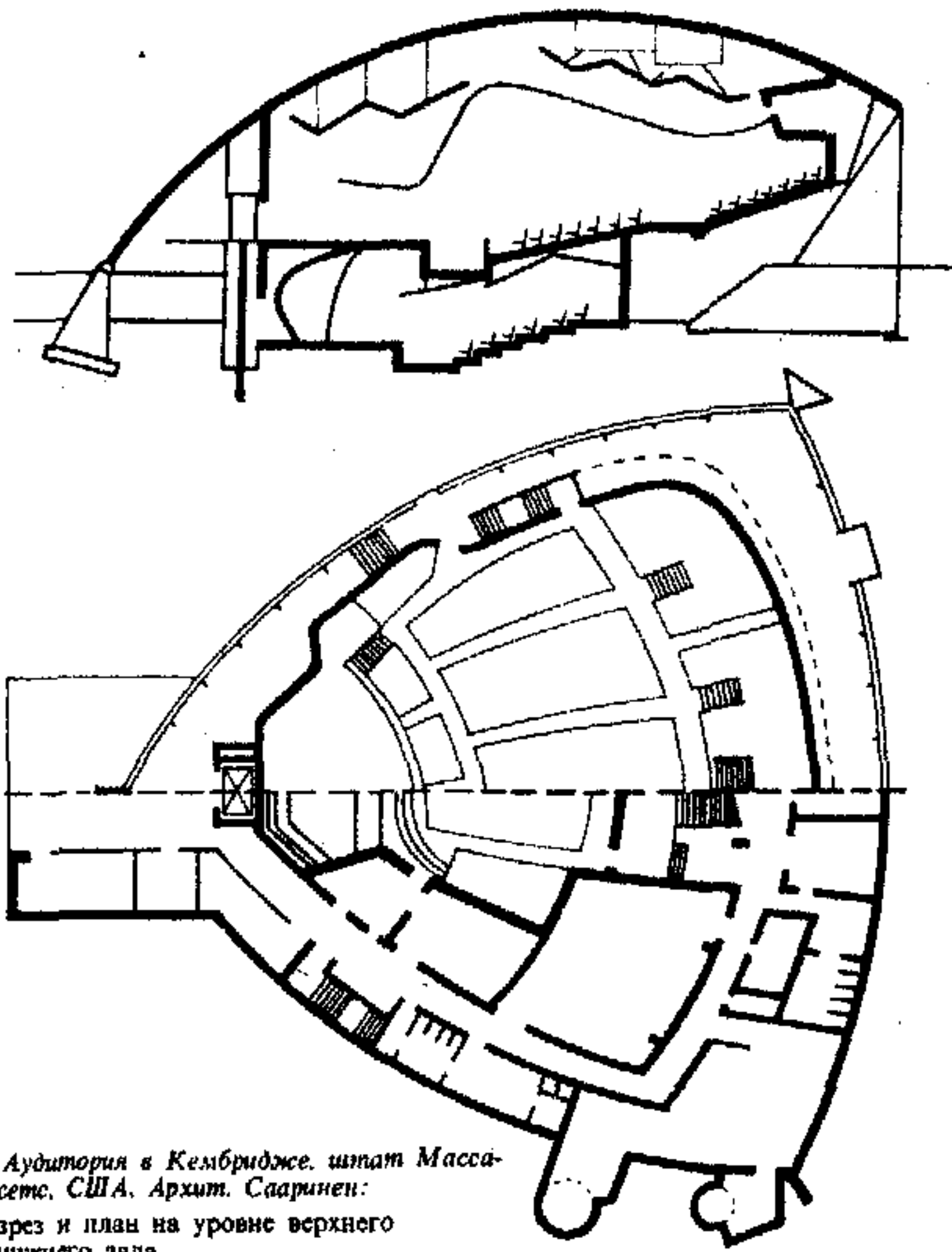
перфорированные плиты (рис. 4). Наиболее эффективны плиты с отверстиями диаметром 4 мм и расстоянием между ними 10 мм (площадь отверстий 13%). Применяют древесноволокнистые плиты толщиной 3–5 мм, а также гипсовые плиты; для потолков и при лучистом отоплении используют перфорированные металлические листы;

специальные акустические плиты. Кроме дырчатых плит (4410 отверстий на 1 м²) применяют плиты с бороздами («Акусти-Целотекс»), а в последнее время сплошные асбестовые, минераловатные и стекловатные плиты (рис. 5, 6);

тонкие плиты – мембраны, которые свободно крепятся к стене на отnose; под действием звуковых волн они приходят в колебательное движение и поглощают звук. Частота собственных колебаний таких мембран зависит от их массы, способа крепления, материала и толщины воздушной прослойки между мембраной и стеной (рис. 7);

резонаторы в помещениях специального назначения (радиостудии и т.п.), например целевые резонаторы с применением декоративной обработки кромок (рис. 8, 9).

Тембр звука. Во избежание искажения тембра звучания необходимо тщательно подбирать материалы для отделки помещений. Пористые материалы поглощают в большей степени звуки высоких частот, плотные материалы – звуки низких частот (см. с. 95).



1. Аудитория в Кембридже, штат Массачусетс, США. Архит. Сааринен:
Разрез и план на уровне верхнего и нижнего зала

Таблица 1. Величина коэффициента звукопоглощения α некоторых распространенных материалов. По «Справочнику по строительным материалам» и данным проф. Э. Михеля

Наименование	Толщина, см	Удаление от стены, см	Коэффициент звукопоглощения α на 1 м ² поверхности для частот, Гц		
			128	512	2048
1	2	3	4	5	6
а) Пористые звукопоглощающие материалы					
Войлочные маты по дереву	1,5	0	0,08	0,38	0,75
То же, на основе	1,5	5	0,25	0,68	0,8
Стекловолокнистые стеганые маты	3	0	0,1	0,7	0,7
Древесноволокнистые изоляционные плиты (средние значения)	1,3	5	0,2	0,3	0,35
Легкие изоляционные плиты (средние значения)	2,5	0	0,15	0,35	0,5
То же	3,5	0	0,2	0,4	0,55
»	5	0	0,25	0,45	0,6
Рыхлая шлаковата	5	0	0,22	0,58	0,6
б) Резонирующие звукопоглощающие материалы					
Алюминиевая фольга	—	5	0,1	0,45	0,45
Стекло в оконных переплетах	0,3	—	0,28	0,1	0,02
Упаковочная бумага	—	5	0,08	0,48	0,15
Клеевая фанера	0,3	5	0,25	0,18	0,1
Клеевка	—	5	0,1	0,4	0,05
в) Материалы внутренних поверхностей помещений					
Сплошная облицовка полированным естественным камнем, например мрамором	—	—	0,01	0,01	0,015
Водная поверхность плавательных бассейнов	—	—	0,008	0,013	0,02
Листовой металл, например, латунь	—	—	0,021	0,016	0,004
Бетон	—	—	0,01	0,016	0,023
Известковая штукатурка по кладке, гладкая	—	—	0,018	0,018	0,032
Гипсовая штукатурка по кладке, гладкая	—	—	0,013	0,02	0,04
Линолеум, наклеенный на сплошную подготовку	—	—	0,02	0,03	0,04
Кирпичная кладка, неоштукатуренная	—	—	0,024	0,031	0,043
Шероховатая известковая штукатурка по кирпичу или сетке	—	—	0,02	0,034	0,028
Обои, наклеенные по слою газетной бумаги	—	—	0,02	0,04	0,04
Искусственные каменные материалы	—	—	0,02	0,05	0,07
Резиновый пол по сплошной подготовке	0,5	0	0,04	0,08	0,03
Дощатый или фанерчатый пол	—	—	0,098	0,1	0,082
г) Декоративные ткани					
Бязь, миткаль (масса 50 г/м ²)	—	—	—	0,019	—
Хлопчатобумажная ткань (масса 0,5 кг/м ²)	—	—	0,04	0,13	0,32
Ковровая дорожка	—	0	0,02	0,05	0,27
Декоративный ковер	—	0	0,05	0,1	0,42
Шерстяной ковер толщиной 5 см	—	0	0,04	0,15	0,52
д) Предметы и люди, находящиеся в помещении					
Коэффициент звукопоглощения на 1 шт.					
Подушки с обивкой из тонких тканей	—	—	0,07	0,135	0,132
Стул мягкий	—	—	0,014	0,016	0,019
Стул, сиденье и спинка обиты искусственной кожей	—	—	0,130	0,149	0,066
То же, с обивкой велюром	—	—	0,28	0,28	0,344
Мужчина	—	—	0,21	0,45	0,71
Женщина	—	—	0,12	0,37	0,62

Мощность источника звука

Каждому источнику звука соответствует максимально допустимый объем помещения. С увеличением объема помещений возрастает площадь ограждений и, следовательно, степень поглощения звука, что снижает его громкость.

На силу звука и длительность реверберации влияют звукопоглощающие материалы, выбор которых зависит от того, с каким видом звука приходится иметь дело: с воздушным (с. 88, 89), корпусным (с. 92), ударным (с. 79, 89), шумами или вибрацией (с. 89).

Источник звука	Максимальный объем помещения, м ³
Человеческий голос	3000
Сольный инструмент, вокалист	10 000
Симфонический оркестр	20 000
Большой хор	50 000

Диффузия

Отраженные стенами звуковые волны должны создавать диффузное звуковое поле, поэтому надо избегать параллельных плоскостей. Необходимо предусматривать членение плоскостей и придавать им изломы, линейные размеры которых должны быть порядка 1 м.

К проектированию крупных сооружений с залами и павильонами следует обязательно привлекать специалистов-акустиков.

Таблица 2. Допустимый уровень громкости шумов в помещениях различного назначения (по Дюрхаммеру)

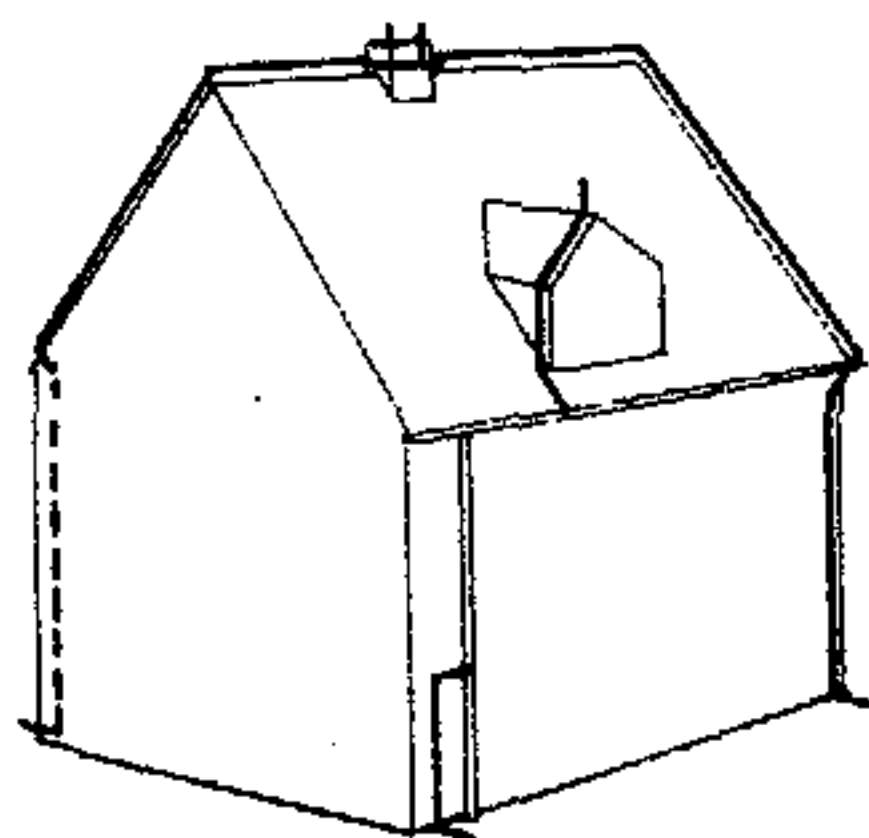
Назначение помещения	Фоны
Студия звукового кино	6—8
Радиостудия	8—10
Палаты в больницах	8—12
Музыкальные классы	10—15
Жилые комнаты, номера гостиниц, небольшие конторские помещения	10—20
Драматические театры, классы, аудитории, библиотеки	12—14
Кинотеатры, небольшие магазины одежды	15—25
Крупные конторские помещения (без приема посетителей)	20—30
Крупные конторские помещения с приемом посетителей, банковские операционные залы, верхние этажи универмагов, рестораны, парикмахерские	25—35
Продовольственные магазины	30—50
Бухгалтерии со счетными машинами, машинописные бюро	35—45
Первый этаж универмагов	40—50

Таблица 3. Верхний предел допустимой громкости шума систем кондиционирования воздуха и вентиляции по Беранеку

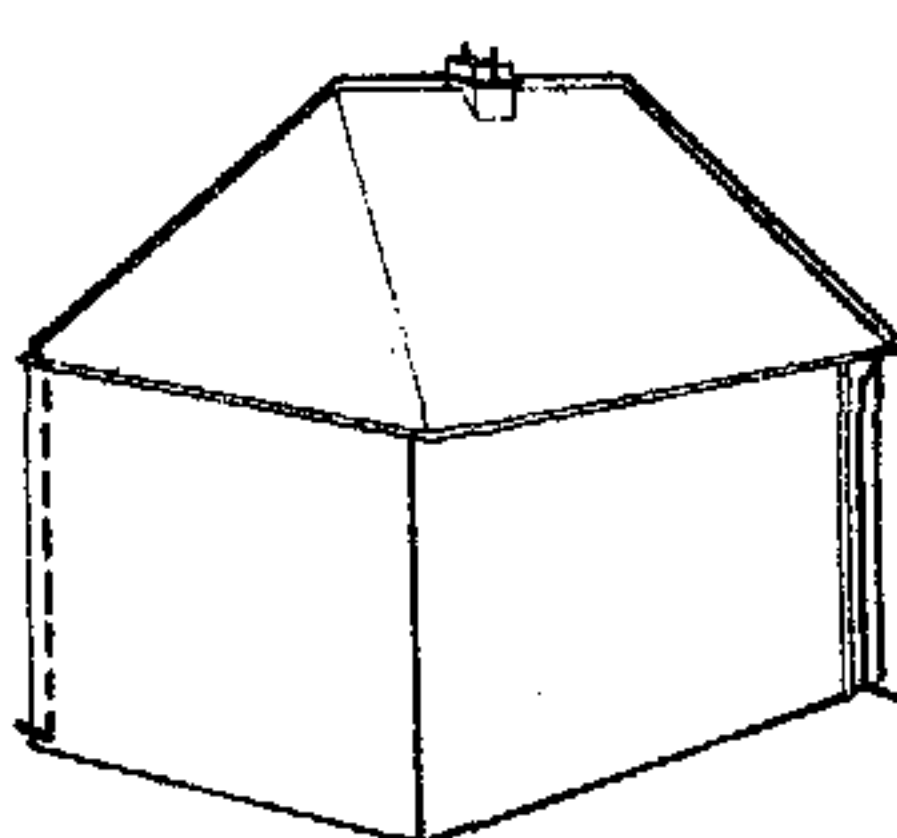
Назначение	Фоны
Радио и киностудии, концертные залы	20
Палаты больниц и номера гостиниц	25
Театры, кино, аудитории, кухни	30
Конторы, конференц-залы	35
Рестораны и магазины	40

Таблица 4. Минимальная сжимаемость изоляционных материалов для защиты от шума и вибрации (по Гинхаузу)

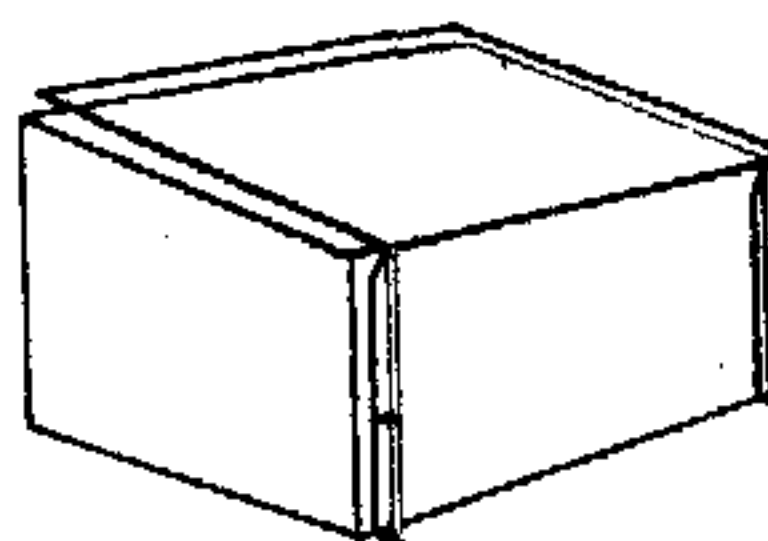
Частота колебаний в мГц	3000	2000	1000	750	500	400	300	200
Сжимаемость под нагрузкой, мм	1	2	8	15	33	50	90	220
Достигается с помощью следующих материалов	Пробковые плиты, резиновые и стальные амортизаторы		Резиновые и стальные амортизаторы		Стальные амортизаторы			



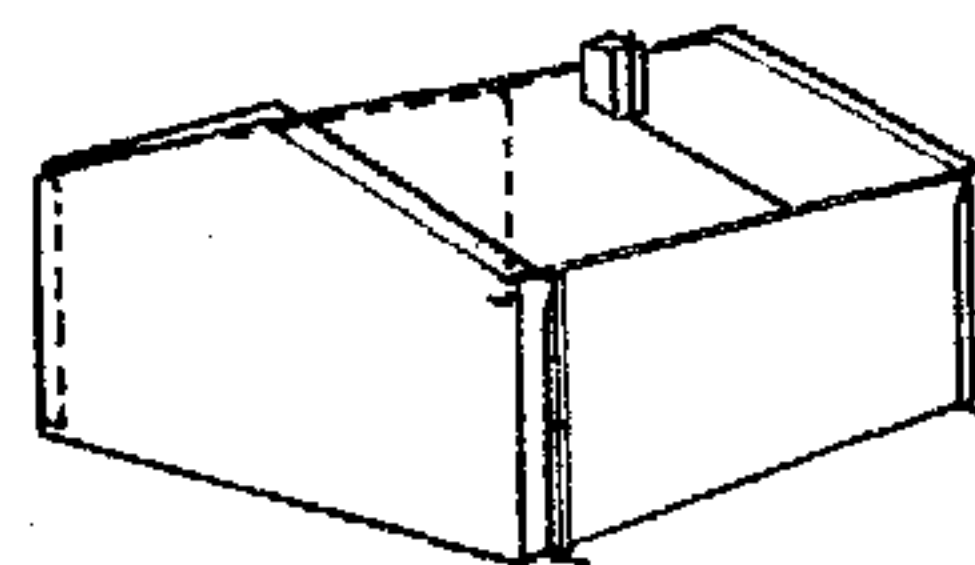
двухскатная крыша



вальмовая крыша

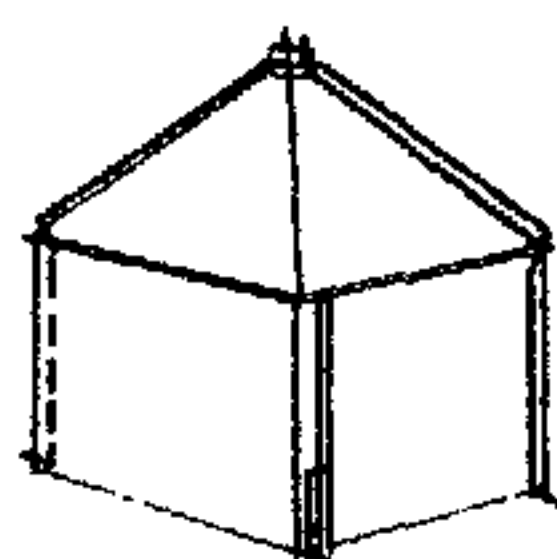


односкатная крыша

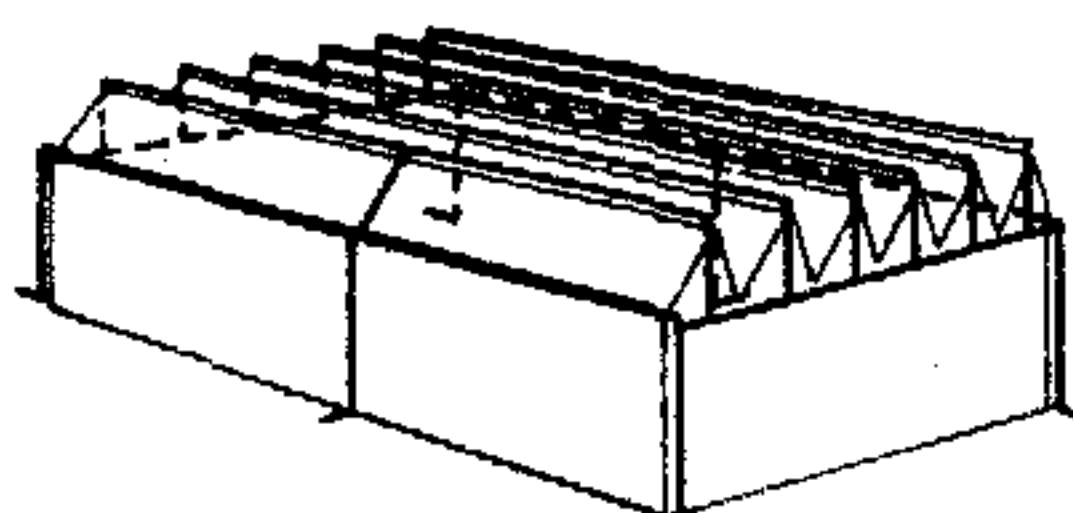


пологая крыша

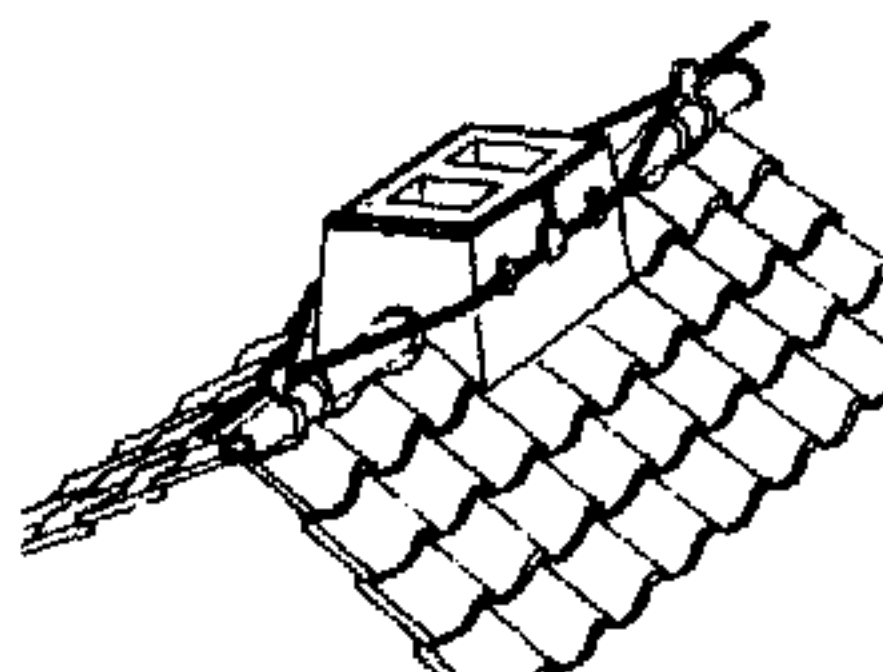
1. На каждом здании делают не менее двух отводов, по возможности в противоположных углах. Карнизные желобы подсоединяют к отводной линии. Водосточные трубы заземляют



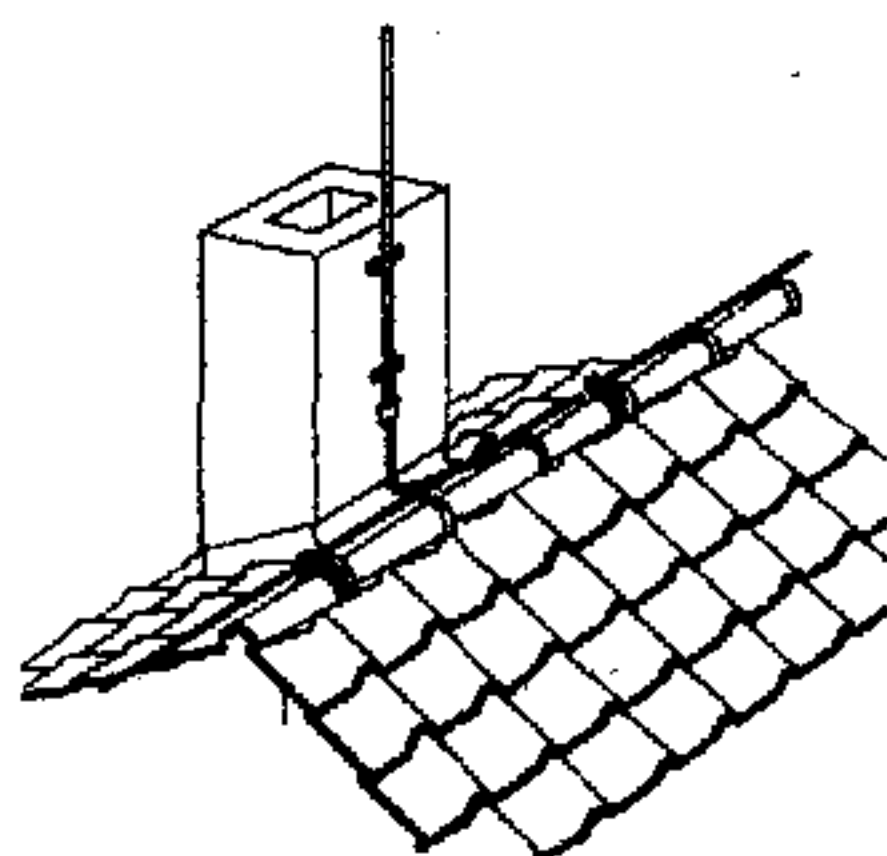
шатровая крыша



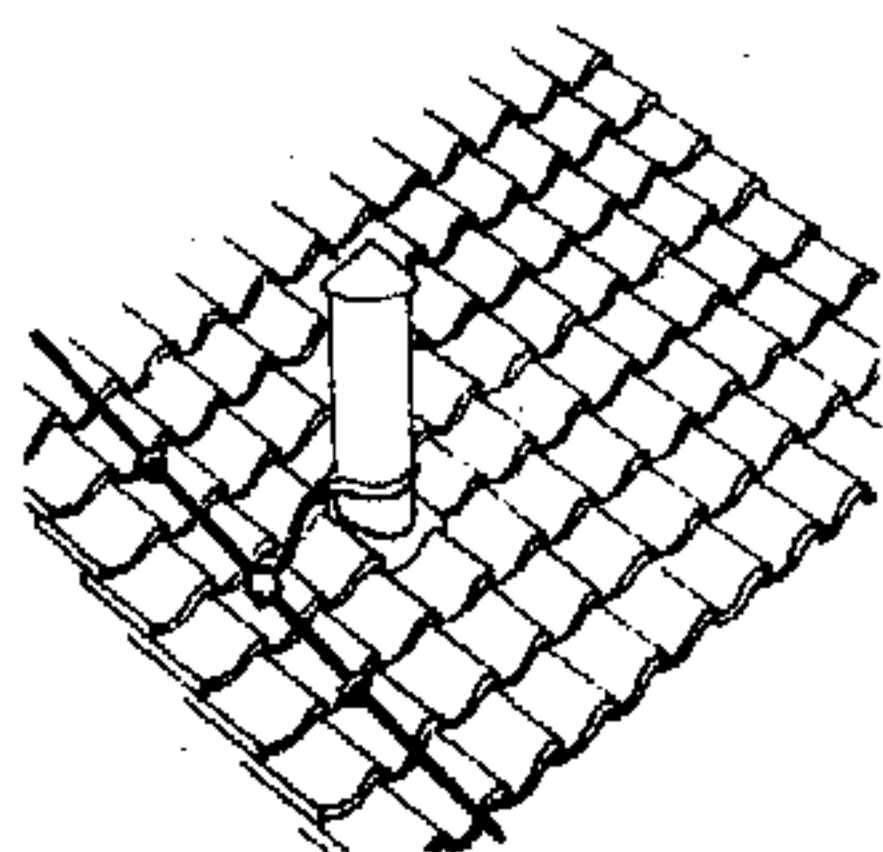
щедовое покрытие



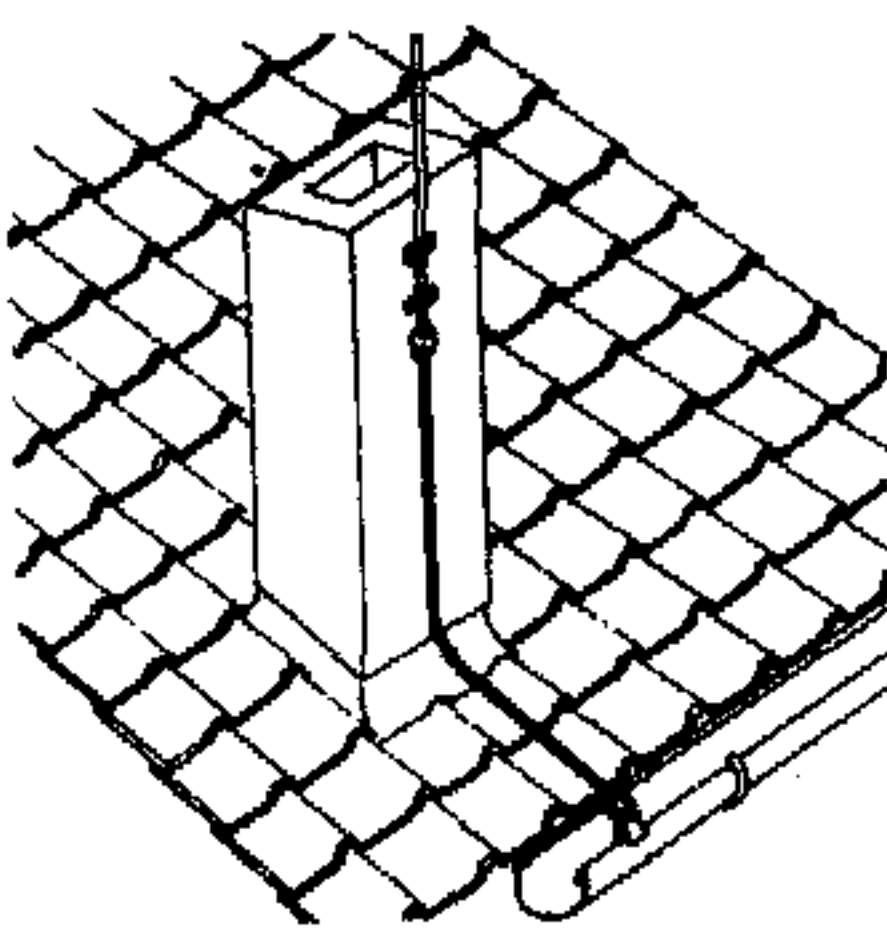
2. На трубах в коньке устраивают молниеуловители в виде рамки из уголкового стали



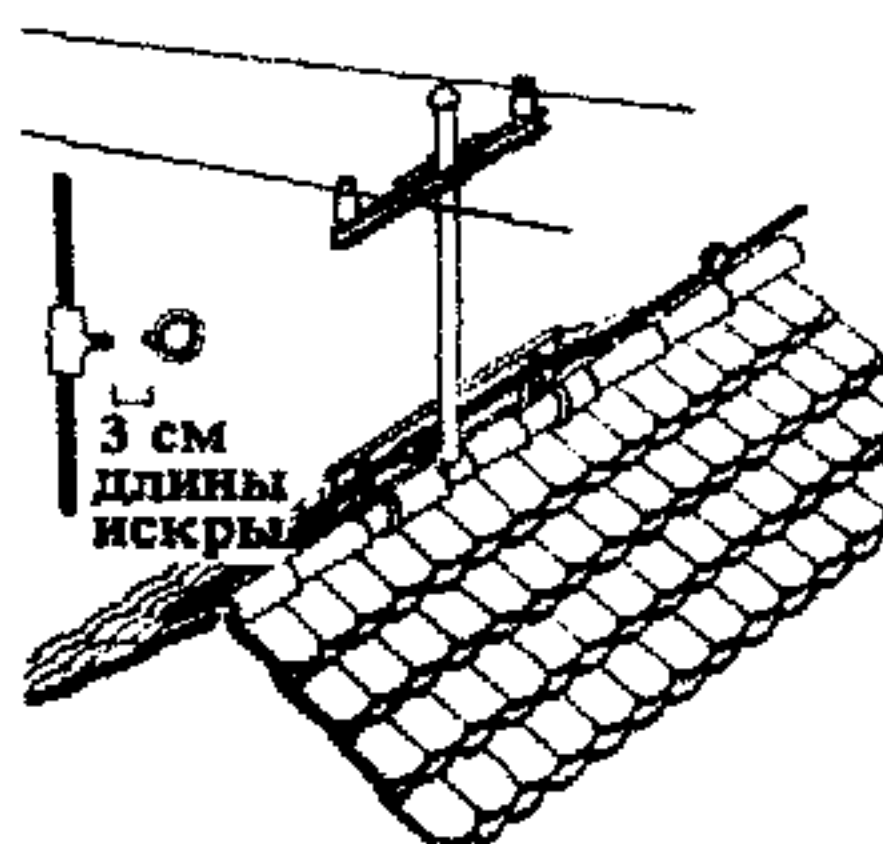
3. Молниеуловители у трубы подсоединяют к проводке по коньку



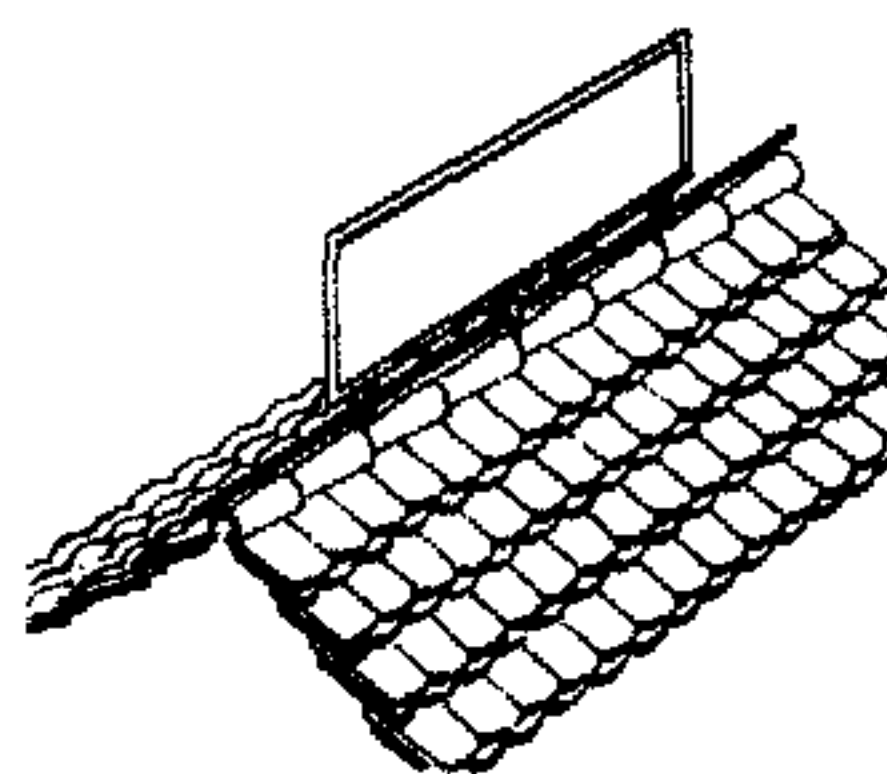
4. Все выступающие на крыше металлические части и вентиляционные трубы подсоединяют к отводной сети



5. Молниеуловитель трубы, расположенной у карниза, подсоединяют к водосточному желобу



6. Отводная сеть не должна подходить вплотную к установленным на крыше стойкам высоковольтных сетей. Длина искры для открытой проводки принимается 3 см



7. При размещении на крышах металлических надстроек для электрических устройств предусматривают предохранители

В местностях, расположенных около 50° широты, на каждый час грозы приходится 60 молний, достигающих поверхности земли, и 200–250 молний с разрядами в грозовых тучах.

В радиусе 30 м от места удара молнии (деревья, здания и т.п.) человеку из-за электропроводности его тела угрожает опасность поражения электрическим током.

Повреждения зданий возникают в связи с тепловым воздействием молнии; содержащаяся в частях зданий влага мгновенно нагревается и испаряется, создавая в местах своего скопления избыточное давление, подобное действию взрыва, в результате чего разрушаются стены, маты, деревья и т.п.

Громоотводами служат металлические непрерывные проводки, состоящие из молниеуловителя, отводной сети по зданию и заземления. При изготовлении громоотводов следует применять стандартные элементы по DIN 48802–48860.

Так как при искрении возникает опасность возгорания, для громоотводов следует применять непрерывную проводку, исключая возможность образования искр.

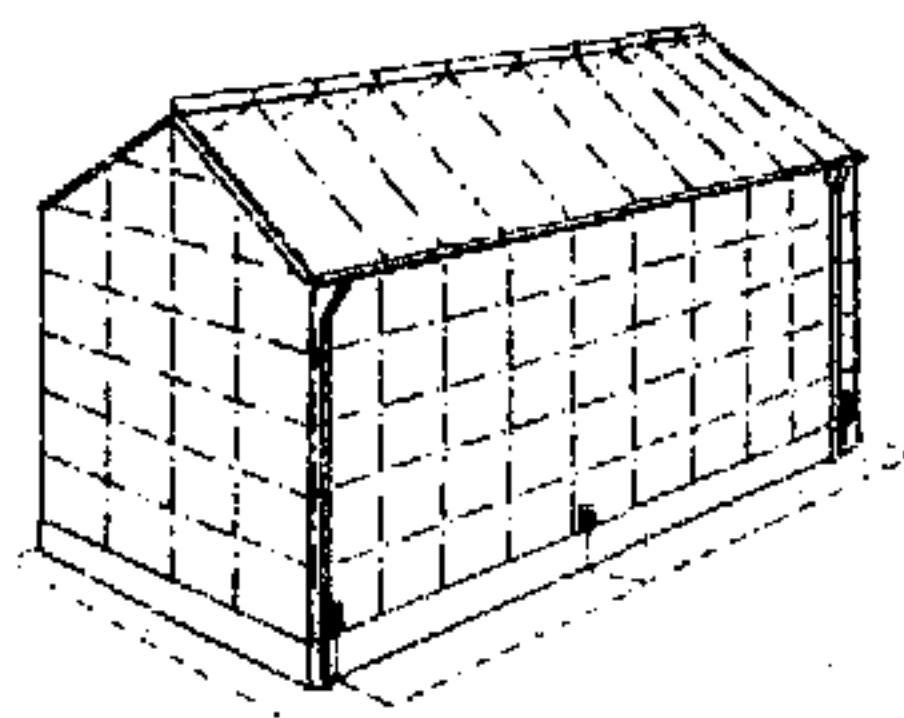
Молниеуловителями служат металлические шесты и проводки по крыше, металлические листы кровли и металлические части здания.

Молниеуловители предусматриваются в наиболее угрожаемых частях зданий и сооружений: на башнях, щипцах и фронтонах, на крутых коньках и карнизных желобах плоских крыш. Максимальное удаление любой точки кровли от молниеуловителя—10 м. На соломенных крышах ввиду опасности возгорания при искрении протягивают металлический провод по деревянным опорам на 60 см выше конька (см. с. 97, рис. 3–6).

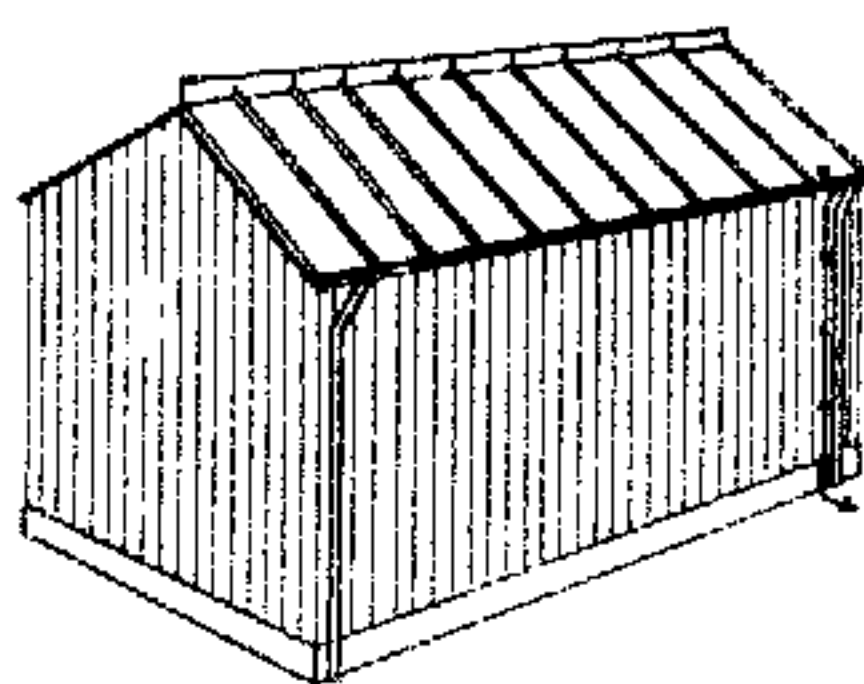
При крутых крышах с жесткой кровлей отводная сеть может быть проложена под кровлей при условии установки шестов-молниеуловителей, выступающих на 20 см над кровлей через каждые 3–4 м (DIN 48802). Такое решение не допускается при использовании мансардных помещений (см. с. 62) и в сельскохозяйственных постройках (см. с. 294–308).

Отводную сеть следует вести по кратчайшему расстоянию; 50% протяженности основной линии отводной сети может быть проложено под штукатуркой. Против образования искр между проводкой и металлическими частями здания следует принимать меры: а) путем обеспечения достаточного расстояния между ними ($D = \frac{1}{10}$ длины отводной линии от места приближения сети к металлической части здания до заземления, причем $D \geq 20$ см на 1 Ом сопротивления заземления); б) путем их соединения проводником, что улучшает и удешевляет молнieszщитные устройства.

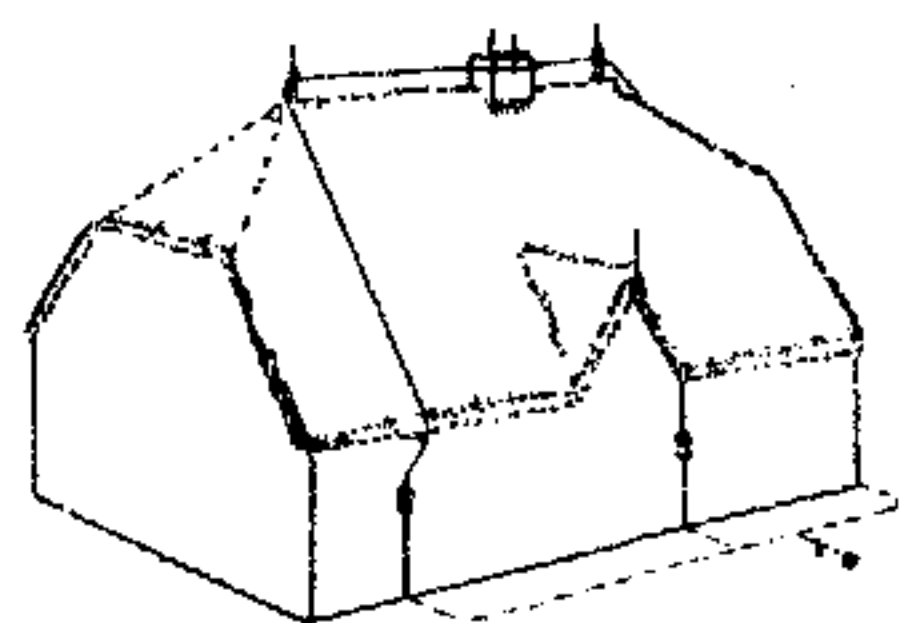
На каждые 40 м периметра здания, имеющего длину до 12 м, устраивают одну основную отводную линию, а при длине более 12 м—две. На каждые 20 м длины здания при ширине здания не более 12 м устраивают по одному дополнительному отводу, а при ширине более 12 м—два отвода. На колокольных, наблюдательных вышках, фабричных трубах предусматривают по два отвода.



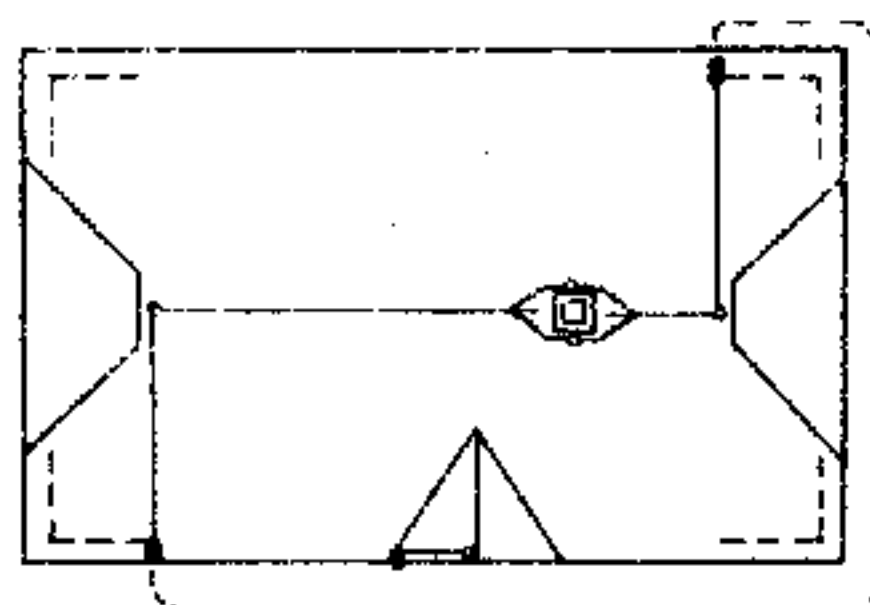
1. Стальной каркас здания присоединяется как к громоотводной сети на крыше, так и к заземлению



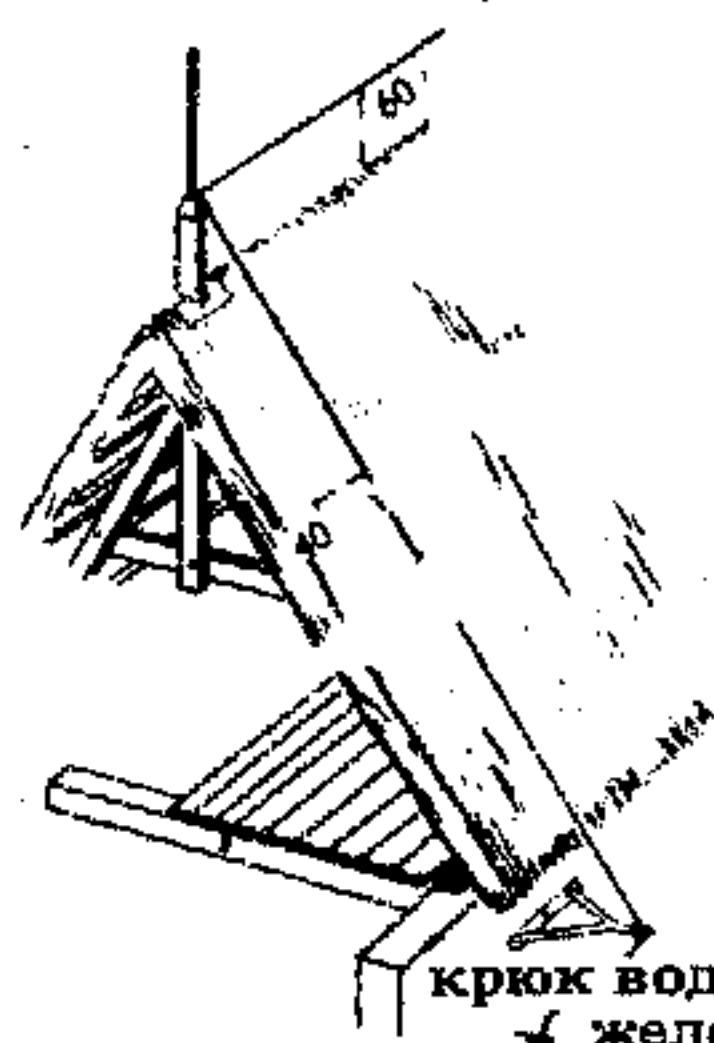
2. Крыши из жести в зданиях с деревянными стенами присоединяются к громоотводной сети на коньке и к отводам заземления



3. План и общий вид здания с соломенной крышей, громоотводная линия на деревянных слопках на высоте 60 см над коньком; отводная сеть на 40 см от поверхности кровли; заглубленная линия заземления



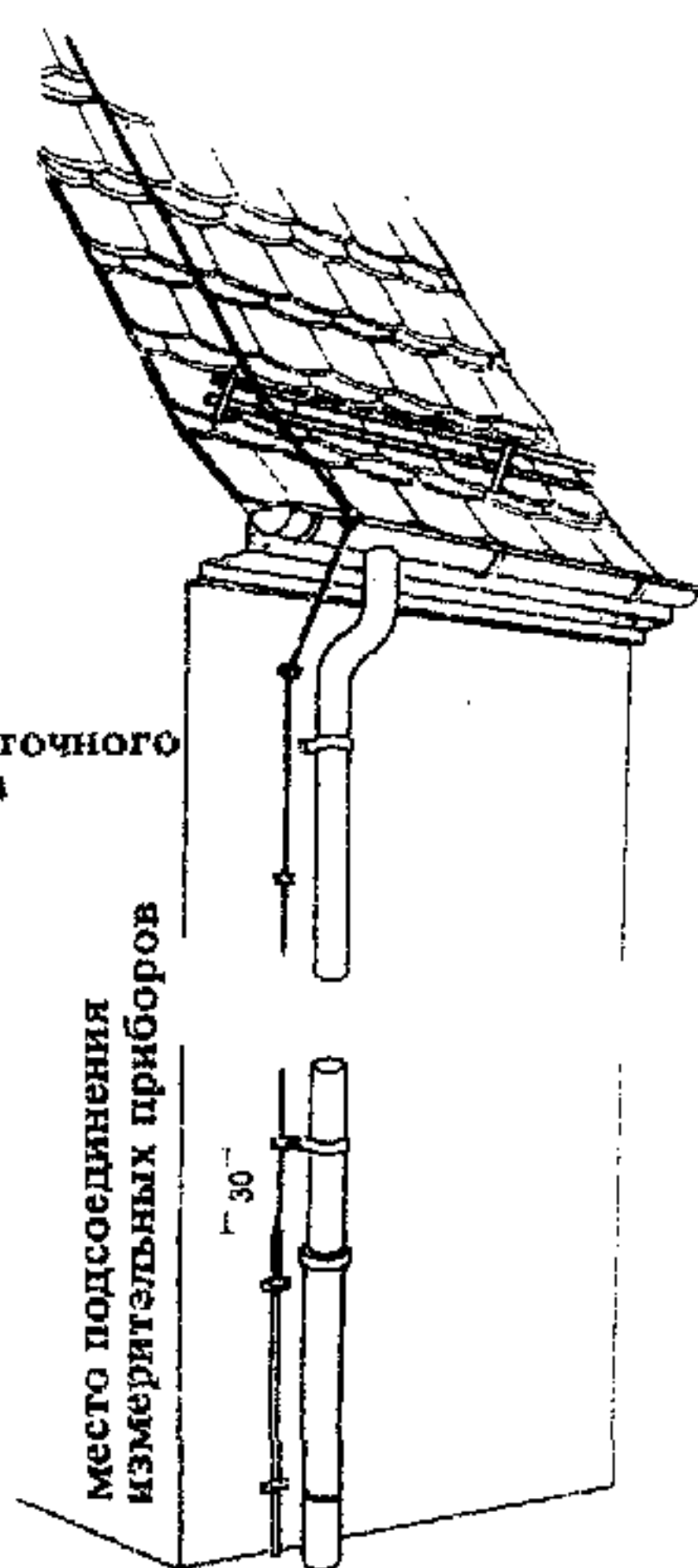
трубчатый заземлитель



4. Деревянная стойка для крепления молниеуловителя в здании с соломенной кровлей



5. Установка громоотвода на фронтоне у слухового окна здания с соломенной кровлей



7. Снегозадерживающая решетка и водосточная труба присоединяются к отводной линии

6. Установка громоотвода на трубе

Громоотводы радио- и телевизионных антенн выполняют по специальным стандартам (UDE 0675, 0800, 0855), нормам DIN 4880) и др.

Примерно для половины необходимого числа линий заземления могут быть использованы трубы сетей водопровода, отопления, газопроводы (при соблюдении специальных требований), стальной и железобетонный каркас здания, пожарные лестницы, противопожарное оборудование (спринклеры), подъемники, водосточные трубы (при пропаянных стыках) при условии обеспечения надежного заземления.

В качестве заземления используют металлические полосы, трубы, плиты, заглубленные до грунтов с низким сопротивлением. Величина сопротивления зависит от типа грунта и его влажности (табл. 1).

8. Условные обозначения систем громоотвода

Таблица. Сопротивление прохождению тока полосовых и трубчатых заземлителей в грунтах различных типов

Тип заземлителей	Тип грунта						Сопротивление прохождению тока, Ω
	болотистый	суглинок, глина, лессовый слой	влажный песок	влажный гравий	сухой песок и гравий	каменистый грунт	
1	2	3	4	5	6	7	8
Полосовой, длина, м	12	40	80	200	400	1200	5
Трубчатый, глубина, м	6	20	40	100	200	600	
Полосовой, длина, м	6	20	40	100	200	600	10
Трубчатый, глубина, м	3	10	20	50	100	300	
Полосовой, длина, м	4	13	27	67	133	400	15
Трубчатый, глубина, м	2	7	14	34	70	200	
Полосовой, длина, м	2	7	13	33	67	200	30
Трубчатый, глубина, м	1	3	7	17	33	100	
	Экономичны			Не экономичны			

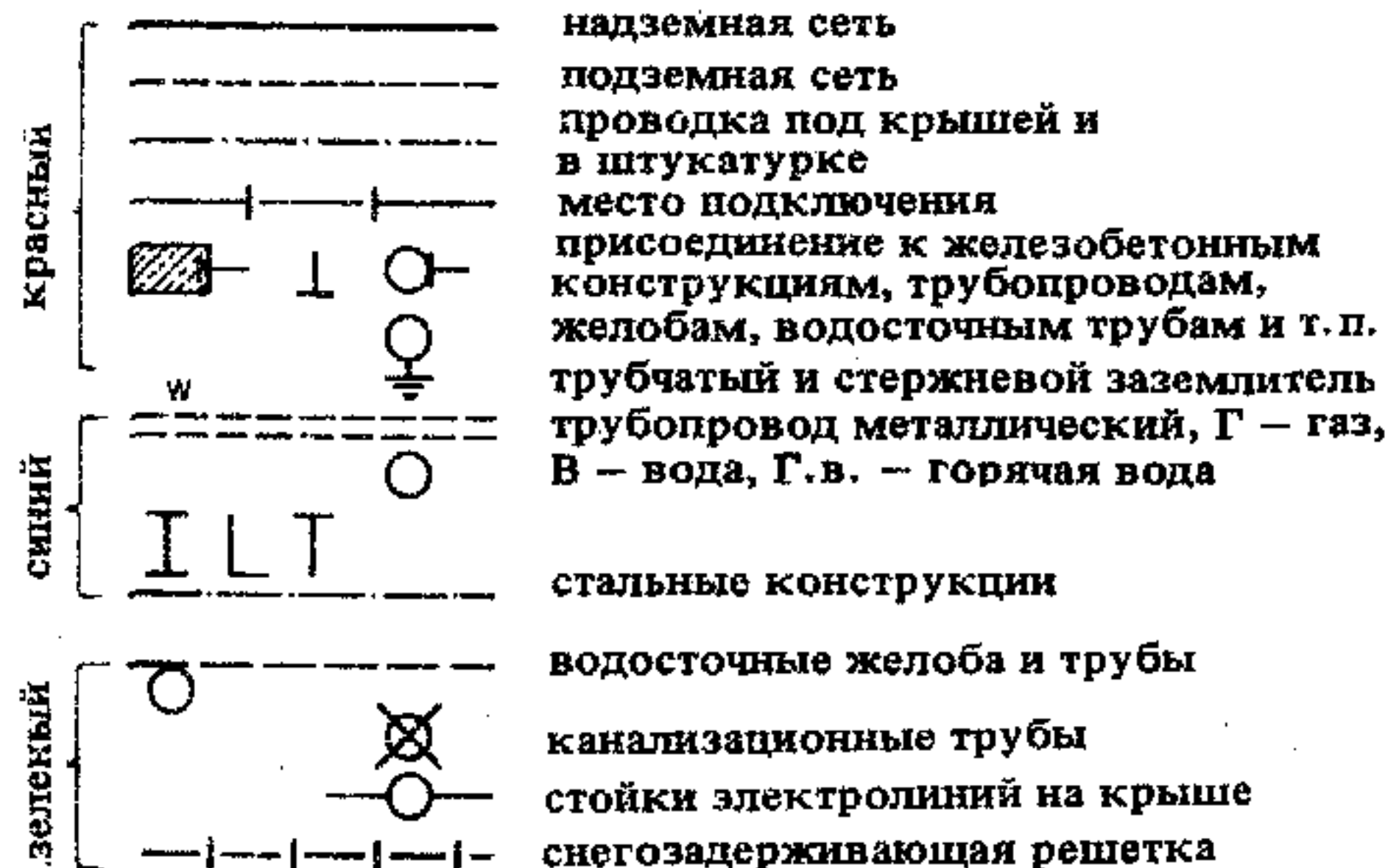
Приведенные величины сопротивлений возрастают в сухом песчаном грунте в 5-10 раз, в гравелистом грунте в 10-20 раз и снижаются вдвое в очень влажном грунте, содержащем соли и кислоты.

В агрессивном грунте следует применять оцинкованную сталь и медные трубы в свинцовой оболочке. Полосовые заземлители должны быть заглублены на ≥ 50 см. Следует избегать заземлителей из металлических листов. В случае применения они устанавливаются в вертикальном положении. Принимается толщина: из стали ≥ 5 мм, из оцинкованной стали ≥ 3 мм, из меди $\geq 1,5$ мм. Для трубчатых заземлителей толщина стенок труб 5 мм. Подземные подсоединения выполняются с коррозионной защитой (обмазка битумом).

При использовании для заземления водопроводных и газовых сетей необходимо соблюдать соответствующие ведомственные инструкции.

Контактные соединения должны иметь по возможности большую площадь (≥ 10 см²). Их делают на зажимах или на винтах (два и более винтов диаметром 8 мм). По возможности следует применять один и тот же металл во избежание разрушения за счет электролитических процессов; это относится к выбору материалов в местах соединения сетей и их крепления.

Устройство громоотводов обязательно для высотных зданий, фабричных труб, радиомачт, наблюдательных и буровых вышек, градирен, водонапорных башен, мачт для знамен и для рекламных установок на крышах, для складов и производств легковозгораемых материалов (солома, сено, целлулоид, хлопок, искусственный шелк и т.п.), для взрывоопасных производств. Емкости для горючих газов окружностью до 20 м в соответствии с VDE 0171 должны быть подсоединены друг к другу и к другим металлическим предметам с применением взрывобезопасных искровых разрядников. На производствах взрывчатых материалов применяют особые меры защиты, для разработки которых необходимо привлечение специалистов. Высоковольтные линии следует прокладывать на достаточном расстоянии от зданий и сооружений, в противном случае предусматривать искровые разрядники.



коричневый — существующая сеть, расширение наносится красным цветом