





## Перед серьезным выбором

Экономическая целесообразность применения теплоизоляции заключается в снижении энергопотребления в зданиях. Разовые капиталовложения в изоляцию при строительстве многократно окупаются в период эксплуатации. Сокращение энергопотребления также благоприятно сказывается на экологической обстановке.

Подобная информация не является открытием для Европейского Сообщества, которое уже приняло Энергетическую исполнительную директиву, требующую от государств-членов Сообщества принятия новых мер для повышения энергоэффективности зданий.

Компания PAROC проводит серьезную работу в связи с этими возрастающими требованиями. Уникальные свойства природного камня и суровый северный климат способствовали разработке экологически чистой, безопасной и надежной изоляции - минеральной ваты на основе камня, который является природным материалом, обладает высокой долговечностью и огнестойкостью. Обладая всеми этими свойствами, наша теплоизоляция долгое время будет служить защитой жизни и имущества людей.

Мы рады поделиться своими знаниями в теории изоляции, которая стала целой наукой и служит руководством для нескольких поколений строителей. Надеемся, что данный материал будет вам полезен при выборе высококачественной теплоизоляции, которая сможет отвечать требованиям не только сегодняшнего дня, но и последующих лет.



# Содержание

Энергосбережение и экономическая целесообразность применения изоляции	4-8
Строительное проектирование	9-12
Теплообмен	13-18
Влажность	19-26
Иней	27-28
Грунтовая теплоизоляция	29-33
Пожарная защита	34-43
Акустика	44-59
Маркировка CE	58

Представляемый материал подготовлен компанией PAROC GROUP и отражает европейский подход к решению проблем энергосбережения, основанный на требованиях ЕС и опыте теплоизоляции строительных конструкций с применением материалов PAROC в странах Северной Европы и, в частности, в Швеции. В этих странах, как известно, климатические условия наиболее близки к Российским, и поэтому данная публикация может быть полезной для отечественных специалистов, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией зданий различного назначения.

Под редакцией:

Шеремет Александр Григорьевич  
- Главный специалист Федерального Государственного учреждения "Федеральный центр оценки продукции в строительстве" (ФГУ "ФЦС")

Борисов Лев Александрович  
- Зав. Лабораторией архитектурной акустики и акустических материалов НИИСФ, Доктор технических наук, профессор, Лауреат Государственной премии РФ.

# Теория изоляции

Разработка надежных и безопасных теплоизоляционных конструкций требует знания всех областей строительной физики. Это и общие принципы, и характеристики изоляционных материалов. Весь представленный материал делится на следующие части:

## **Энергосбережение и экономическая целесообразность применения изоляции**

Изоляция является весомым средством для снижения потребления энергии. Экономически оптимальная толщина изоляции может быть рассчитана, и в большинстве случаев превышать норму.

## **Строительное проектирование**

Во избежание риска необоснованно высокого энергопотребления и опасности разрушения от увлажнения, в строительстве необходимо следовать четырем принципам, которые и описываются в данном разделе.

## **Теплообмен**

Основные определения теплообмена, а также механизм переноса тепла в изоляционном материале и расчет теплопередачи для элементов здания.

## **Увлажнение**

Основные определения и термины, а также ряд примеров расчета в дополнение к перечню практических советов для минимизации риска увлажнения в зданиях.

## **Иней или промерзание**

Причины появления инея, и каким образом можно снизить или предотвратить его образование при применении теплоизоляции.

## **Грунтовая теплоизоляция**

Показано применение минеральной ваты в качестве грунтовой изоляции для конструкций с одной обогреваемой стороной. В главе обобщена информация о различных возможных повреждениях зданий.

## **Пожарная защита**

Описана базовая терминология в дополнение к системе классификации материалов и зданий. В заключении раздел включает графики для определения размеров противопожарной изоляции в различных типах конструкций.

## **Акустика**

Эта часть дает теоретическое описание звукоизоляционных характеристик минеральной ваты для применения в различных конструкциях. Приводятся типичные характеристики минеральной ваты. Также даны общие европейские стандарты, относящиеся к поглощению и снижению шума.

## **Маркировка CE**

В разделе дано краткое описание европейских инструкций по маркировке продукции из минеральной ваты.

# Энергосбережение и экономическая целесообразность применения изоляции

Экономия энергии и теплоизоляция составляют «Главное требование» Директивы ЕС по строительным материалам. Комиссия ЕС таким образом подчеркнула важность строительства зданий с учетом необходимости серьезной экономии и,

соответственно, высокого уровня теплоизоляции. Это было сделано после анализа последствий повышения цен на энергоносители за последние годы и с учетом возросшей озабоченности нашими глобальными экологическими проблемами.

## Энергосбережение

Национальные нормы устанавливают минимальные требования к ограничению потребления тепловой энергии в зданиях. Целью является достижение хорошей экономии энергии. Но что такое хорошая экономия энергии? Для кого хорошая? Для домовладельца? Для арендатора? Для общества?

Противоречий здесь нет. Если выбор сделан в пользу толщины теплоизоляции, наиболее благоприятной для человека (толщина, которая в общем смысле называется оптимальной толщиной), то оказывается, что она, как правило, больше, чем указано в нормах. Кроме того, это обеспечивает более комфортный микроклимат в помещениях и, вследствие низкого энергопотребления теплоизоляции, не нарушается экологический баланс, которому уделяется все больше внимания со стороны общества.

Расчет оптимальной толщины изоляции базируется на сроке службы здания. Качественная изоляция не требует ремонта и замены. Обычно срок службы изоляции приравнивается к 50 годам, что соответствует ориентировочному сроку эксплуатации здания. Однако, этого слишком мало. Если расчет конструкции проведен правильно, и ничто не будет отрицательно влиять на установленную теплоизоляцию, то она будет иметь заложенный изолирующий эффект в течение всего периода эксплуатации, и мы не сможем определить возраст образца изоляции. Срок её службы практически не ограничен. Поэтому анализ срока службы конструкции с изоляцией из минеральной ваты показывает, что объем применения изоляции должен быть значительно больше, чем определено в нормах. Таким образом, важно, чтобы соответствующая теплоизоляция выбиралась с учетом нового строительства или реконструкции. Для всего периода эксплуатации здания едва ли найдутся более действенные меры, способные повысить энергоэффективность и принести выгоду домовладельцу, чем эффективная теплоизоляция.

Даже если использование лучшего, чем требова-

лось по нормам, типа изоляции приводит к росту расходов, это все равно остается самым недорогим средством относительно ее эффективности. Дополнительные расходы могут рассматриваться, как очень недорогая страховка по сравнению с тем, что может произойти в будущем. С экономической точки зрения целесообразно учитывать рост цен на энергию таким образом, чтобы можно было избежать будущих капиталовложений в дополнительную изоляцию. Можно сказать, что выбор в пользу более высокого стандарта изоляции является выгодной подстраховкой относительно будущего подъема цен на энергию.

## Общий баланс внешних условий для изоляции из минеральной ваты

■ Положительное влияние      ■ Отрицательное влияние

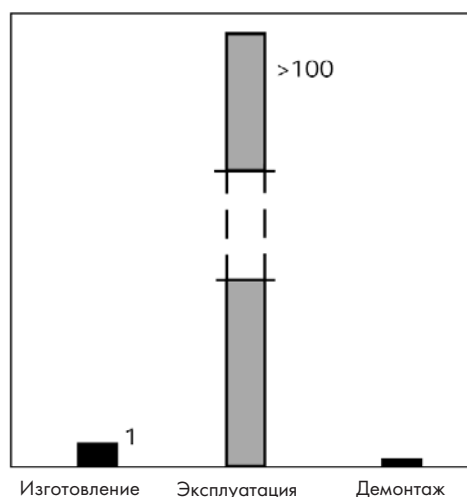


Рис. 1

## Влияние на окружающую среду

Как теплоизоляция влияет на окружающую среду?

Причиняет ли производство и перевозка изоляции значительный вред окружающей среде?

Что происходит с изоляцией после демонтажа?

Применение теплоизоляции не наносит вреда окружающей среде – это положительный фактор. Производство, включая добычу сырья, транспортировку и монтаж изоляции: - факторы отрицательные, которые быстро компенсируются уже в течение первого года эксплуатации теплоизоляции. Поэтому с точки зрения влияния изоляции на окружающую среду пользы в сотни раз больше, чем вреда.

Если рассматривать весь срок службы здания, то около 85% от суммарного негативного воздействия на окружающую среду приходится на период его эксплуатации и технического обслуживания. Преобладающим является потребление энергии, затрачиваемой на отопление и обеспечение горячей водой. Около 15% приходится на производственный процесс и менее 1% - на демонтаж. Несложно показать, принимая во внимание влияние материала на окружающую среду в течение всего срока его эксплуатации, что капиталовложения в дополнительную изоляцию многократно окупаются. Дополнительная изоляция также оправдана и чисто личными экономическими выгодами.

### Общее воздействие здания на окружающую среду

■ Стандартная теплоизоляция ■ Увеличенная толщина теплоизоляции

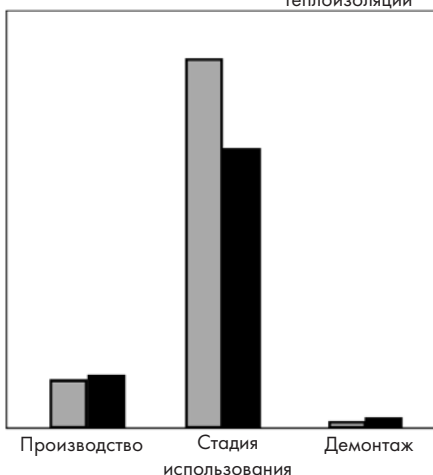


Рис.2

### Оптимальная толщина теплоизоляции

Обычно расчет оптимальной толщины изоляции осуществляется отдельно для каждой из конструкций здания. В этом случае принимается во внимание

влияние увеличения стоимости утеплителя при его большей толщине на увеличение стоимости здания. Но в то же время необходимо учитывать снижение ежегодного энергопотребления здания. Здесь приведен схематичный пример обычных чердачных балочных перекрытий, где целесообразная толщина равна 0,50 м. Она находится в нижней точке кривой, выраженной как наименьшие ежегодные расходы на содержание здания и энергопотребление.



Рис.3

На графике также показано нахождение оптимальной толщины изоляции с точки зрения влияния её на окружающую среду. Кривая представляет собой обобщенное влияние материала на окружающую среду после строительства и во время эксплуатации. По этой кривой оптимальная толщина изоляции для чердачных балочных перекрытий составляет нереальную величину - 2,5 м.

Это происходит, главным образом, благодаря тому, что дополнительное влияние на окружающую среду при увеличении толщины порождаются самой изоляцией. Расчет показывает, что капиталовложения в изоляцию толщиной, превышающей нормативную, по существу, являются также капиталовложениями в нашу окружающую среду.

### Дом как энергетическая система

Если нам надо было бы построить дом, удовлетворяющий требованиям по экономии энергии, мы бы рассматривали картину в целом, а не просто отдельные её части. Поэтому применение дополнительной изоляции позволит выбрать более простую систему отопления. Следует также принимать во внимание, что различные элементы здания имеют свой срок эксплуатации. Мы рекомендуем изучить на стадии подготовки влияние различных схем изоляции на выбор системы отопления в доме.

## Расчет теплоизоляции

На отопление и обслуживание зданий приходится около 40% общего энергопотребления в Европе. Поэтому имеется большой потенциал для сокращения энергопотребления. Особенно важно, чтобы во время строительства использовались оптимальные изоляционные решения. Даже во время реконструкции (ремонта) вы должны рассматривать вопрос применения дополнительной изоляции конструкций.

Далее дается расчет оценки целесообразности толщины изоляции. Данный метод используется для расчета экономически оптимальной толщи-

ны теплоизоляции в зависимости от схем применения.

SC (saving cost) - метод определяет уровень изоляции, приводящий к максимальному снижению ежегодных затрат при выбранных предварительных условиях расчета. Точка минимума достаточно ровная, что означает минимальный рост эксплуатационных расходов при выборе толщины теплоизоляции, незначительно превышающей стандартную. Можно сказать, что это небольшая награда на фоне будущего увеличения стоимости энергии.

### Важное условие

К 2006 году каждая страна-участница Европейского сообщества включила Директиву о требованиях к энергопотреблению зданий в своё законодательство. Это существенно изменило в части энергопотребления зданий строительные нормы и правила. Новые нормы разработаны, исходя из общего энергопотребления здания с учетом потерь тепла через изоляционные ограждения, вентиляционную систему, а также возврата тепла от устройств регенерации, солнца и других источников.

Однако, снижение энергопотребления частных зданий может произойти только при условии создания в них изолированного климатического экрана. Только в этом случае возможен энергосберегающий эффект от изоляции.

Высокие требования по теплоизоляции полов, стен, кровли и окон ведут не только к снижению энергопотребления, но и к уменьшению потребности в электроэнергии, сокращению отопительного периода. Введение корректив позволило усовершенствовать методы сохранения энергии и создать условия для применения более простых отопительных систем.

Высокие требования к теплоизоляции - это капиталовложения с очень высокой рентабельностью в течение неограниченного времени при отсутствии дополнительных расходов и технического обслуживания.

### SC-метод

SC - это затраты на экономию. SC-метод служит для сравнения затрат на энергосбережение – затрат на экономию – и текущей цены на энергоносители. Толщина теплоизоляции постепенно увеличивается, и остается подсчитать предельные затраты на экономию. Поскольку они ниже текущих цен на энергоносители, меры по использованию теплоизоляции верны.

Затраты на экономию - SC – рассчитываются по следующей формуле:

$$SC = \frac{\Delta I}{V \cdot \alpha}, \text{ Евро/кВт} \cdot \text{ч}$$

где:

- $\Delta I$  = возросшие инвестиционные затраты (Евро/м<sup>2</sup>)
- $V$  = энергосбережение за год (кВтч/м<sup>2</sup>)

Энергосбережение рассчитывается следующим образом:

$$V = \Delta U \cdot Q$$

где  $\Delta U$  - уточненный коэффициент теплопередачи и  $Q$  - потребление тепла на фактической площади около 1000 градусо-час/год.

–  $\alpha$  - поправочное значение, учитывающее время полной амортизации ( $n$ ), реальное повышение стоимости энергоносителей ( $q$ ), расчетную реальную окупаемость вложений ( $r$ ) и вычисляется по следующей формуле.

$$\alpha = \frac{1-t^n}{1-t}; \quad t = \frac{1+q}{1+r}$$

–  $n$  = время полной амортизации (годы).

Следует обратить внимание на то, что если формула используется для расчета показателя, для которого предусмотрено техническое обслуживание, в  $\Delta I$  тоже заложено текущее значение годовых затрат на обслуживание.

## Средние и предельные затраты на экономию

Финансовая прибыль от каждого дополнительного сантиметра теплоизоляции снижается по мере увеличения ее толщины. Рентабельно увеличивать толщину изоляции до тех пор, пока последний сантиметр будет окупаться. Иными словами, пока экономия будет превосходить затраты.

Используя предельные затраты на экономию –  $SC_{\text{пред}}$  можно рассчитать последствия постепенного увеличения толщины.

**Для максимальной финансовой прибыли  $SC_{\text{пред}}$  должна быть такой же, как и текущая цена на энергоносители.** Это определяет оптимальную с финансовой точки зрения толщину. Как только оптимальная величина будет определена, можно подсчитывать сумму общей прибыли путем вычисления средних затрат на экономию, то есть  $SC_{\text{средн}}$ .

**ПРИМЕЧАНИЕ!** Для достижения рентабельности изоляции  $SC_{\text{средн}}$  всегда ниже  $SC_{\text{пред}}$ . Обычно это относится также к следующему определению:

- $SC_{\text{пред}}$  определяет толщину изоляции
- $SC_{\text{средн}}$  характеризует рентабельность.

## Рентабельность

**Пример.** Ниже мы покажем, каким образом рассчитывается экономически оптимальная теплоизоляция здания. Примером будет служить особняк в центре Швеции с деревянной мансардой, в качестве теплоизоляции которой была использована неплотная вата Рагос. Расчеты оптимальной толщины были проведены на компьютере.

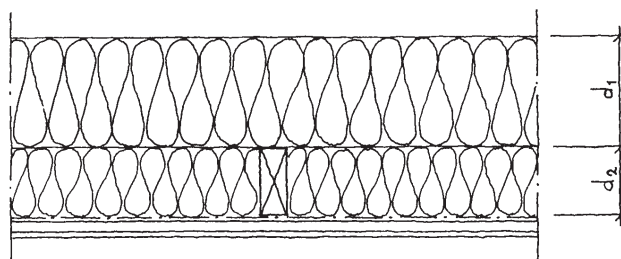


Рис.2 Деревянные перекрытия

Условия расчета:

- Текущая цена на энергоносители 60 SEK/кВт·час.
- Ставка рефинансирования 4 %
- Реальное ежегодное повышение цен на энергоносители 2 %
- Срок службы,  $n$  50 лет
- Количество потребляемого тепла,  $Q$   $110 \cdot 10^3$  К·час/год
- Расходы на увеличение толщины изоляции на 1 см 3 SEK
- $\alpha_D$ , рассчитана, исходя из приведенной выше процентной цены на энергоносители и времени полной амортизации 32,4
- $\lambda_D$  изоляции 0,042 Вт/м К

Примечания:

- SEK – шведская крона;
- термин  $Q$  соответствует принятому в России понятию «количество градусосуток отопительного периода»;
- $\lambda_D$  – декларированное значение теплопроводности продукции при 10°C

В расчетах использованы следующие значения термического сопротивления:

Сооружение	R м² К/Вт
Сопротивление теплопередаче поверхности + кровля + внутреннее покрытие	0,47
d <sub>2</sub> = 170-мм неплотная вата, 5 %-нормированное распределение	3,85
d <sub>1</sub> * неплотная вата без учета деревянной конструкции	d <sub>1</sub> / 0,042

\* постепенное повышение до получения экономически оптимальной толщины.

Мы решили начать расчеты с толщины теплоизоляции 170 + 50 мм. Получили значение U<sub>p</sub>, равное 0,205 Вт/м² К. При увеличении толщины изоляции на 20 мм вложения повысились на 6,00 SEK/м². В то же время значение U упало на 0,018 Вт/м² К.

Примечание:

U – коэффициент теплопередачи

Экономия энергии составит:

$$V = \Delta U \cdot Q = 0,018 \cdot 110 = 1,98 \text{ кВт}\cdot\text{час}/\text{м}^2$$

С учетом энергосбережения, разницы в инвестициях и прочих условий вышесказанное можно выразить так:

$$SC_{\text{marg}} = \frac{\Delta I \cdot 100}{V \cdot \alpha} = \frac{6,0 \cdot 100}{1,98 \cdot 32,4} = 0,0935 \text{ SEK}/\text{кВт}\cdot\text{час}$$

Толщина рентабельна, начиная от SC<sub>marg</sub> < 0.60 SEK/кВт-час.

Соответствующий расчет выполняется для каждого случая увеличения толщины изоляции для SC<sub>marg</sub>, пока она не превысит действующие цены на энергоносители. Увеличение толщины выбирают в соответствии со стандартами с шагом 20 – 30 мм.

В соответствии с этим расчетом получается, что на сегодняшний день оптимальная толщина изоляции рассматриваемой конструкции составляет около 650 мм.

**Средние затраты** на экономию определяются расчетом общего процесса увеличения толщины изоляции от 220 до 650 мм.

$$V = \Delta U \cdot 110 = (0,205 - 0,093) \cdot 110 = 12,3 \text{ кВт}\cdot\text{час}/\text{м}^2$$

$$SC_{\text{average}} = \frac{\Delta I \cdot 100}{V \cdot \alpha} = \frac{38 \cdot 3 \cdot 100}{12,3 \cdot 32,4} = 0,29 \text{ SEK}/\text{кВт}\cdot\text{час}$$

Предпринятые мероприятия весьма рентабельны от SC<sub>средн</sub> < 0.60 SEK/ кВт-час

Район (Швеция)	Температура в доме		
	18°C	20°C	22°C
Kiruna	156	175	194
Arjeplog	150	166	182
Piteå	140	155	170
Lycksele	131	146	161
Östersund	122	136	150
Härnösand	111	123	135
Falun	109	121	133
Gälve	103	114	125
Örebro	98	109	120
Nyköping	95	106	117
Visby	89	99	109
Kalmar	88	98	108
Göteborg	82	91	100
Malmö	79	88	97

Таблица 5: Потребление тепла Q при различных температурах в доме.



## Строительное проектирование

При проектировании важно, чтобы дом выглядел как одно целое, а не как набор из отдельных элементов.

Даже если расчет тепловых потерь выполнен теоретически правильно, нет гарантии, что на практике результат будет таким же. Сооружение должно быть выполнено профессионально. Это означает, что работа должна вестись правильно и точно.

### • Паровоздушные барьеры

В малоэтажных зданиях, выполненных из неплотных стеновых материалов, как правило, должен быть предусмотрен воздухонепроницаемый слой, так называемый паробарьер. Данный слой располагается изнутри, и он должен не только препятствовать движению влаги изнутри наружу, но, кроме того, обеспечивать воздухонепроницаемость здания. В случаях же, когда стеновые материалы обладают достаточной плотностью (бетон, кирпич), их воздухо- и паропроницаемость являются незначительными. Кроме того, для обеспечения нормальной и комфортной эксплуатации здания, особенно жилого, важно препятствовать накоплению влаги в помещениях. В случае, если устраивается пароизоляция ограждающих конструкций, проектом должна предусматриваться принудительная вентиляция для удаления избыточной влаги.

### • Монтаж теплоизоляции

Теплоизоляция должна занимать все отведенное ей пространство. Не должно быть воздушных зазоров. Особенно важно избегать воздушных зазоров на "теплой" стороне изоляции. В случае неплотного прилегания может возникнуть циркуляция воздуха, создается вынужденная конвекция, которая может существенно снизить расчетную эффективность использования изоляции.

Если применяемые материалы и качество строительства совершенны, получится определенный запас надежности в отношении расчетной стоимости. Однако любые ошибки в исполнении работ или дефекты в готовом здании могут повлиять на эффективность и долговечность изоляции.

Следует обратить особое внимание на следующие моменты:

### • Защита от ветра

Важным фактором надежной теплозащиты является защита от проникновения холодного воздуха снаружи вовнутрь через конструкции стен. Поэтому необходимо предусматривать надежную ветрозащиту, как правило, с внешней стороны теплоизоляционного слоя. Ветрозащита должна быть адаптирована к изоляционному материалу, материалу ограждающей конструкции и общим конструктивным решениям здания.

### • Вентилируемое воздушное пространство

Обычно за фасадным слоем или под кровлей предусматривается воздушное пространство, вентилируемое наружным воздухом. Благодаря воздушной прослойке, присутствующая и попадающая извне влага должна выветриваться. Воздушная прослойка играет роль защитного механизма в случае вероятностного отсутствия герметичности в каком-либо элементе конструкции. Кроме того, назначение воздушного зазора в системах фасадного утепления или воздушных "каналов" в кровле заключается в том, чтобы удалять влагу, проходящую изнутри помещения через ограждающую конструкцию и слой теплоизоляционного материала. По этой причине считается, что паропроницаемость каждого следующего слоя многослойной конструкции по направлению от ограждающей конструкции здания вовне должна, как минимум, не снижаться.

Этим принципам весьма важно следовать с целью избегания риска неоправданно высокого энергопотребления, а, в худшем случае, и разрушения от увлажнения теплоизоляции и несущих конструкций. Теперь настало время практических советов по каждому из пунктов.

## Пароизоляция

Современный дом должен быть герметичен, вентиляция должна работать в соответствии с расчетами. Поэтому необходима паровоздушная изоляция; она будет функционировать в течение всего срока эксплуатации дома. Обычно в конструкцию встраивается полимерная пленка, которую помещают на «теплой стороне» изоляции. Другие материалы, например, бетон, обеспечивают герметичность.

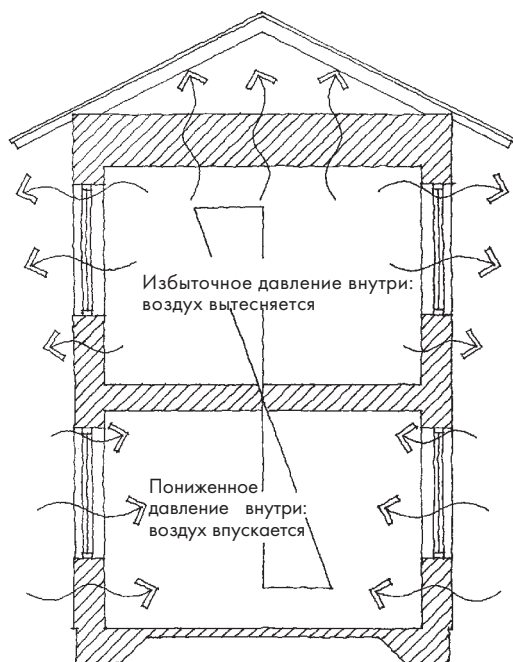


Рис. 6

Правильно работающая паровоздушная изоляция особенно необходима при повышенном давлении в помещении. Это случается почти всегда зимой в верхней части здания. Если чердачное балочное перекрытие негерметично, теплый и сырой воздух проникает в конструкцию и конденсируется. Последствия могут быть серьезными - разрушение, вызванное плесенью. Кроме того, изоляция должна быть сухой, в противном случае ее изолирующие свойства значительно снизятся.

Конвекция во влажностных условиях, то есть влага, которая вместе с воздухом проникает в элементы конструкции, более опасна, чем диффузия влаги, то есть влага, переносимая вследствие разницы в паросодержании. Соответственно, герметичность является весьма важным фактором. Изоляция должна предотвращать также доступ паровой диффузии в конструкцию, иначе водяной пар будет конденсироваться, что может привести к разрушению конструкций. Зимой вынуждающая сила диффузии выше благодаря повышенной влажности внутри помещения. Если теплоизоляция положе-

на с наружной стороны, влага будет конденсироваться внутри изоляционного слоя, и необходимо предусмотреть ее выход согласно вышеуказанным принципам.

Обычно паровоздушный слой представляет собой полимерную пленку толщиной 0,2 - 0,5 мм. В отношении балочных перекрытий должен соблюдаться стандартный минимум, и они должны быть герметичными. Сообщается о большом количестве разрушений в зданиях, где были намеренно созданы условия негерметичности, что позволяло дому "дышать". Наша компания совершенно определенно предостерегает от принятия таких решений. Будьте осторожны при создании паровоздушной изоляции. Наиболее критическими точками являются:

- Соединения между различными элементами здания
- Технологические маршруты для прокладки трубопроводов, электрики или вентиляционных механизмов
- Соединения в изоляции

### ПОДУМАЙТЕ ОБ ЭТОМ:

- Следует укладывать герметичный слой, например, полимерную пленку толщиной 0.2 мм, на внутренней стороне изоляции во избежание утечки воздуха и паровой диффузии.
- По возможности, прокладку кабеля проводить на внутренней стороне полимерной пленки.
- Подумать о герметизации всех соединений и технологических маршрутов. Использовать прочную пленку, адгезив, состав для заделки швов или другие специальные приспособления.
- Заполнить и уплотнить зазоры.
- На кровлях из бетона или легкого бетона теплоизоляция должна защищать здание от влаги.
- На непрветриваемых с низким наклоном кровлях с накатом всегда следует предусматривать паровоздушную вентиляцию на настиле крыши. Это становится особенно важным в случае, если активная жизнедеятельность в помещении увеличивает влажностное содержание в воздухе.
- Не рекомендуется использовать полимерную пленку в конструктивных элементах, находящихся в непосредственном контакте с почвой, например наружные стены подвала, пол подвала или цокольные плиты. По сравнению с воздухом в помещениях влажностное содержание земли всегда выше. Поэтому основная часть теплоизоляции должна быть проложена, соответственно, снаружи и снизу. Если изоляция используется внутри, эффективный паронепроницаемый слой должен находиться под изоляцией, предназначенной для цокольных плит или пола подвала. Паронепроницаемый слой не используется на обращенной к изоляции стене подвала. Дерево не должно соприкасаться с опорными элементами.

## Укладка теплоизоляции

Ячеистая или волокнистая структура изоляционного материала способствует движению воздуха и, в этом случае, перенос тепла существенно снижается. Поэтому важно, чтобы изоляция полностью заполняла отведенное ей пространство. В противном случае в незаполненных промежутках и пустотах начнет «гулять» воздух.

Поскольку теплый воздух легче холодного, он распространяется по наружной стене, поднявшись по теплой стороне изоляции и опустившись на холодную внешнюю. Интенсивность воздухообмена возрастает по мере увеличения разницы температур в теплоизоляции.

Важно избегать пустых пространств, полостей, промежутков и других дефектов изоляции, в особенности, на теплой стороне. Если холодный внешний воздух попадет внутрь изоляции, в конструкции возникают "мостики холода".

## Ветрозащита

Ветрозащита призвана помешать воздуху за фасадной панелью или наружной стеной ухудшить изолирующие свойства теплоизоляции. Таким образом, воздух, который перемещается параллельно изоляции, должен быть надежно изолирован при помощи ветрозащиты, препятствующей распространению воздуха сквозь конструкции.

Требования к ветрозащите определяются, исходя из предполагаемой скорости движения воздуха за фасадным слоем. По сравнению, например с деревянной панелью кирпичная фасадная панель существенно снижает движение воздуха. Скорость воздушного потока в высоких, или расположенных на открытых территориях зданиях выше, чем в низких или защищенных от ветра зданиях. Особенно внимательно следует относиться к ветрозащите в углах здания из-за большой разницы в давлении ветра между сторонами.

### ПОДУМАЙТЕ ОБ ЭТОМ:

- Нарезать изоляцию следует по соответствующим размерам с таким расчетом, чтобы при монтаже обеспечить абсолютное заполнение расчетного пространства.
- Длина и ширина нарезанной каменной ваты должна быть немного больше, особенно в случае использования изделий с низким объемным весом. Не должно оставаться пустого пространства между теплоизоляцией и окружающими поверхностями.
- Если возможно, следует монтировать теплоизоляцию в несколько слоев, предусмотрев перехлест стыков теплоизоляционных плит.
- Паронепроницаемый слой и теплоизоляцию следует класть плотно друг к другу.

### ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ:

- Ветрозащита не так герметична по сравнению с паро- или гидроизоляцией, чтобы препятствовать влаге, попадающей в конструкцию извне.
- Следует обратить особое внимание на защиту от ветра на углах здания.
- Следуйте рекомендациям, которые можно собрать из приведенных ниже данных. В их основе лежит многолетний опыт, и они гарантируют надежную эксплуатацию. Если принято альтернативное решение, риск лежит только на вас. Если это необходимо, проконсультируйтесь с изготовителем или квалифицированным экспертом.

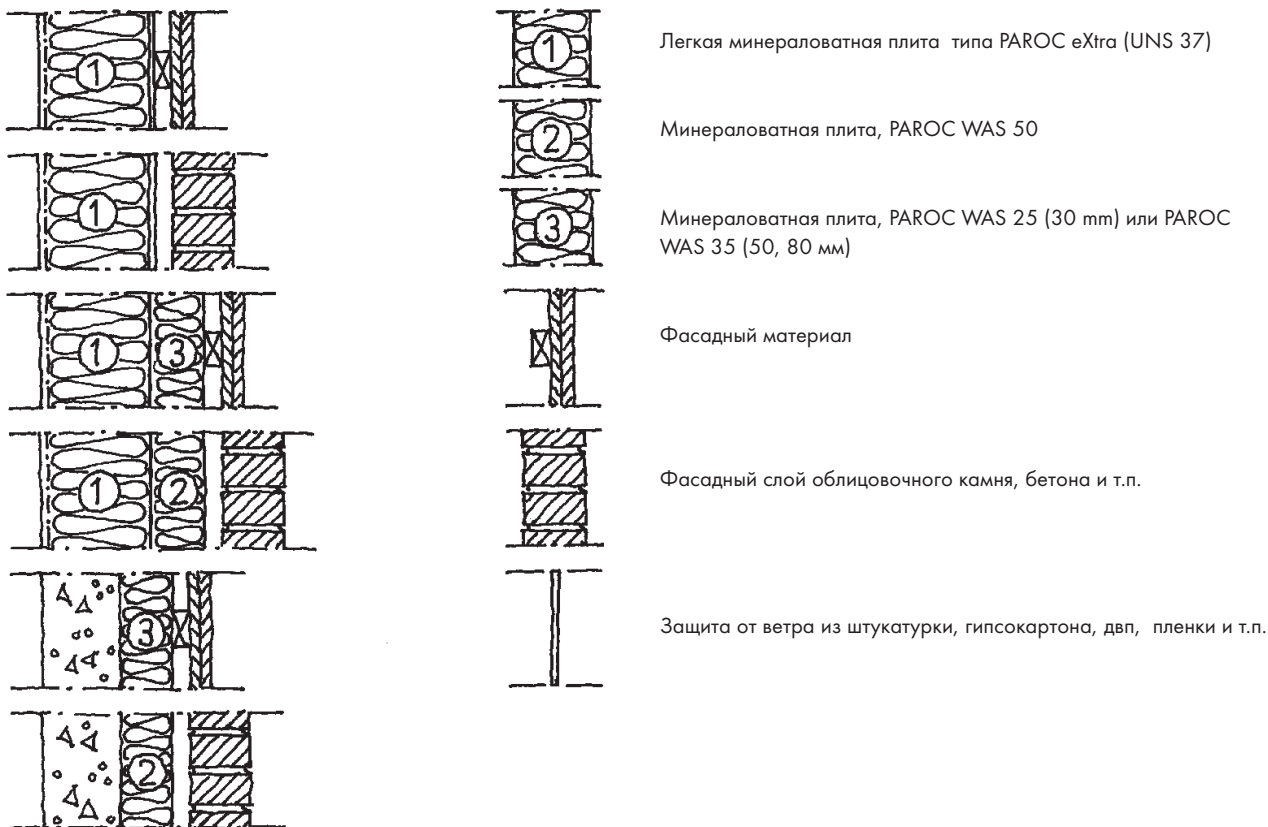


Рис. 7

## Вентилируемое воздушное пространство

За фасадным слоем и под кровлей должно быть предусмотрено вентилируемое воздушное пространство (зазор). Задача воздушного зазора заключается в том, чтобы выветривать (а в стенах дренировать) проникающую влагу извне и изнутри здания.

Ширина воздушного зазора должна составлять, по крайней мере, 20 мм, и необходимо следить за отсутствием остатков раствора, элементов конструкции и т.п., препятствующих свободному движению воздуха в зазоре.

### ПОДУМАЙТЕ ОБ ЭТОМ:

- Если обратная сторона фасадного материала гладкая, то реечные гвозди или тому подобное не должны закупоривать воздушное пространство.
- Если во избежание распространения пожара необходимо герметизировать ребро перекрытия, следует остановить свой выбор на пропускающей воздух минераловатной плите.
- Следует построить надлежащую вентиляцию на венчающих карнизах чердачного балочного перекрытия и дополнить ее вентиляцией на коньке крыши и на фронтоне.
- Следуйте рекомендациям, которые можно собрать из приведенных ниже данных. В их основе лежит многолетний опыт, и они гарантируют надежную эксплуатацию. Если принято альтернативное решение, риск лежит только на вас. Если это необходимо, проконсультируйтесь с изготовителем или квалифицированным экспертом.

# Теплообмен

Теплопередача или перенос тепла от более теплого к более холодному телу, в принципе, может происходить следующим образом:

- 1) Теплопроводность – перенос тепла через твердые/жидкие материалы.
- 2) Конвекция – перемещение тепла в подвижной жидкой среде или газе.
- 3) Излучение – перенос тепла посредством электромагнитных волн.

Теплопередача в непрозрачном материале происходит путем теплопроводности. Конвекция и излучение переносят тепло в жидкостях и газах. Теплопередача в вакууме возможна только с помощью излучения.

Материалы, используемые в качестве теплоизоляции, полностью пористые; часть материала заполнена газом, а чаще всего воздухом. Теплопередача в традиционных изоляционных материалах происходит в результате теплопроводности, конвекции и излучения.

Теплоизоляционные свойства материала определяются показателем теплопроводности (на рисунке обозначен символом «λ»).

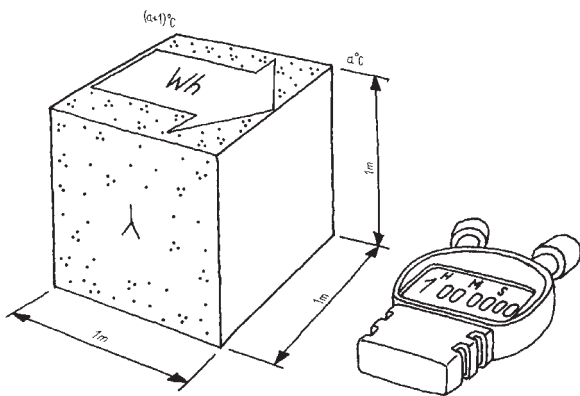


Рис. 8

## Теплопроводность

Теоретически теплопередачу можно вычислить, исходя из законов физики, однако на практике выполнение расчетов вызывает затруднения. Коэффициент теплопроводности измеряется в различных материалах. Он представляет собой количество тепла (ватт-час), проходящего через слой толщиной

1 метр на площади в 1 м<sup>2</sup>, разница температур в материале составляет 1°С. Рис. 8 иллюстрирует вышесказанное, и данное определение может быть записано математической формулой:

$$\frac{W \cdot h \cdot m}{h \cdot m^2 \cdot K}$$

которая может быть сокращена до Вт/м К.

Пользуясь данной формулой, можно представить теплопроводность в виде символа. Это - греческая буква λ, (лямбда)

### Значение λ

λ может использоваться при вычислении количества тепла, которое перенесено через конкретный материал за определенный период времени.

Например:

Если два тела, площадью А и температурой t<sub>1</sub> и t<sub>2</sub>, разделены изолирующим материалом с коэффициентом теплопроводности λ толщиной d, то за период времени h через изолирующий материал переносится количество тепла Q. См. рис.9

$$Q = \frac{\lambda}{d} \cdot (t_2 - t_1) \cdot A \cdot h$$

Чем меньше значение λ, тем выше изолирующая способность материала. Обычные изоляционные материалы имеют значение приблизительно λ = 0.03 — 0.04 Вт/м К (измерения выполнялись в лабораторных условиях со средней температурой около 10 °С).

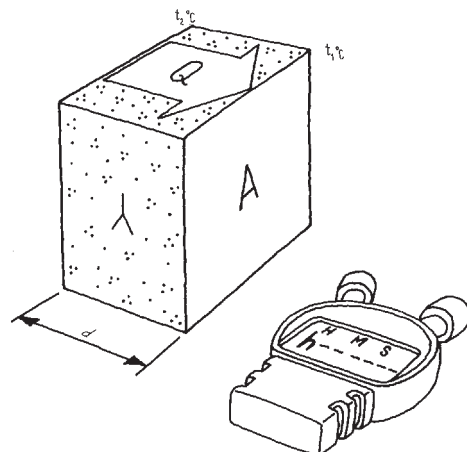


Рис. 9

### Каким образом структура материала влияет на теплопроводность?

Изоляционные свойства материала зависят от плотности материала, которая, в свою очередь, зависит от пористости материала. Пористость достигается различными способами.

В ячеистых пластмассах, таких как XPS (экструдированный пенополистирол) внутреннее пространство является закрытопористым. Материал-основа оказывается полностью связанным и жестким.

Пористость минераловатных изделий совершенно другая. Объем пор непрерывен и материал-основа контактирует с волокнами только в определенных точках.

### Перенос тепла

Если воздушный зазор разделяет две поверхности с разной температурой, происходит перенос тепла с более теплой поверхности на более холодную. Тепловой поток, проходящий через воздушный зазор на м<sup>2</sup> за час, можно выразить следующим образом:

$$q = \frac{\lambda_{\text{air}}}{d} \cdot (t_2 - t_1)$$

$\lambda_{\text{air}}$  состоит из трех частей:

$\lambda_{\text{T}}$  = фактическая теплопроводность воздуха

$\lambda_{\text{K}}$  = конвективная составляющая (конвекция)

$\lambda_{\text{И}}$  = радиационная составляющая (излучение)

Значение, отраженное на Рис.10, соответствует 100-миллиметровому воздушному столбу между деревянными поверхностями (а не между блестящими металлическими поверхностями).

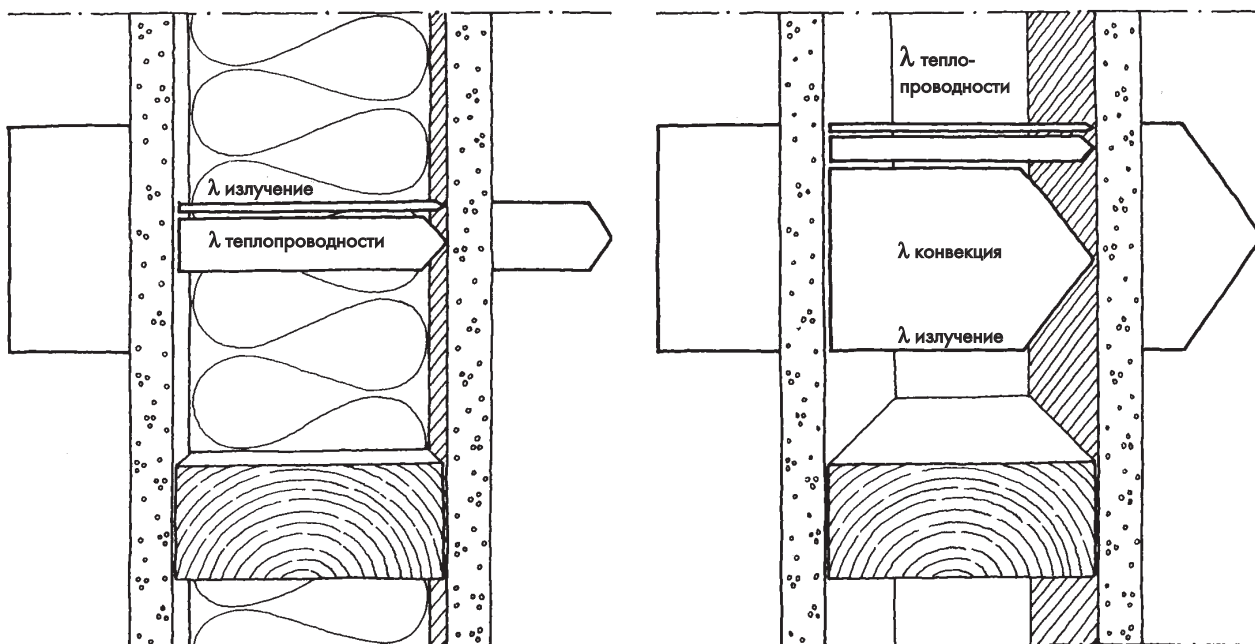


Рис. 10 Составляющие теплопроводности  $\lambda$  каменной ваты Роквол и воздушного столба при переносе тепла

Если пористый изоляционный материал попадает в воздушный зазор, то последний оказывается разделенным либо стенками ячеек, либо волокнами. Конвекция в воздушном зазоре прекращается почти полностью по мере того, как в результате разделения объема замедляется движение воздуха. Фактор излучения, будучи доминирующей формой переноса тепла, существенно снижается, и появляется много небольших ячеек или волокон, которые переносят излучение при очень незначительной разнице температур. Если изоляционный материал заполнен воздухом, фактическое тепловое излучение через воздух не меняется. Наряду с указанными тремя факторами переноса тепла в теплопередаче участвует и теплопроводность через изоляционный материал-основу, а именно пористый или волокнистый материал.

Аналогично случаю с фактором конвекции, фактор излучения тем ниже, чем меньше волокон или ячеек в изоляционном материале. Для снижения суммарного теплового излучения могут быть использованы волокна или ячейки. С другой стороны, увеличение количества изоляционного материала приведет к повышению удельной теплопроводности через материал-основу. Поэтому, чем больше волокон располагается на единице массы в волокнистом материале, тем лучше.

	Изоляция Вт\м К		Воздушный зазор Вт\м К	
$\lambda_T$	0.028	(82%)	0.025	(4%)
$\lambda_k$	0.000	(0%)	0.116	(19%)
$\lambda_{и}$	0.06	(18%)	0.476	(77%)
	0.034	(100%)	0.617	(100%)

### Влияние плотности на изолирующую способность каменной ваты Paroc

Следующие пять цифр указывают на то, каким образом изменяется изолирующая способность каменной ваты Paroc в зависимости от плотности с учетом четырех указанных факторов переноса тепла, а также суммарной удельной теплопроводности.

#### Конвекция

Из-за разницы температур в каменной вате может возникнуть конвекция. На рисунке видно предельное влияние конвекции при плотности 20 кг/м<sup>3</sup> или выше. Вся продукция Paroc на рынке выше упомянутой плотности.

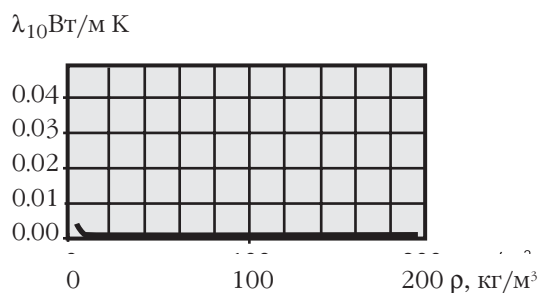


Рис.11 Эффект конвекции

#### Теплопроводность через воздух

Теплопроводность через неподвижный воздух вносит огромный вклад в суммарную теплопередачу через изоляционный материал и лишь немного изменяется в зависимости от плотности. Это обусловлено тем, что волокнистый материал, при всех обстоятельствах, занимает небольшую часть общего объема.

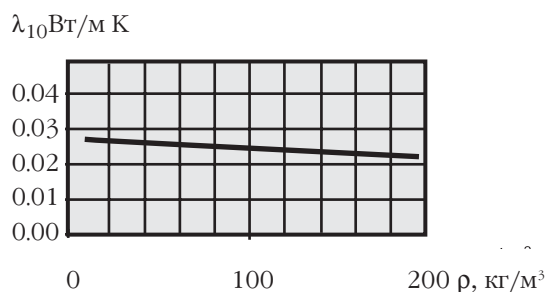


Рис.12 Эффект теплопроводности в воздухе

### Излучение

Фактор излучения находится в сильной зависимости от плотности каменной ваты и при низкой плотности может доминировать. Кроме того, следует отметить, что фактор излучения зависит и от температуры, поэтому при высоких температурах он повышается.

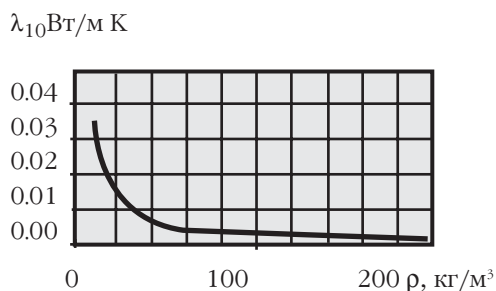


Рис. 13. Эффект излучения.

### Удельная теплопроводность через волокнистые материалы

Объем волокна увеличивается пропорционально плотности (при аналогичном диаметре волокна), то же самое происходит и с фактором теплопроводности волокна.

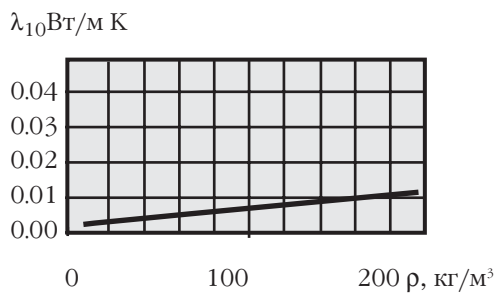


Рис. 14: Эффект конвекции в волокнах

График будет выглядеть по-другому, если состав в материале изменится.

### Суммарная теплопередача

Если к указанным факторам добавить суммарную теплопередачу, получится график, на котором показан коэффициент теплопроводности каменной ваты  $\lambda_{10}$  в зависимости от плотности. На графике показана минимальная теплопроводность при плотности около 80 кг/м<sup>3</sup>. Однако уровень минимума изменяется в зависимости от температуры.

Вышеописанная связность теплопроводности и плотности применима для большинства изоляционных материалов, но с различными цифровыми значениями.

Следует отметить, что данная зависимость для случая каменной ваты может меняться, так как с целью получения оптимальных монтажных свойств и предела прочности при сжатии ориентация волокон может быть изменена.

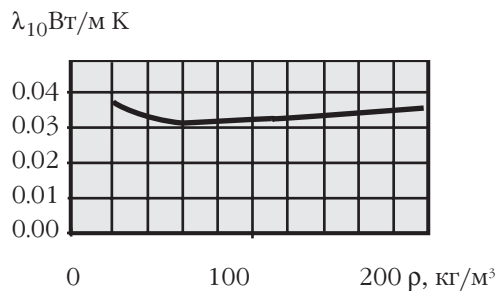


Рис. 15 Взаимозависимость между коэффициентом теплопроводности и плотностью.

### Использование $\lambda$ для расчетов

Именно значение  $\lambda_{10}$  со статистическими изменениями используется при расчете состояния теплоизоляции в здании. В положении Европейского комитета по стандартам (EN) она названа  $\lambda_D$ , где D – заявленная величина (declared). В EN-10456 подробно описан способ расчета  $\lambda_D$ . В местном строительстве при расчете  $\lambda_D$  могут использоваться данные, утвержденные государственными органами.  $\lambda_{10}$  при внедрении специальной продукции всегда опирается на текущие значения  $\lambda_D$ .



## Температурная зависимость коэффициента теплопроводности

Коэффициент теплопроводности каменной ваты увеличивается с ростом средней температуры. Увеличение в температурном интервале 0 – 100° С составляет приблизительно 0,5 % на 1 градус по Цельсию относительно более легкого продукта, и примерно 0,3 % на 1 градус по Цельсию относительно более тяжелого продукта.

Это зависит от того, что теплопередача путем излучения и удельной теплопроводности через неподвижный воздух увеличивается с повышением температуры. Конвекция и теплопроводность гораздо меньше зависят от температуры.

На Рис.16 показана зависимость коэффициента теплопроводности от температуры при различной плотности.

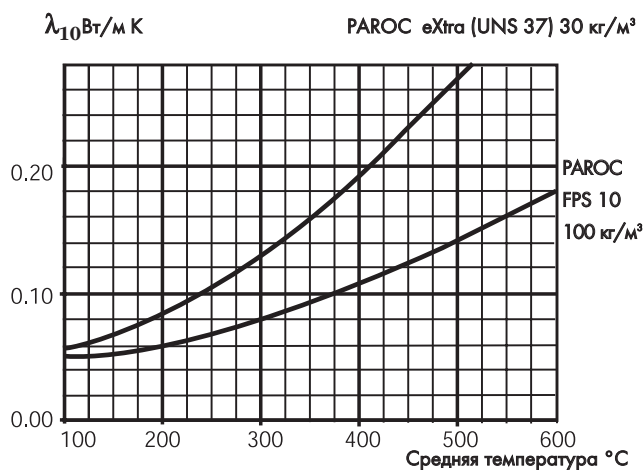


Рис.16 Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры при различной плотности (PAROC eXtra - 30 кг/м³, PAROC FPS 10 - 100 кг/м³)

На Рис.17 показан коэффициент теплопроводности в зависимости от плотности и средней температуры. Из рисунка видно, что  $\lambda$ -минимальная движется в сторону повышенной плотности, где при высокой температуре происходит теплопередача. Это означает, что для изоляционных работ в условиях высоких температур выгоднее использовать материалы с высокой плотностью.

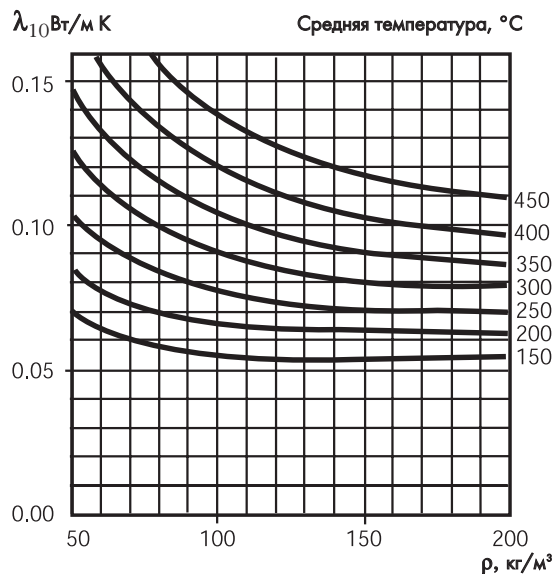


Рис.17. Зависимость  $\lambda$ -значения от плотности и средней температуры

Кроме того, следует отметить, что  $\lambda$  всегда используется вместе с величинами средней температуры, при которых она измерялась. Для расчета изоляции здания брался коэффициент теплопроводности  $\lambda_{10}$ , указывающий на то, что значение  $\lambda$  было измерено при 10° С.

## Зависимость теплопроводности от содержания воды в изоляционном материале

Присутствие воды в изоляционном материале, естественно, оказывает отрицательное влияние на коэффициент теплопроводности. При изготовлении каменной ваты Paroc характеристики ваты дополнены водоотталкивающими свойствами, и на практике это проявляется в стойкости каменной ваты к воздействию воды. Материал будет поглощать воду только в спрессованном состоянии. Опыт показывает, что достичь содержание воды более 0,5% от объема утеплителя практически невозможно.

Объем поглощаемой воды минимален. При 95% относительной влажности воздуха гигроскопическое содержание воды в каменной вате составляет лишь 0.004%.

Материал открыт для диффузии, и значение постоянной передачи водяного пара составляет приблизительно 0,5 мг·м/ч·Н. Небольшая цифра показывает, что когда пар проходит через изоляционный слой и охлаждается, конденсата не образуется.

Свойства каменной ваты Paroc характеризуют ее, как разрушающий капилляры изоляционный слой.

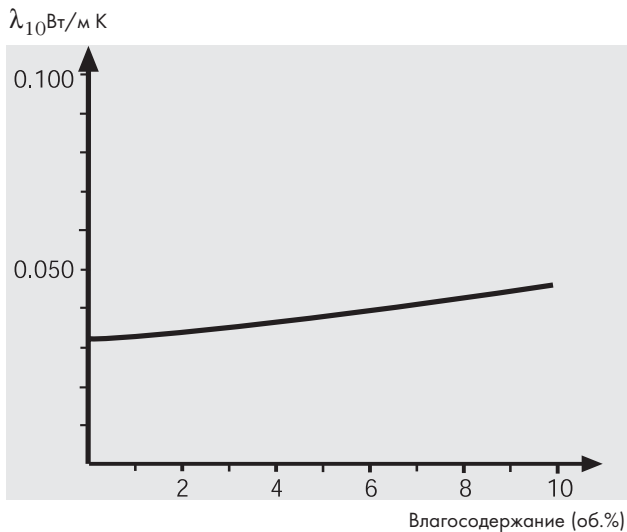


Рис. 18. λ-значения в зависимости от водосодержания

## Предельные потери тепла

### Тепловое сопротивление

Если свойство материала λ<sub>D</sub> известно, можно определить тепловое сопротивление изолирующего слоя. Оно рассчитывается в соответствии с EN 6946 по формуле:

$$R = d / \lambda_D; \quad \text{м}^2 \text{К} / \text{Вт},$$

d = толщина изоляции в метрах.

EN 6946 устанавливает способ расчета теплового сопротивления для различных типов плотности структур, а также R<sub>si</sub> and R<sub>se</sub>, внутреннее и внешнее тепловое сопротивление в различных направлениях. Кроме того, в стандарте описано, как поступать с различными воздушными пространствами и другими особенностями.

Конечный результат для элемента конструкции - R<sub>T</sub>. Тогда коэффициент теплопередачи вычисляется следующим образом:

$$U = 1 / R_T; \quad \text{Вт} / \text{м}^2 \text{К}$$

### Уточненный коэффициент теплопередачи для элементов здания

Коэффициент теплопередачи для элементов здания рассчитывается по приведенному ниже уравнению:

$$U_c = U + \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r$$

Для расчета U<sub>c</sub> используется EN ISO 6946. При расчете коэффициента теплопередачи для элементов здания (но не окон) следует обратиться к

нижеприведенным документам:

- **EN ISO 6946** «Элементы здания и конструкционные детали – Тепловое сопротивление и коэффициент теплового пропускания – Методы расчета»
- **EN 12524** «Строительные материалы и строительные изделия – Влажностные и тепловые свойства – Таблицы и расчетные значения».
- **EN ISO 10456** «Строительные материалы и строительные изделия – Методика определения установленных и вычисляемых значений».
- Данные изготовителя об изоляционном материале. Следует иметь в виду, что они являются **частными данными изготовителя**.

Большинство изготовителей указывает уточненный коэффициент теплопередачи, U<sub>c</sub> для рекомендуемых конструкций. Если принято решение воспользоваться такими данными, нет необходимости производить собственные расчеты. Однако следует выяснить, руководствовался ли изготовитель необходимым стандартом.

На рынке недвижимости к услугам желающих выполнить собственные расчеты предоставляются компьютерные вычислительные программы для упрощения задачи.

Согласно **EN ISO 6946** определяется значение U в Вт/м<sup>2</sup> К. Затем проводится коррекция с помощью значений ΔU. Информация о них содержится в Приложении D к стандарту.

ΔU<sub>f</sub> - поправочный параметр для избыточного теплового потока, вызванного металлической технологической оснасткой в конструкции. Часто значение данного члена незначительно, особенно в деревянных конструкциях.

ΔU<sub>g</sub> – поправочный параметр, учитывающий возникающие обычно при монтаже ошибки конструкции, имеющие нормальное распределение. Стандарт имеет общий характер и не дает достаточных указаний относительно частных случаев.

ΔU<sub>r</sub> - поправочный параметр, учитывающий осадки и ветер, которые оказывают дополнительное влияние на тепловые потери для обратных крыш.

Дополнительную информацию о свойствах материалов и о нашей продукции см. на сайте [www.paroc.com](http://www.paroc.com)

## Влажность

В разделе приводится влажностная терминология и дается описание влажностных свойств каменной ваты. Кроме того, в общих чертах представлены различные виды влаги, которые могут сопровождать влагопередачу.

В разделе уделяется внимание влажностным аспектам, в том числе, герметичности жилища, взаимосвязи теплоизоляции, вентиляции и др.

Так как ведутся международные исследования в области выявления естественных причин, вызывающих образование влаги, по этому вопросу собрана обширная информация. Информацию можно найти, например, в сборнике инструкций по влажностному режиму Технологического Института в Швеции. Имеется большое число компьютерных программ, облегчающих расчеты.

### Определения

#### Диффузия влаги

Перенос водяного пара в результате компенсации паросодержания или давления пара. Диффузия – относительно медленный процесс.

#### Конвективная влагопередача

Перенос водяного пара движением воздуха происходит в результате перепада давления воздуха. Конвекция – относительно быстрый процесс.

#### Влагосодержание

Взаимосвязь между общей массой пара и общим объемом газообразной смеси. Выражается в  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

#### Давление насыщенного водяного пара

Парциальное давление водяного пара в воздухе может при определенной температуре достигать достаточно высокого значения. Оно называется давлением насыщенного пара и может изменяться только с изменением температуры. Чем выше температура, тем выше давление насыщенного пара.

#### Насыщенное паросодержание

При определенной температуре паросодержание соответствует давлению насыщенного пара, называемого насыщенным паросодержанием. Это также наибольший объем пара, который может содержаться в воздухе при определенной температуре.

#### Относительная влажность

Относительная влажность (RH) определяется из взаимозависимости между фактическим (давление водяного пара) и насыщенным влагосодержанием (давление насыщенного водяного пара). RH выражается в процентах.

Относительная влажность играет существенную роль в определении причин влажностного разрушения.

#### Влажностные свойства каменной ваты

По сравнению с другими строительными материалами проницаемость водяного пара каменной ваты высока. Это означает, что внутри изоляционного слоя каменной ваты Парос не образуется конденсата, несмотря на возможный перепад температур в изоляции, и даже, если так называемая точка росы образуется внутри теплоизоляции.

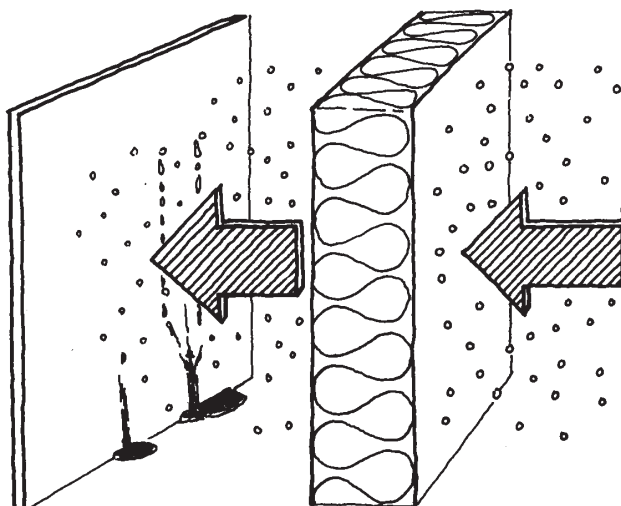


Рис.19

### Гидрофобные материалы и гигроскопичность

Каждый продукт из каменной ваты Paroc обладает гидрофобными свойствами.

Задача гидрофобности заключается в том, чтобы вода стекала с плит Paroc, не смачивала волокна и не впитывалась ватой.

Вода может проникнуть в плиты, только под давлением. В этом случае волокна вообще не поглощают воду. Поэтому материал быстро высыхает из-за низкой проницаемости водяного пара.

Изделия из каменной ваты Paroc не поглощают воду при капиллярном воздействии. Более того, при чрезмерной влажности они поглощают влагу из воздуха в малых количествах.

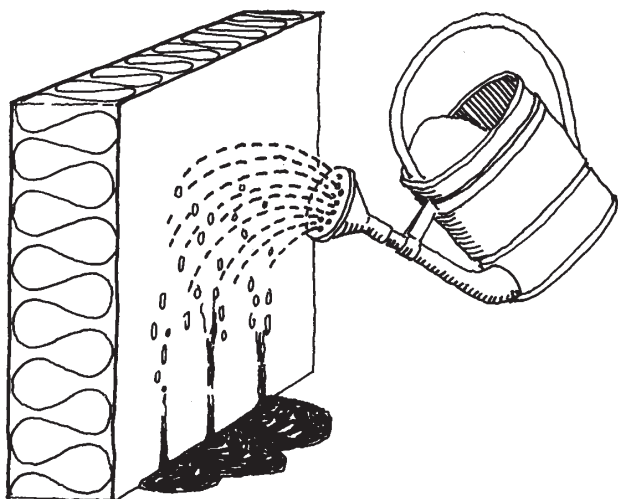


Рис.20

### Водонепроницаемость и гидrolитическая устойчивость

Изделия из каменной ваты Paroc обладают высокой степенью устойчивости к воде и влаге. Они изготовлены из волокнистого влагостойкого материала с упрочненным связующим – феноло-альдегидный полимер – который обладает очень высокой гидrolитической устойчивостью.

### Коррозия

Любой изоляционный материал при контакте с металлической поверхностью в присутствии воды или влаги способствует возникновению пассивной или активной коррозии.

Пассивная коррозия образуется на изоляционном материале, если он препятствует доступу воды к внешней металлической поверхности. Так как каменная вата Paroc обладает водоотталкивающими свойствами и не проявляет тенденции к гигроскопичности и капиллярности, имеется возможность снизить коррозию до минимума. Следовательно, наиболее низкое диффузионное сопротивление облегчает высушивание при благоприятных условиях. И наоборот, более низкое диффузионное сопротивление приводит к тому, что каменная вата не может предотвратить выпаривание влаги с холодной поверхности. При наличии воздуха в изоляции коррозия может возникнуть на коррозионно-нестойких материалах, если влага не высыхает.

Тот изоляционный материал, который растворим в воде, может повысить электролитическую способность воды или значительно изменить pH-значение воды и тем самым способствовать возникновению активной коррозии. Высокая влагостойкость каменной ваты Paroc говорит об очень низкой растворимости. Электролитическая способность и pH-значение не изменяются.

В состав некоторых других типов изоляционных материалов могут входить материалы, которые непосредственно способствуют развитию ситуаций, вызывающий образование коррозии, например, соли антипиренов. Каменная вата Paroc не горит и не содержит в своем составе подобных материалов.

## Источники влаги

Здания испытывают воздействие влаги, образующейся в результате осадков, конденсации водяных паров в воздухе, поглощения грунтовой влаги или утечки. Все материалы взаимодействуют с водяным паром в воздухе и поглощают определенное количество воды. За период эксплуатации сооружение испытывает на себе воздействие огромного количества воды, называемого влажностью здания.

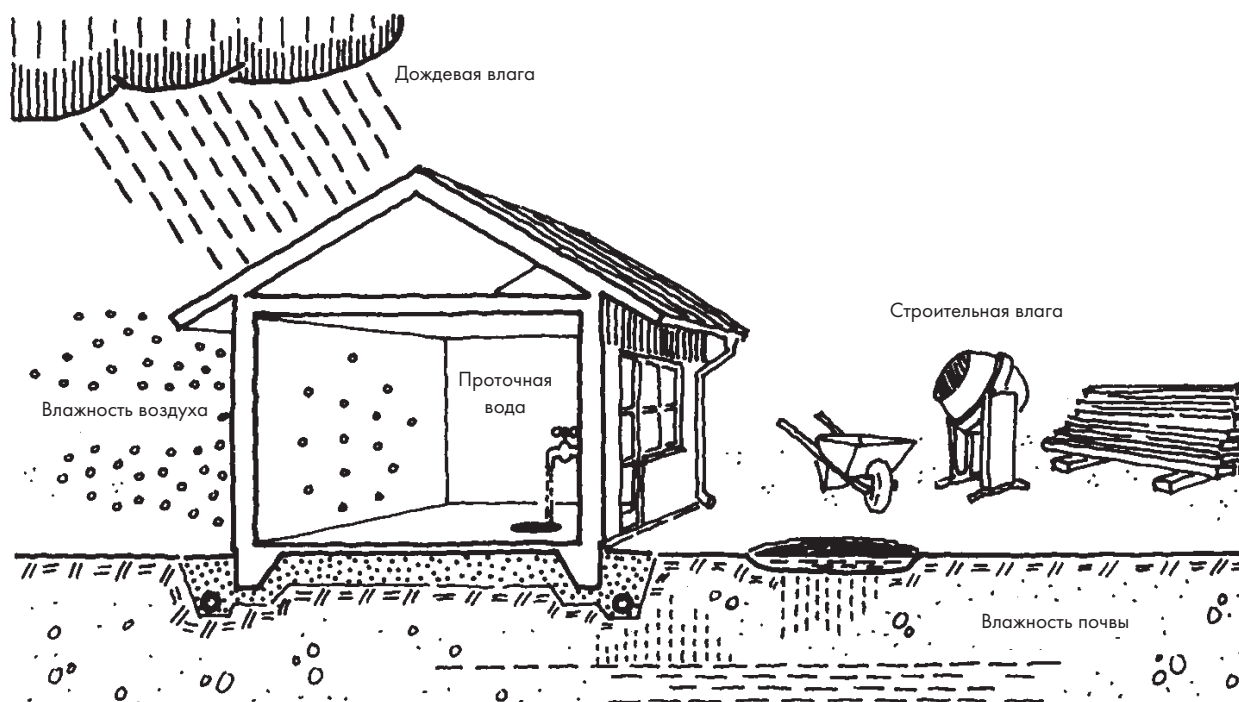


Рис.21

## Влажность воздуха

В воздухе содержится водяной пар, и уровень его содержания обозначается RH.

За относительную влажность наружного воздуха принимается 85% в зимнее время и 70% в летнее.

Уровень относительной влажности воздуха в помещении определяется температурой наружного воздуха и паросодержанием, температурой в помещении, образованием влаги внутри дома наряду с пониженной интенсивностью вентилирования. Иными словами, при равномерном образовании влаги и постоянной интенсивности вентилирования соотношение можно записать как паросодержание внутри дома = паросодержание снаружи + фактор влажности. Полное значение фактора влажности в зимние месяцы может быть 3 г/м<sup>3</sup> для учреждений и 4 г/м<sup>3</sup> для обычного жилища.

Обычными источниками влаги являются следующие:

- Влажность воздуха
- Строительная влага
- Дождевая влага
- Влажность почвы (паросодержание – 100%)
- Проточная вода

## Строительная влага

Строительная влага – это влага, воздействующая на сооружения в период строительства или во время изготовления строительных материалов.

Когда строительный этап завершен, строительная влага должна быть высушена для того, чтобы уравновесить влагу в здании и окружающее относительное паросодержание.

### Влажность почвы

Влияние влажности почвы, главным образом, зависит от уровня грунтовых вод, а также от типа почвы, уровня грунта, источника грунтовых вод и от дренажных свойств почвы.

Влажность почвы может быть разделена на следующие категории:

- Поверхностная вода
- Инфильтрационная вода (т.е. поверхностная вода, проникающая в сооружение)
- Грунтовые воды
- Трещинная вода
- Капиллярная абсорбированная вода

Над поверхностью грунтовых вод влажность почвы принимается за 100% RH.

### Например

Здание нагревается до + 20° С и проветривается при воздухообмене 0.5 в час (наружный воздух). Площадь здания 300 кв.м и образование влаги в помещении в результате жизнедеятельности людей, животных и растений и т.п. составляет 0.6 кг/час. Снаружи температура воздуха ±0° С и относительная влажность 90%, то есть паросодержание составляет 0.0043 кг/м³. Насыщенное паросодержание при + 20° С составляет 0.0173 кг/м³. Относительная влажность в помещении составляет:

$$RH = \frac{\text{паросодержание}}{\text{насыщенное паросодержание}}$$

Паросодержание в воздухе внутри здания =

$$0,0043 + \frac{0,6}{0,5+300}$$

(Объем пара в наружном воздухе на м³ + общее образование пара внутри дома через вентиляционный горизонт).

$$RH = \frac{0,0043 + \frac{0,6}{0,5+300}}{0,0173} = 48\%$$

Пониженный вентиляционный горизонт внутри дома увеличивает относительную влажность. Эта проблема может стать актуальной для современных хорошо изолированных и герметичных домов со слабой вентиляцией.

### Влагопередача

Действует несколько механизмов влагопередачи:

- Диффузия
- Конвекция (водяной пар)
- Капиллярная абсорбция
- Сила тяжести (жидкость)

Температура	Насыщенное паросодержание $c_m (10^{-3} \text{кг/м}^3)$	Давление насыщенного пара	
		$P_m$ (Па)	(мм рт.ст)
-12	1,81	217,3	1,63
-10	2,15	259,9	1,95
-8	2,54	309,3	2,32
-6	3,00	367,9	2,76
-4	3,53	437,2	3,28
-2	4,15	517,2	3,88
0	4,86	610,5	4,58
1	5,18	657,2	4,93
2	5,57	705,2	5,29
3	5,96	758,2	5,69
4	6,37	813,1	6,10
5	6,79	871,8	6,54
6	7,26	934,4	7,01
7	7,74	1001,0	7,51
8	8,27	1073	8,05
9	8,83	1148	8,61
10	9,40	1228	9,21
11	10,03	1312	9,84
12	10,67	1402	10,52
13	11,38	1494	11,23
14	12,05	1598	11,99
15	12,83	1705	12,74
16	13,66	1817	13,63
17	14,45	1937	14,53
18	15,36	2063	15,48
19	16,29	2197	16,48
20	17,3	2338	17,54
21	18,3	2486	18,65
22	19,4	2643	19,83
23	20,6	2809	21,07
24	21,8	2983	22,38
25	23,0	3167	23,76
26	24,4	3360	25,21
27	25,8	3564	26,74
28	27,2	3779	28,35
29	28,7	4004	30,04
30	30,4	4242	31,82

Таблица 22: Зависимость между температурой – насыщенным паросодержанием и давлением насыщенного пара

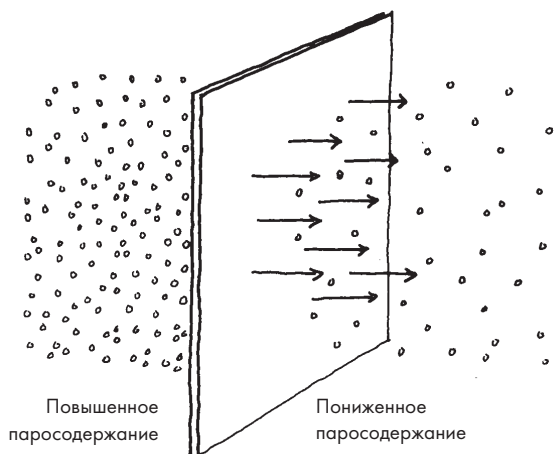


Рис.23 Диффузия от повышенного к пониженному паросодержанию

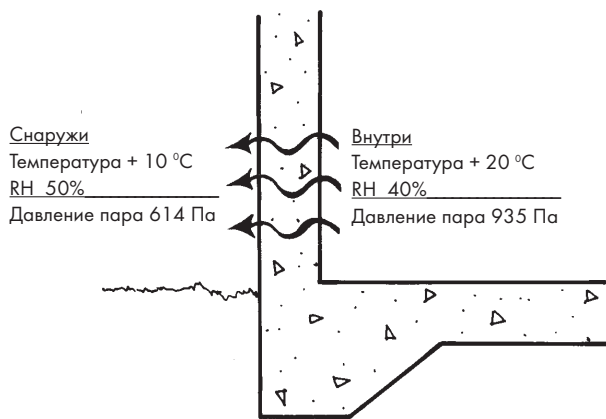


Рис.24 Диффузия через необработанные стены

Температура наружного воздуха + 10° С. Относительная влажность 50%. Согласно таблице давление пара при данных показателях составляет 614 Па.

Температура воздуха в помещении + 10° С и относительная влажность 40%. Давление пара при данных показателях составляет 935 Па.

Диффузия действует от повышенного паросодержания к пониженному, т.е. из помещений здания наружу конструкции.

### Конвекция

Конвекция влаги заключается в том, что водяной пар, содержащийся в воздухе, следует за ним по сооружению. При движении воздуха из более теплого в более холодное пространство водяной пар воздуха конденсируется на холодных внешних поверхностях. При движении воздуха из холодного в теплое пространство конденсации не происходит; поток воздуха высушивает конструкцию. Опасно внутри жилого помещения нагнетать избыточное давление. Движение воздуха, а, следовательно, и конвекция

уменьшатся, если где-нибудь в сооружении находится защитный герметичный слой.

### Капиллярное отсасывание

Капиллярное отсасывание способствует выравниванию влагосодержания путем движения влаги в жидкой фазе.

Обычно в сухих материалах на капиллярное отсасывание внимания не обращают, но, если наблюдается определенное предельное влагосодержание, значит в материале содержится постоянная водная масса, и влагопередача через капиллярное отсасывание бывает значительной. Данный вид капиллярной водоподачи редко принимается в расчет. Однако, он возникает вокруг цокольной изоляции и перед надвигающимся ливнем.

### Преобладающая конвекция

Диффузия влаги и конвекция влаги могут существовать одновременно, либо объединившись, либо противодействуя друг другу. Ранее уже отмечалась важная роль паронепроницаемого слоя в сооружении. При сравнении объема влаги, переносимого из одного места в другое за определенный период времени в результате диффузии с объемом, переносимым конвекцией, не обнаружено большой разницы. Следовательно, паронепроницаемый слой в наружной стене или на крыше, применяется в качестве воздушного и конвекционного барьера.

Объем влаги, переносимой конвекцией, наряду с перепадом давления воздуха в сооружении зависит от общей площади отверстий и мест утечек. Следует отметить, что в одно большое отверстие проникает больше влаги, чем во много меньших по размеру, но той же общей площадью. Поэтому, необходимо избегать мест утечки больших размеров.



Рис. 25

## Герметичное жилище

В главе дано описание эффективной теплоизоляции, необходимой для сохранения энергии. Вместе с тем, жилище должно быть герметичным, с регулируемой вентиляцией. Объем вентиляции регулируется согласно требованиям здания, независимо от давления ветра и тому подобного.

К вентиляции предъявляется много требований: устранять запахи (от жизнедеятельности людей, табака, еды), обеспечивать людей кислородом, не допускать высокого уровня содержания CO<sub>2</sub>; препятствовать опасным уровням радона и формальдегида, устранять влагу (избегая конденсации на окнах и стенах, образования плесени). Поэтому требования к вентиляции различны для различных типов зданий.

### Слабая вентиляция повышает относительную влажность

Для разрешения влажностных проблем большое значение имеет хорошо функционирующая вентиляция. Уровень вентиляции влияет на относительную влажность воздуха, которая является основной причиной образования плесени.

В жилых помещениях средних размеров образуется большое количество влаги. Человек выделяет влагу даже при температуре ниже + 20°C. При + 20°C человек выделяет 40 г влаги в час, и это количество увеличивается на 7 г/°C. Приготовление пищи, влажная уборка, стирка и наличие растений вносят свой собственный вклад во влагосодержание.

Образующаяся влага превращается в водяной пар и абсорбируется воздухом внутренних помещений дома, уровень влагосодержания которого принимается за относительную влажность. Иными словами, относительная влажность – это квота между реальным паросодержанием и насыщенным паросодержанием при фактической температуре воздуха внутренних помещений.

Мебель в доме, стены и т.д. поддерживают равновесную влажность с воздухом в жилище. Наличие соответствующей вентиляции поддерживает необходимый уровень паросодержания.

С другой стороны, слабая вентиляция является причиной усиления влагосодержания в любом материале, способном поглощать влагу. Концентрация продолжает увеличиваться и возрастает риск образования плесени.

Понятно, что при снижении уровня вентиляции относительная влажность возрастает.

Увеличивается риск образования плесени. Даже при относительной влажности 75% некоторые виды грибка процветают при комнатной температуре.

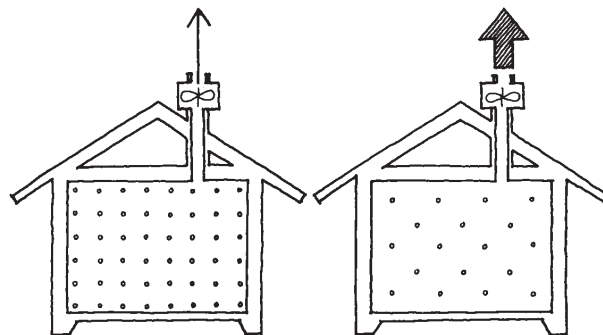


Рис. 26



Рис.27 Результаты воздействия влажности



## Стены подвала

Стены подвала восприимчивы к различным источникам сырости. В стенах подвала образуется строительная влага, в зазорах внутри стен задерживается воздушная влага, а в цоколе с наружной стороны стены – цокольная влага. Кроме того, на площадь со стороны стен может воздействовать локальное давление воды, например дождь, талые воды или грунтовые воды. Влага может абсорбироваться в результате капиллярного воздействия на нижнюю плиту в стенах.

Поэтому во избежание образования сырости подвальные сооружения необходимо просушивать. Инженер-строитель должен предусмотреть возможность отделки внутренних помещений плотным материалом, например виниловой пленкой или акриловой краской. Научный способ борьбы с влагой в стенах подвала заключается в том, чтобы проветривать дом снаружи.

Если подвальная наружная стена изолирована с нарушением капиллярности, паропроницаемый материал должен отвести наступающую снаружи влагу. Можно избавиться от строительной влаги, используя паропроницаемую изоляцию. Это означает, что на внутренней рубашке происходит то же самое, независимо от материала. Рекомендуется нанести на внутреннюю рубашку защитное покрытие.

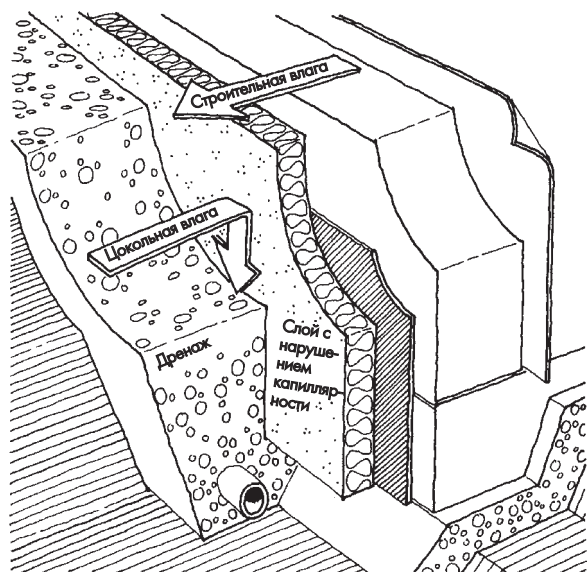


Рис.28 Изоляция подвальных стен с нарушением капиллярности

## Плита в цокольном и подвальном этажах

Плита в цокольном и подвальном этажах может быть проложена теплоизоляцией над и под бетоном. За последние годы поступило много жалоб на проблемы, связанные с образованием влаги на плите цоколя. Во многих случаях упоминалось о деревянном настиле пола на бетонной плите. Поэтому такое конструкторское решение почти не применяется в настоящее время при строительстве зданий.

### Теплоизоляция над бетоном

В пользу прокладки теплоизоляции наверху плиты говорит то, что ходить по такому полу более комфортно, чем по пластиковому покрытию, положенному прямо на бетон. Другая причина заключается в том, что поверхность бетонной плиты не требует высокой точности.

Недостатком установки теплоизоляции на плите является тот факт, что влагопередача в паровой фазе через плиту должна быть остановлена паронепроницаемым слоем. Если этого не сделать, пол может разрушиться. Поропласты не могут заменить паро- непроницаемый слой, так как между пластинами будут образовываться трещины. Поропласт не может использоваться даже в качестве диффузионного уплотнения.

Если нет уверенности в обеспечении устойчивого плотного паронепроницаемого слоя, следует прокладывать теплоизоляцию под бетоном.

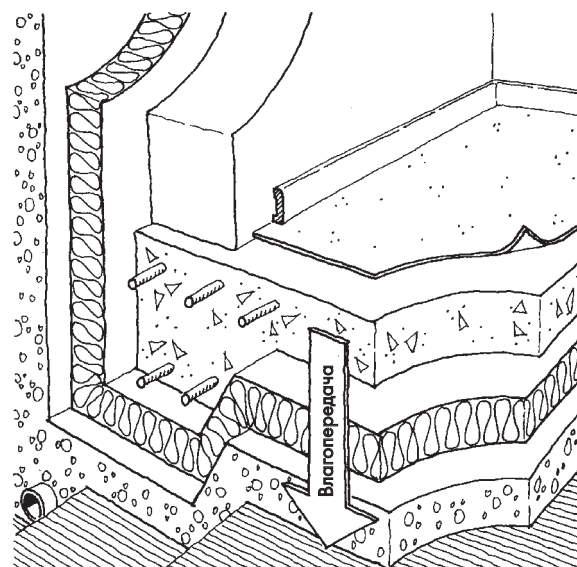


Рис.29 Теплоизоляция под бетонной плитой

### Теплоизоляция под бетоном

Лучший и самый надежный способ поставить плиту в цокольном этаже заключается в прокладке теплоизоляции с обратной стороны, используя прием открытой изоляции. Преимуществом данного типа теплоизоляции является влагопередача от плиты к земле, а не от земли к плите. Как это возможно?

Итак, на земле – относительная влажность 100 % при определенной температуре, скажем 17 °С. В данных условиях давление пара составляет 1937 Па. Теплоизоляция обеспечивает температуру на обратной стороне плиты выше температуры земли, например 20 °С. При данной температуре давление насыщенного пара в пластинах, то есть при относительной влажности 100 % составит 2338 Па.

Поскольку давление пара требует равновесия, перенос пара происходит вниз. Так продолжается, пока давление пара в цоколе и в плите одинаково. В приведенном выше примере относительная влажность в плите цоколя составляет 83 %. Уровень влажности не оказывает влияния на поведение пластикового покрытия или адгезива.

Для обеспечения переноса пара вниз необходим перепад температур, по меньшей мере, в 2 °С, что реализуется при использовании каменной ваты толщиной 30 – 40 мм, рассчитанной на плиту шириной до 15 метров. С точки зрения эффективности использования энергии люди часто останавливают свой выбор на теплоизоляции, имеющей большую толщину. Данная мера даже усиливает защиту от повреждений, наносимых воздействием влаги.

Теплоизоляцию следует прокладывать под всей площадью пола. Если изоляция расположена по углам, внутренняя часть пола останется незащищенной от воздействия цокольной влаги. Теплоизоляцию следует отнести от краевых участков, ребер жесткости и т.п. Следует использовать изоляционный материал, который способен выдерживать большую нагрузку, чем остальная часть теплоизоляции.

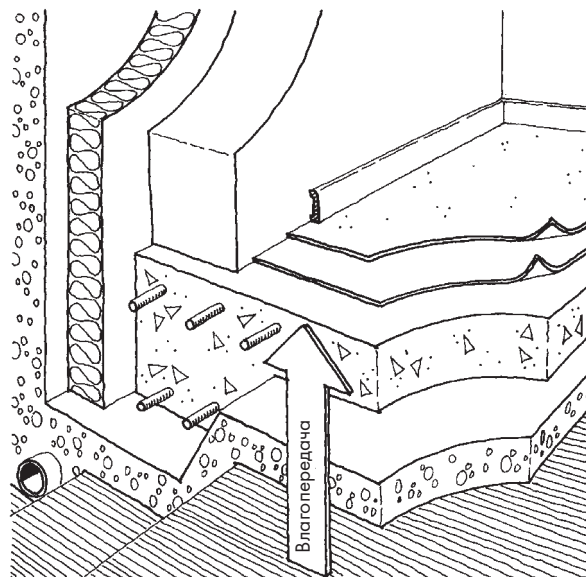


Рис.30 Полы без изоляции

### Полы без изоляции

Что произойдет, если на бетонную плиту уже положен пол, успевший просохнуть до средней степени влажности - 90 %?

Под плитой лежит осушенный слой с нарушенной капиллярностью. Относительная влажность почвы составляет 100 % RH. Так как температура плиты и земли должна быть одинаковой, необходимо обеспечить перенос пара от земли к сухой плите. Перенос пара будет продолжаться до тех пор, пока давление пара не достигнет равновесия, то есть 100 % RH.

Результатом станет омыление клея на напольном покрытии или образование плесени на органическом материале.

Дополнительную информацию о свойствах материалов и о нашей продукции см. на сайте [www.paroc.com](http://www.paroc.com)

## Иней

Когда почва отдает тепло, а температура ниже 0 °С, вода в земле превращается в лед и земля замерзает. Существует два типа инея: **ледяные дорожки** (прерывистые) и **однородный иней**. Лишь ледяные дорожки говорят о высоте инея.

С инеем связано одно понятие первостепенной важности – это **капилляры**. Если положить трубочку в чашку с водой, вода зальется в трубочку. То же самое происходит и в земле, то есть сухая почва способна поглощать воду при наличии в земле небольших отверстий, которые выступают в качестве трубочек, чтобы доставлять грунтовые воды снизу вверх.

### Образование инея

Задерживая воду, каждый тип почвы преследует определенные цели. Водный покров наполняет каждую песчинку почвы, и его толщина зависит от размера песчинки.

Когда тепло уходит из почвы, песчинки земли в водном покрове превращаются в кристаллы льда – иней. Если в этот момент образование инея остановится на определенной глубине, известной как граница промерзания, а условия окажутся благоприятными для переноса новых молекул воды, последние тоже превратятся в лед и присоединятся к уже имеющейся массе ледяных кристаллов. При этом, объем слоя льда увеличивается, что подпирает слой с низким сопротивлением вверх и поднимает слой почвы.



Рис. 31: Механизм роста инея.

Условия роста слоя льда предполагают наличие капиллярной связи с грунтовыми водами. Слой льда забирает молекулы воды из ближайших к границе промерзания песчинок почвы. Твердые песчинки почвы, в свою очередь, забирают влагу из ближайших к ним, и волна переноса продолжается до тех пор, пока в слое льда существует капиллярная связь с грунтовыми водами. В случае потери данной связи объем льда не увеличивается и роста инея не происходит.

### Образование различных видов инея на различных типах почвы

Чем мельче почва, тем объемнее канал для каждой песчинки. Это означает, что молекулы воды переносятся легче и быстрее, если песчинки маленькие и путь переноса короткий. Однако, в мелкозернистой почве образование инея происходит легче, так как между ледовым щитом и песчинками намного больше точек контакта (нагрузка на каждую точку меньше). Глина является исключением из-за низкой скорости прохождения капилляров.

В крупнозернистой почве влагоперенос затруднен из-за продолжительности пути переноса и более узких водоканалов. Нагрузка на точки контакта так велика, что кристаллы льда не в состоянии поднять слой вверх и вместо этого заполняют пространство каналов между песчинками. Для роста инея требуется одновременное выполнение следующих условий:

- Почва должна быть подвержена промерзанию.
- Вода должна переноситься к границе промерзания.
- Почва должна выделять достаточно большое количество тепла.
- Нагрузка на землю должна быть меньше подъемной силы обмерзания.

### **Прокладка теплоизоляции в почве предупреждает разрушение от промерзания**

Имеются различные способы предупреждения разрушения от промерзания. Например:

- Заменить контактный участок почвой, менее подверженной промерзанию.
- Понизить уровень грунтовых вод для того, чтобы земля не могла поглощать воду.
- Фундамент на глубину, не подверженную промерзанию.
- Прокладка слоя теплоизоляции в земле.

С экономической точки зрения, наиболее интересным вариантом представляется прокладка слоя теплоизоляции. Преимущество цокольной изоляции заключается в том, что она ограничивает тепловой поток, идущий из земли. В результате глубина промерзания уменьшается, так как температура под изоляционным слоем падает ниже 0°C. Сниженная глубина промерзания, в свою очередь, обеспечивает:

- Гораздо меньший риск разрушения от мороза
- Меньшую глубину фундамента дома и т.д.
- Меньшую глубину скопления воды и канализации

Для того чтобы цокольная теплоизоляция выполняла свои функции, изоляционный материал должен отвечать следующим требованиям:

- не подвергаться разложению
- противостоять кислотам, обнаруженным в почве
- обладать стойкостью к высокому давлению
- обладать хорошей изоляционной способностью

Экструдированные поропласты отвечают перечисленным требованиям. Не рекомендуется использовать каменную вату в качестве изоляции против наледи на дорогах, железнодорожных полотнах или для строительства других сооружений на холодных участках. При длительной эксплуатации каменная вата намокает, и ее удельная теплопроводность снижается. Если одна из сторон сооружения подогревается, каменная вата показывает себя с лучшей стороны.

## Грунтовая теплоизоляция

Существует много различных рекомендаций по укладке изоляционных материалов в земле и в сооружениях, стоящих на грунте.

К сожалению, не всегда придерживаются старой традиции учитывать природную географию. Сейчас дома строятся на старых топях или осушенном морском или озерном дне, или на других видах почвы, мало пригодных для данных целей. Принимая решение, следует учитывать условия местности.

Различные решения с применением грунтовой теплоизоляции в той или иной мере препятствуют влагонасыщению конструкции. Эксплуатационные особенности материалов и основные их различия описаны ниже.

Шведский Национальный Научно-Исследовательский и Испытательный Институт (SP) и Munthers Torkteknik AB (MT) прислали нам свои отчеты относительно конструкций, представленных ниже. Обе организации не берутся за сложные случаи и хорошо знают, как не надо строить. Далее они именуются SP и MT, соответственно.

### Грунтовая плита

#### Общее описание

Для грунтовой плиты, на которой стоит подогреваемый дом, всегда должна быть предусмотрена теплоизоляция. Ее основная задача состоит в том, чтобы ограничивать уровень относительной влажности в полу во избежание разрушения материала, из которого изготовлен пол. В то же время теплоизоляция должна сокращать потери тепла на внешних элементах пола. Если толщина теплоизоляции велика, то возможно наилучшим решением будет установка снаружи морозоустойчивой цокольной изоляционной плиты.

Теплоизоляция может устанавливаться под бетонной плитой или над ней.

Для успешной эксплуатации грунтовой плиты необходимо обеспечить высоконадежный капиллярный барьер и дренаж между цоколем и бетонной плитой. При использовании грунтовой плиты она должна быть защищена от контакта с водой, всасываемой вследствие капиллярного воздействия. Теплоизоляция должна быть сухой во избежание проникновения к полу избыточной влаги.

Правильный расчет грунтовой плиты обеспечивает ее надежность с точки зрения влажности, и к тому же значительно дешевле других решений.

#### Основные показатели

- Конструкция должна препятствовать попаданию грунтовых вод, капиллярных вод или вод, просачивающихся внутрь снаружи, на теплоизоляцию или напольный материал, чувствительный к влаге.
- Конструкция должна снижать относительную влажность, то есть тепловая изоляция должна поддерживать такой низкий уровень RH, чтобы обеспечить защиту напольным материалам, чувствительным к влаге.
- Конструкция должна быть долговечной и не поддаваться деформации, то есть выдерживать подвижные нагрузки
- Конструкция должна состоять из материалов, способных выдерживать любой уровень влаги, не разрушаясь, либо необходимо отказаться от опасных материалов.

#### Существенные детали

- Перед укладкой напольных материалов бетонная плита должна просохнуть снизу вверх и сверху вниз. Толстые части плиты в этом смысле могут создавать проблемы.
- Гидроизолирующий слой защищает чувствительный к влаге материал, например дерево на плите, от плиты.
- При установке теплоизоляции под плитой гидроизолирующий слой располагают на плите, если это необходимо.
- Напольное покрытие, устойчивое к воздействию диффузии, с применением чувствительного к влаге клея требуют наличия гидроизолирующего слоя.
- При установке теплоизоляции над плитой гидроизолирующий слой располагают между плитой и изоляцией. В этом случае плита должна быть тщательно очищена.
- Данные рекомендации в основном касаются небольших домов. Для более крупных плит шириной около 10 м предлагаются другие методы решения влажностных проблем, например гидроизолирующий слой между теплоизоляцией и плитой.
- При подогреве полов гидроизолирующий слой находится между плитой и непосредственно под теплоизоляцией.

**Грунтовая плита на теплоизоляции**

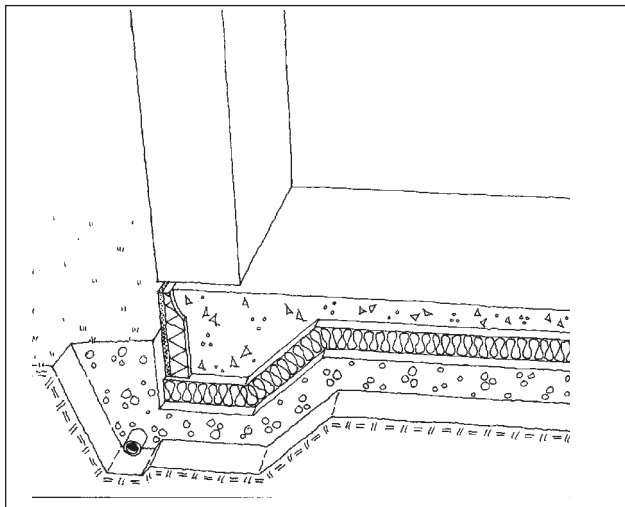


Рис.32. Теплоизоляция всегда устанавливается на всей площади плиты. Минимальная толщина дренажирующего материала под теплоизоляцией составляет 100 мм. Края изолируются, если толщина теплоизоляции плиты более 120 мм.

Использование каменной ваты Рагос для прокладки теплоизоляции под грунтовой плитой считается сухим методом решения; не требуется никаких дополнительных расходов при расчете изолирующей способности.

Время высыхания плиты с изоляцией из каменной ваты около 40 дней. Плита продолжает сохнуть, находясь внизу, даже после настила полов.

При использовании поропластов (EPS) или других пластиков в качестве изоляции время высыхания 60 дней. Полимерная изоляция обеспечивает дополнительную защиту от влаги, поступающей снизу.

**КОММЕНТАРИИ:**

**СП:** Немного случаев разрушения подобных полов. При замене каменной ваты на изоляцию из поропластов период просушивания после пригонки полов будет более длительным. Плита, независимо от изоляционного материала, главным образом, высыхает наверху до настила полов. Необходимо установленное нормами время высыхания. При перемене направления воздействия влаги, например, при отключении подогрева пола, лучше использовать плотную изоляцию, а не наружную каменную вату. Для таких случаев обязателен гидроизолирующий слой.

**МТ:** С точки зрения защиты от влаги это самая лучшая конструкция грунтовой плиты. Нижние опорные брусы и т.п. следует тоже ограждать от бетона. Влагосодержание в бетонной плите обычно настолько низкое, что поверхностный слой может быть выбран вполне произвольно.

**Теплоизоляция над плитой**

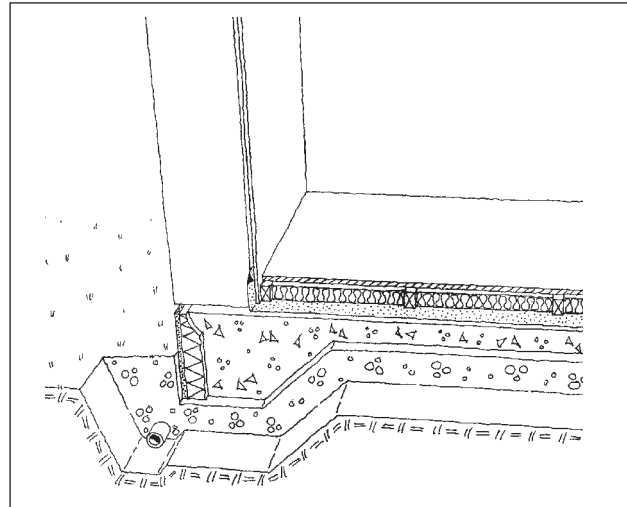


Рис.33. Паронепроницаемый слой из полимерной пленки или гидроизолирующий слой расположен между теплоизоляцией и плитой. Толщина слоя, разрушающего явление капиллярности, должна составлять не менее 150 мм.

Такое решение дает мягкий и теплый пол. Если бетонная поверхность правильно очищена, не будет проблем с влагой, попадающей из конструкции.

Требует тщательной и точной работы. Конструкция подвержена влаге сверху. Могут возникнуть трудности с поддержанием паронепроницаемого слоя в период строительных работ.

**КОММЕНТАРИИ:**

**СП:** Отмечаются частые разрушения, главным образом, полов скрепленных гвоздями. Полимерная пленка не дает гарантий защиты от повреждений. Под пленкой будет собираться влага, и будут созданы благоприятные условия для развития микроорганизмов. В случае возникновения запаха снятый пол будет трудно уложить на место. Под влиянием пара на плите будет собираться влага, несмотря на наличие слоя, препятствующего капиллярному воздействию.

**МТ:** По влажностным показателям данная конструкция не рекомендована. Изоляционный материал не может содержать органический материал. Нижние опорные брусы и т.п. кладутся наверх изоляционного слоя при комнатной температуре, и должны быть изолированы от влаги. Необходимо принимать во внимание паронепроницаемость изолирующего слоя относительно других слоев, в том числе, самого пола.

## Теплоизоляция над и под плитой

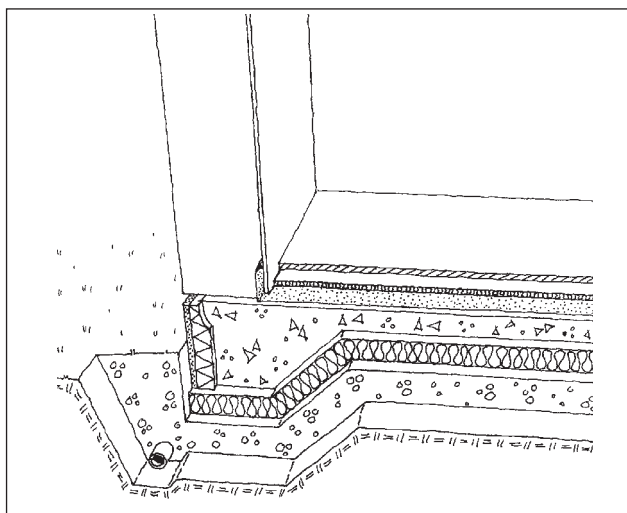


Рис.34. Комбинация теплоизоляции над и под плитой в соответствии с предыдущими вариантами

Основная теплоизоляция под цокольной плитой проложена в сочетании с тонким слоем комфортной изоляции.

Если нижняя часть плиты изолирована материалом PAROC GRS 30, то она продолжает сохнуть вниз после настила полов.

Полимерная пленка проложена между бетоном и каменной ватой на верхней поверхности плиты.

Оптимальная влагозащита и удобство: PAROC GRS 30 под плитой и наверху PAROC SSB 2 (17 или 25 мм). На верхней части - двойные напольные панели для равномерного уплотнения. Между теплоизоляцией и плитой - полимерная пленка.

### КОММЕНТАРИИ:

**СП:** Качественный, удобный пол. Разрушений не отмечено. Альтернативное решение – вентилируемый герметизирующий слой, влагозащитный мат, высушивающий влагу в конструкции, и в то же время полы теплые.

**МТ:** С точки зрения влагозащитной изоляции прокладка теплоизоляции снизу – лучшее решение. С точки зрения комфорта пол следует отделить от бетонной плиты во избежание слишком низкой температуры поверхности пола. Иногда этого результата можно достичь правильным выбором напольного материала. Данный изолирующий слой не должен иметь несущий каркас из органического материала. Нижние опорные брусы следует укладывать наверху изолирующего слоя.

## Подвальная стена

### Общая часть

В подвальном помещении скапливается влага из различных источников. В стенах содержится влага, которую следует высушивать. Имеет место влага из наружных стен подвала. Дождь, талый снег и лед, а также грунтовые воды вызывают локальное давление воды на подвальные стены. В результате капиллярного воздействия вода всасывается через грунтовую плиту в стену.

### Влага в конструкции

Влагу в подвальной конструкции следует высушивать снаружи или изнутри. Если внутренняя сторона стены покрыта воздухонепроницаемым материалом, например, виниловые обои или пластичная краска, влага будет высушиваться только снаружи.

Правильно сложенная подвальная стена обеспечивает диффузию и на внешней стороне.

Влага высыхает за несколько лет, после чего внутренняя сторона стены должна быть защищена от диффузии во избежание разрушений, даже если наружная стена диффузионно непроницаема.

### Грунтовая влага

Грунтовая влага является одной из основных проблем. Следует принимать за относительную влажность (RH) в грунте 100 %, даже если на самом деле она ниже.

Необходимо избавляться от грунтовой влаги, поступающей в виде гравитационной воды. Для сохранности здания в стене должен быть антикапиллярный слой, чтобы потоки воды в дренажной сети не разрушили стену.

### Поверхностная влага

Следует планировать уклон, ведущий от здания.

### Основные показатели

- Влага в конструкции должна просушиваться снаружи, если внутренняя подвальная стена герметична.
- Стена должна быть защищена от влаги снаружи.

### Существенные детали

- Бетонная плита выступает со стороны наружной подвальной стены, и на краю заливают свод. Эту процедуру необходимо выполнять аккуратно и точно для того, чтобы закрыть зазор между стеной и плитой. В целях сохранности дома стену следует изолировать от влаги, залив битум на высоте 0,5 м над сводом.
- Чтобы задержать капиллярное воздействие, необходимо установить грунтовую изолирующую плиту PAROC GRS 30 под подвальной стеной. Грунтовые воды будут течь параллельно плите, так как гидравлическое сопротивление плиты обычно выше гидравлического сопротивления грунта. В плотном грунте может наблюдаться обратное. Чтобы сдерживать проникание воды через плиту в стену, снаружи плиты необходимо проложить дренажный слой из пригодного для этих целей материала. Плита является частью дренажной сети и должна сообщаться с системой, отводящей воду.
- Рифленая изолирующая плита или влагозащитный мат у основания открыты, и в связи с этим увеличивается риск проникания воды.
- В случае повышенного давления воды на стену, независимо от типа изоляции следует плотно уложить битумный мат на стену.
- Сливная воронка должна вести к дренажной системе.

### Внешняя теплоизоляция

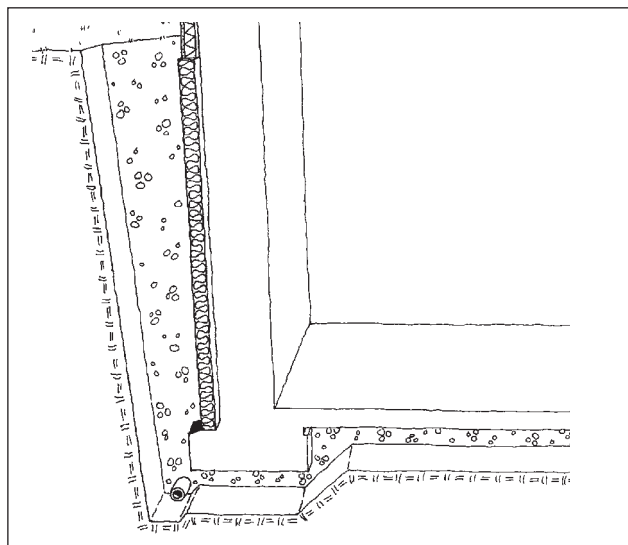


Рис.35. Низ: Теплоизоляция сообщается с дренажной системой  
Верх: Нанесение штукатурки на изоляцию или опорной части.  
Стена: Битумная изоляция примерно на 0,5 м вверх.

Как можно ближе к теплоизоляции укладывается дренажный слой толщиной 200 мм.

Каменная вата останавливает капиллярное воздействие, но, имея неплотную структуру, обеспечивает просушку стены снаружи. Вода стекает по изолирующей поверхности.

Каменная вата чувствительна к высокому давлению, но плоский подземный слой спасает положение.

Тепловое сопротивление снижается по шведским строительным нормам и правилам на  $0.20 \text{ м}^2\text{К/Вт}$  при контакте каменной ваты с грунтом.

### КОММЕНТАРИИ:

**SP:** Пригодная конструкция, независимо от изоляционного материала. Давление воды в грунте, вытекающая из закрытой дренажной системы, создает проблемы. Важно отвести поверхностные воды от дома.

**MT:** Лучшая альтернатива в части решения влажностных проблем. Можно покрасить внутреннюю стену силикатной или КС-краской, пропускающей пар. Можно оставить стену необработанной.



## Внутренняя теплоизоляция

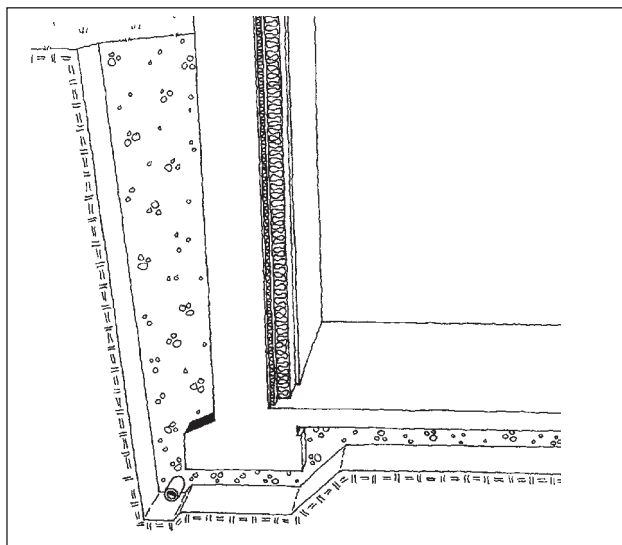


Рис.36 Внимание! Не использовать деревянные штыри на внутренней стороне стены во избежание ГНИЕНИЯ. Не использовать полимерную пленку в качестве паронепроницаемого слоя.

Если все же используются деревянные штыри, сначала следует всю стену обшить 20-мм листами каменной ваты. Использование каменной ваты в качестве теплоизоляции, до определенной степени, обеспечит высыхание стены изнутри.

### КОММЕНТАРИИ:

**SP:** Большой риск образования плесени на стенах. Об этой проблеме должны знать проектировщики.

**MT:** Подвальная стена будет более холодной и сырой, чем без изоляции или при наличии внешней изоляции. Изолирующий слой не должен иметь несущий каркас из неорганического материала. Следует обратить внимание на паронепроницаемость изолирующих слоев по отношению к другим материалам, из которых изготовлена стена. Что касается комфорта, эффект тот же, что и при наличии внешней и внутренней теплоизоляции.

## Внешняя и внутренняя теплоизоляция

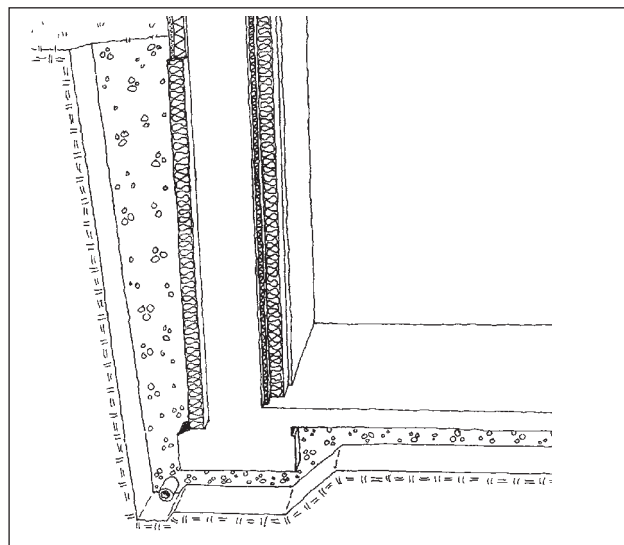


Рис.37. Рекомендации относительно внешней и внутренней теплоизоляции можно объединить. Теплоизоляция прокладывается главным образом на внешней стороне стены.

Внешняя теплоизоляция является главной и для большего удобства ее внутренняя сторона наполнена тонким изолирующим слоем.

### КОММЕНТАРИИ:

**SP:** Главное – это внешняя теплоизоляция. На внутренней стороне достаточно и листа, например, гипса, так как стена не испытывает такой нагрузки, как пол.

**MT:** Что касается влажности, предложенный вариант хуже, чем наличие только внешней теплоизоляции. Характеристики влагонепроницаемости изолирующего слоя следует учитывать при «сближении» отдельных частей здания. Изолирующий слой не должен иметь несущий каркас из органического материала. Что касается комфорта, эффект тот же, что и при наличии внешней теплоизоляции стен. Обратное излучение от стены снижается, и подвал становится менее сырым

## Пожарная защита

Пожар можно определить, как разрушительный тепловой процесс, продолжающийся до выгорания всех подверженных действию огня горючих материалов.

Для возникновения и поддержания горения требуется следующее:

- Горючий материал
- Достаточное количество кислорода
- Нагрев, вызывающий достижение температуры возгорания материала



Рис.38. В виде треугольника показаны причины возникновения пожара

### Топливо

При соединении с кислородом горючие материалы выделяют больше тепла, чем требуется для протекания химической реакции. Сгораемость материалов определяется по их уровню воспламеняемости:

#### • Самовоспламеняющиеся материалы

Материалы, которые начинают воспламеняться, не испытывая воздействия какого-либо внешнего источника тепла, например, обтирочные концы, смоленные льняным маслом

#### • Легко воспламеняющиеся материалы

Материалы, представляющие собой мелкодисперсные вещества, загорающиеся от спички и продолжающие гореть на воздухе. К ним можно отнести бумагу, щепки и большинство видов текстиля.

#### • Сгораемые материалы

Материалы, которые воспламеняются при локальном нагреве и горят, пока идет процесс нагрева, но прекращают гореть после удаления источника нагрева. Например: панель из древесной ваты и цемент

та и некоторые пластики. Существуют методы определения степени горючести материалов.

К негорючим материалам относятся обычные строительные материалы, такие как цемент, бетон, пенобетон, гипс, кирпич и каменная вата. Обычно материал подвергается испытанию на негорючесть.

### Воздух

Необходимый для горения кислород обычно поступает из воздуха. Интенсивность горения зависит от интенсивности поступления кислорода. Снижение содержания кислорода может погасить или ослабить огонь.

### Теплота

При достижении горючим материалом температуры воспламенения, происходит быстрое возгорание. Необходимая для воспламенения теплота может быть получена следующим образом:

- открытый огонь (например, спичка)
- нагретое тело (например, сварочная искра)
- оптическое явление (например, прожигание через линзу)
- электрическое явление (например, электрическая дуга)
- трение (например, перегрев подшипника)

Температура возгорания зависит от нескольких факторов, например, от теплотворной способности горящих материалов (МДж/кг), интенсивности горения (в зависимости от распыления), наличия воздуха и объема образующихся дымовых газов.

**Пожар в помещении можно разделить на три основных стадии: воспламенение, горение и затухание.**

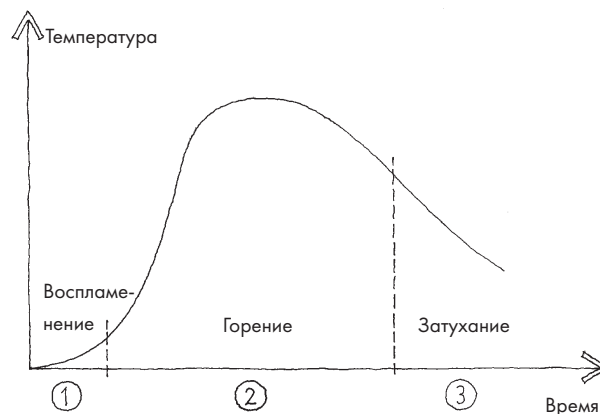


Рис. 39 График зависимости температуры от времени на различных стадиях пожара

## 1. Воспламенение

Легковоспламеняющийся материал отделки помещения воспламеняется в результате небрежного обращения с источником тепла. Пожар могут вызвать непотушенная сигарета, спички, отопительные приборы, сварочное оборудование и т.д., а также замыкание в электрооборудовании и поджог. Стадия воспламенения может продолжаться несколько часов, если пожар начался как тлеющее горение. Если же причиной возгорания стали легковоспламеняющиеся материалы, жидкости или газы, пожар начнется намного быстрее. В помещении, где началось тление, образуется дым и выделяются газы, атмосфера становится опасной для жизни человека задолго до того, когда температура начнет повышаться.

## 2. Горение, распространение пожара

Воспламенение превращается в настоящий пожар в результате так называемой вспышки. В развитии пожара это критический момент. После вспышки в помещении больше оставаться нельзя, локализовать или потушить огонь будет трудно. Все горючие поверхности в помещении уже в огне, и температура быстро поднимается. Максимальная температура в помещении во время пожара – 800 - 1100 °С. Конструкции подвергаются воздействию пламени, и пожар может распространиться в другие помещения и части здания вследствие распространения пламени, теплового излучения, теплопроводности или конвекции горючих газов. Образование дыма и выделение газов может быть очень интенсивным.

## 3. Затухание

На этой стадии количество горючего материала сокращается и температура падает. Горение постепенно затухает. Наиболее важными факторами, определяющими форму кривой зависимости температуры от времени, приведенной на Рис. 39, являются количество и распределение горючих материалов, вентиляция, наличие кислорода и характеристики элементов здания (например, теплоемкость и т.д.).

## Распространение огня

Распространение огня в основном происходит посредством излучения, теплопроводности и конвекции.

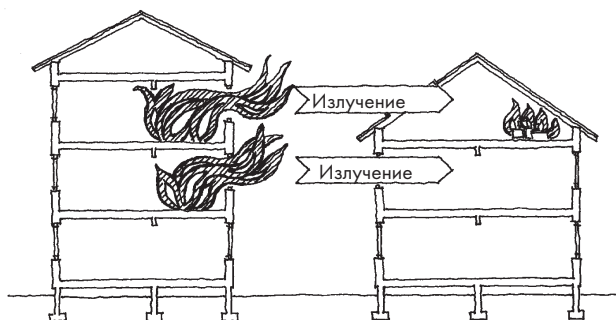


Рис. 40А. Распространение огня за счет излучения

### Излучение

Посредством излучения тепло передается от теплых тел к холодным. большей частью тепловое излучение – это невидимое инфракрасное излучение. Интенсивность излучения убывает пропорционально квадрату расстояния.

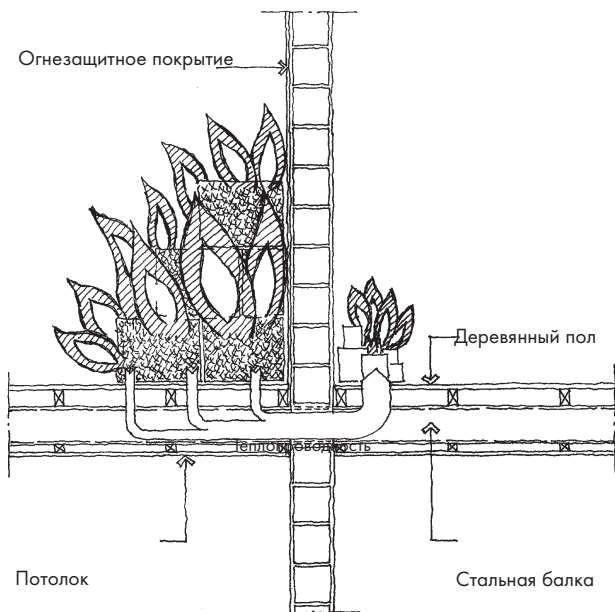


Рис. 40В. Распространение огня посредством теплопроводности

### Теплопроводность

Тепло передается через материал (твердое тело, жидкость или газ) или от одного объекта к другому при непосредственном контакте. Металлы – самые лучшие проводники тепла. Теплопроводность жидкостей невелика, а газов – еще меньше.

Во время пожара тепло также передается негорючими материалами и конструкциями. Тонкая бетонная стена, например, не является надежной преградой для распространения пожара. Во время пожара могут представлять опасность трубы и другие пропущенные через стены элементы, так как металлы обладают высокой теплопроводностью.

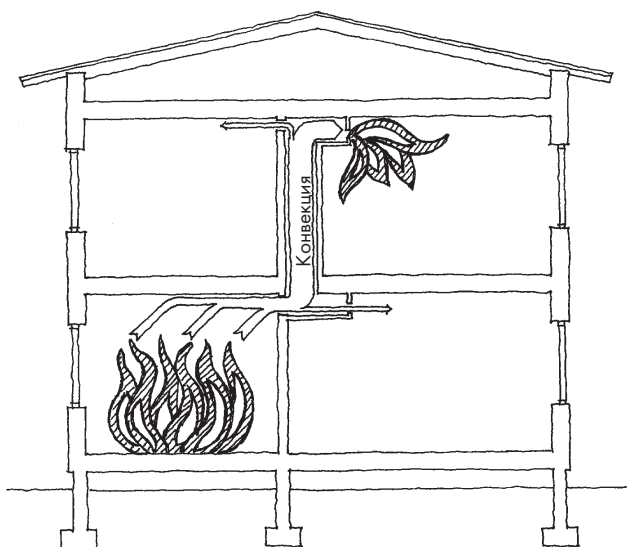


Рис. 40С. Распространение огня посредством конвекции

### Конвекция

Выделяемые при горении газы и окружающий воздух сильно нагреты. Так как теплые газы легче холодных, возникает конвекция или тепловое излучение горячих горючих смесей.

При пожаре в помещениях передаваемое конвекцией тепло может вызывать вторичные возгорания на большом расстоянии от основного очага пожара, частично за счет нагрева горючих материалов до температуры возгорания, частично от того, что газы, не сгоревшие из-за недостатка кислорода, воспламенились с его поступлением.

### Пожарная защита зданий

Согласно национальным строительным нормам и правилам здания должны строиться таким образом, чтобы не допустить возникновения пожаров. С другой стороны, необходимо препятствовать распространению огня по зданию или распространения его на соседние здания. Цель правил по пожарной защите формулируется следующим образом:

- Спасение жизней
- Спасение имущества

Это также можно выразить следующим образом:

- **Предупреждение пожаров**

Использование негорючих материалов, достаточная удаленность от горючих материалов, поверхностных слоев и т.п.

- **Обеспечение эвакуации людей в случае возникновения пожара**

Требования наличия двух выходов или максимальной протяженности путей эвакуации и т.д.

- **Использование огнестойких конструкций**

Конструкции здания должны быть огнестойкими.

- **Снижение опасности распространение огня**

Требования к материалам поверхностей, противопожарным отсекам на чердаках и т.д.

- **Тушение огня**

Требования к вентиляции, противопожарному оборудованию, подъезду пожарных автомобилей и т.д.

Перечисленные требования составляют основу для проектирования пожароустойчивых зданий.

## Противопожарная изоляция

Противопожарная изоляция зданий служит для предупреждения пожара, а также для локализации возможного пожара без ущерба для жизни людей и минимизации иных рисков.

Характеристики конструкций и противопожарные меры в большинстве случаев оцениваются по полномасштабным испытаниям, типовым испытаниям всех или отдельных конструкций. Для расчёта огнестойкости необходимо знать характеристики материалов при высоких температурах.

## Пожарная нагрузка

Термин пожарная нагрузка определяет зависимость между общим количеством тепла, выделяемого при горении всего воспламеняемого материала в здании, включая товары в складских помещениях, материальные запасы и т.д., и общей площадью здания.

Пожарная нагрузка выражается в МДж/м<sup>2</sup>, однако, ее часто также выражают в килограммах древесины на м<sup>2</sup>. Эта единица является международно-признанной и полезной, так как большое число пожаров связано с горением дерева. Другие горючие материалы пересчитываются на древесину, исходя из выделяемого при горении тепла. Таким образом, пожарная нагрузка может быть рассчитана как сумма общей теплоты сгорания материала, деленная на теплоту сгорания 1 кг древесины (сосны), а именно 19000 кДж/кг.

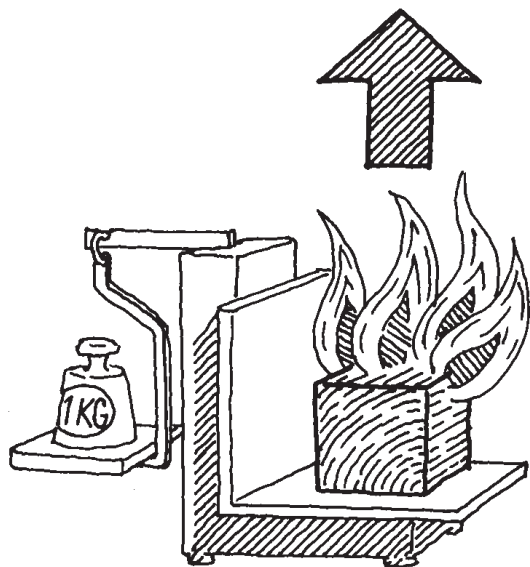


Рис. 41

Тип здания	Пожарная нагрузка в кг древесины на м <sup>2</sup> пола
Жилой дом	25-45
Больница	20-40
Отель	15-25
Офис	20-95
Школа	15-30
Библиотека	200-400
Хранилище	30-125
Склады	15-50

Таблица 42: Результаты исследований пожарной нагрузки для различных типов зданий (в основном с бетонными конструкциями).

Из таблицы видно, что пожарная нагрузка изменяется не только по классам зданий, но и в пределах одного класса. Это зависит от типа и количества мебели.

Знание пожарных нагрузок для различных типов зданий служат основанием для разработки требований к строительным конструкциям (несущие конструкции, наружные стены, перекрытия и т.п.) и к их пожарным характеристикам.



Рис. 43

## Протекание пожара

Протекание пожара, т.е. зависимость температуры от времени, в основном находится под влиянием пожарной нагрузки и геометрии противопожарных отсеков.

Полное описание протекания пожара в противопожарных отсеках затруднительно из-за ряда факторов. В связи с этим при выполнении всех испытаний и расчетов целесообразно использовать нормальную кривую протекания пожара (Рис. 44), когда нет оснований отходить от этой кривой. К таким основаниям может относиться горение нефтепродуктов, для которых применяется совсем другая кривая, с другой зависимостью температуры от времени.

Уникальные свойства каменной ваты очевидны при сравнении ее с другими материалами, что демонстрирует нормальная кривая протекания пожара.

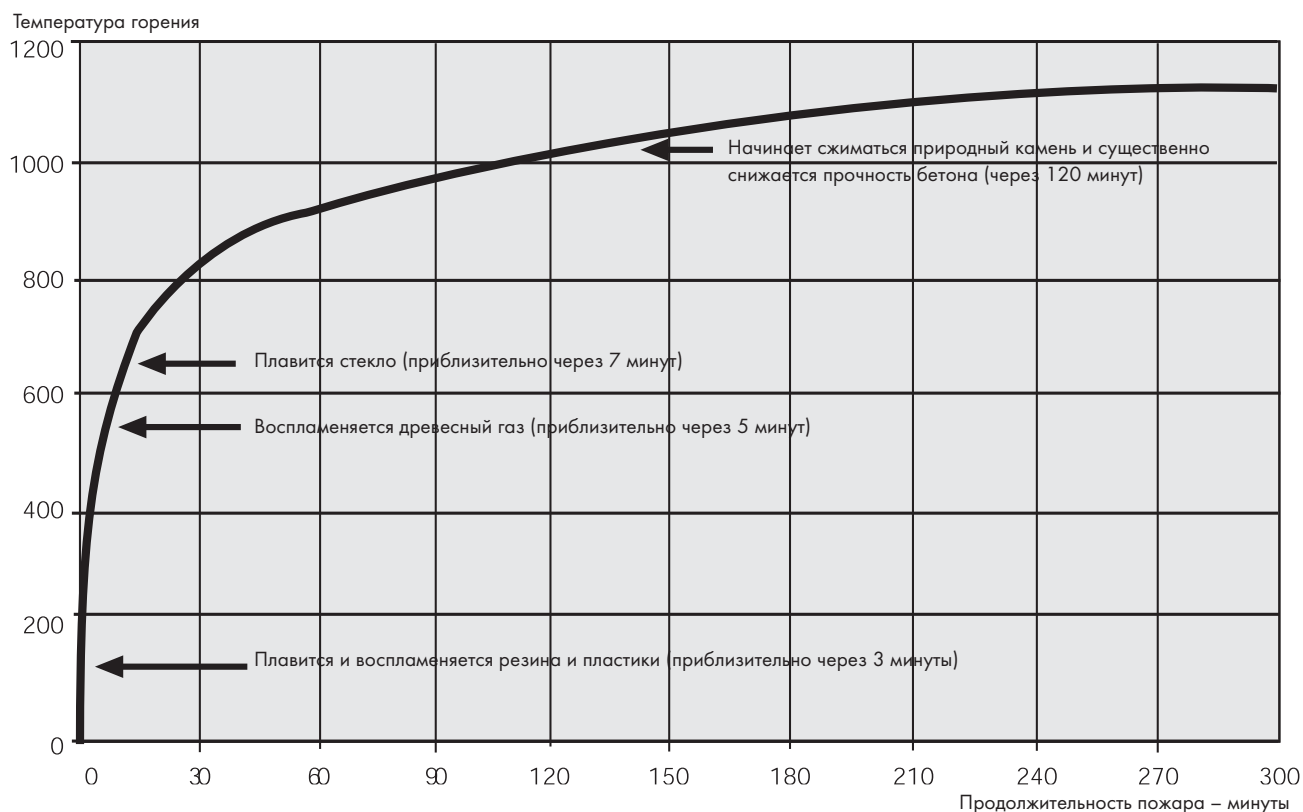


Рис. 44: Нормальная кривая протекания пожара

### Противопожарный отсек

Противопожарный отсек может состоять из одного или нескольких помещений, устроенных таким образом, чтобы не допустить распространение пожара на другие площади здания за определенный период времени.

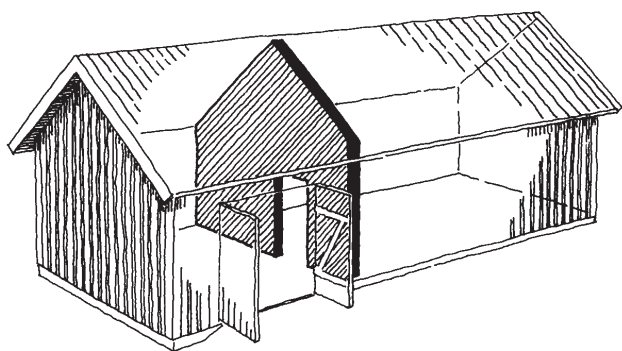


Рис. 45. Здание с двумя противопожарными отсеками

Период времени определяется, исходя из назначения здания и числа этажей.

В противопожарном отсеке не должно быть элементов, например, окон и дверей, с меньшей огнестойкостью, чем заданная огнестойкость всего отсека.

Если не удастся локализовать пожар в указанных частях здания, распространение огня следует попытаться остановить посредством пожаротушения.

### Классы огнестойкости зданий

Как правило, в национальных строительных нормах принято делить типы зданий на классы. Например, в Швеции, здания подразделяются на три различных класса огнестойкости. При делении на классы чердак должен считаться этажом, если он используется, как жилое помещение или как основная часть дома.

#### Здания класса Br1

К классу Br1 относятся здания с тремя или более этажами.

К классу Br1 также должны быть отнесены следующие здания с двумя этажами:

- Здания, предназначенные для ночевки людей, плохо ориентирующихся в здании.
- Здания, предназначенные для людей, не способных самостоятельно передвигаться в безопасное место.
- Здания с помещениями для сбора на других этажах.

## Здания класса Br2

К классу Br2 относятся следующие *двухэтажные здания*:

- Здания, рассчитанные более чем на две квартиры, в которых на чердаке находится жилое помещение или рабочий кабинет.
- Здания с помещениями для сбора на первом этаже.
- Здания, имеющие площадь более 200 м<sup>2</sup> и не разделенные переборками на помещения, размеры которых превышают минимальные для зданий низшего класса REI 60-M.

*Одноэтажные здания* с помещениями для сбора на первом этаже или под ним относятся, как минимум, к классу Br2.

Класс других зданий может определяться их назначением, в этом случае необходимо пользоваться соответствующими указаниями. Остальные здания, не упомянутые выше, относятся к классу Br 3.

Подробные правила для различных **частей зданий** и различных типов зданий можно найти, например, в положениях Шведского Национального Совета по жилищному строительству и планированию или страховых компаний Швеции.

## Европейская классификация

Являясь частью ЕС, мы принимаем новую общую систему испытаний и классификации огнестойкости строительных материалов. Это означает, что количество противопожарных испытаний сокращено и заменено меньшим количеством согласованных мероприятий. Все существовавшие ранее национальные классификации заменены новой европейской классификацией A1, A2, B – F. A1 – это самый высокий класс. Во время переходного периода в скобках указываются старые классы. Европейская классификация устанавливает подверженность строительных материалов огню и риск их воспламенения. Материалы классов A1, A2 и B не воспламеняются. Классы A2-D должны использоваться в сочетании с дополнительными классами, описывающими выделение дыма (s1, s2, s3) или горящих капель (d0, d1, d3) под воздействием огня. Класс E может сочетаться только с дополнительным классом d2. Характеристики самого низкого класса F не определены, другими словами, это означает, что такой материал легко горит. Возможные варианты использования строительных материалов должны определяться национальными строительными нормами. Минеральная вата Paroc без наружного покрытия или с покрытием стекловолоконной тканью относится к высшему классу A1.

## Покрытия

**Огнезащитным покрытием** называется покрытие, изготовленное из огнестойкого или иного подходящего материала и надежно закрепленное на легковоспламеняющемся материале, и которое при испытаниях в соответствии со стандартными методиками в течение не менее чем 10 минут предотвращает загорание защищаемого материала.

В определенных случаях минеральная вата Paroc классифицируется в качестве огнезащитного покрытия.

## Классификация покрытий

Покрытие выбирается, исходя из дымообразующей способности и степени распространения огня в помещении на начальном этапе пожара. Поэтому к пожарным выходам предъявляются очень жесткие требования. Нормы подразделяют покрытия на три уровня требований: европейский класс B-s1, d0 (ранее покрытие класса I), C-s2, d0 (ранее покрытие класса II) и D s2, d0 (ранее покрытие класса III). Покрытия более низкого качества D-s20, d0 не используются.

## Классификация помещений

Требования, предъявляемые нормативными документами к помещениям, определяются назначением этих классов:

- R (несущая способность)
- E (целостность)
- I (изоляция)

Понятие целостности означает способность конструкций предотвращать возгорание всего здания. Изоляция ограничивает температуру участков, не подвергающихся действию пламени, обычно максимальная температура составляет 140 °C.

Для обозначений классов, обычно являющихся сочетанием двух или трех классов, также указывается предел времени в минутах, например, RE 30 или REI 60.

Классификация может сочетаться с дополнительными классами

- M для случаев, когда особое значение имеет механическое повреждение
- C для дверей с запирающим устройством

### **Огнестойкость минеральной ваты Paroc**

Минеральная вата Paroc изготавливается из каменных пород базальтовой группы, нагретых до температуры плавления приблизительно 1500 °С, и затем, в ходе специальной обработки, сформированных в волокна.

Таким образом, минеральная вата Paroc является неорганическим материалом, за исключением очень небольшого содержания связующих компонентов и масел.

### **Устойчивость к температурным воздействиям**

Минеральная вата Paroc представляет собой изоляционный материал с высокой температурой плавления, пригодный для зданий с высокими противопожарными требованиями. Изоляция не увеличивает пожарную нагрузку и требования к изоляции при пожаре. Связующий компонент минеральной ваты Paroc плавится при температуре приблизительно 200 – 300 °С. Волокна минеральной ваты плавятся при температуре 1000 °С. Поэтому минеральная вата Paroc может использоваться при температурах свыше 200 °С – волокна остаются неповрежденными и защищают расположенные ниже материалы от воздействия пламени. При строительстве теплоизоляции должна быть учтена сохранение формы под механическим воздействием после разрушения связующего компонента.

Как правило, высоким температурам, достаточным для разрушения связующего компонента, подвергается только одна сторона. Минеральная вата Paroc обладает хорошими теплоизоляционными характеристиками даже при высоких температурах, возникающих во время пожара. Падение температуры в наружном слое теплоизоляции настолько велико, что остальная изоляция остается неповрежденной.

### **Эффективность теплоизоляции**

Эффективность изоляции определяют следующие факторы:

#### **1) Термостойкость**

Изоляционный материал должен быть устойчив к воздействию высоких температур, возникающих во время пожара, он не должен плавиться и существенно уменьшаться в размерах.

#### **2) Мощность изоляции**

Мощность изоляции зависит от температуры. Изоляционный материал должен иметь хорошие теплоизоляционные свойства даже при высоких температурах.

#### **3) Теплоемкость**

Теплоемкость каменной ваты Paroc отчасти определяется низкой плотностью. Например, бетон обладает высокой теплоемкостью.

### **Определение размеров**

Целью определения размеров является создание конструкции, которая сможет выдержать воздействие огня без разрушения. Кроме того, данный процесс часто применяется для предотвращения возгорания материала на стороне, не подвергающейся воздействию огня.

Вычисление размеров является сложной задачей. В большинстве случаев требуемые размеры уже были определены на основании проведенных испытаний. Для некоторых зданий можно провести расчеты отдельных элементов, например, огнестойкой изоляции стальных конструкций, с помощью PAROC FPS 17. Для разделенных деревянных конструкций разработан метод сложения. Ниже приводится его краткое описание.



# Метод сложения

## Общие положения

Приведенный метод не обеспечивает 100-процентной точности и не является альтернативой проведения пожарных испытаний, т.к. в нём слишком много неопределенных параметров. Результаты таких расчетов могут использоваться, как дополнение к испытаниям, или же контрольные испытания могут дополнять расчеты.

## Разделенные деревянные конструкции

Метод сложения применяется при вычислении огнестойкости деревянных конструкций из бруса, относящихся к классу пожарной защиты EI 60. Суммируя огнестойкость различных слоев материалов конструкции, можно оценить общую огнестойкость всей конструкции ( $b_{общ}$ ). Вычисления основаны на большом числе проведенных пожарных испытаний. За исходную точку принимается так называемое базовое значение ( $b_n$ ). Это огнестойкость слоя материала. Расположение слоя в структуре может быть определено путем умножения базовой величины на коэффициент положения ( $k_n$ ). Также можно использовать следующую формулу.

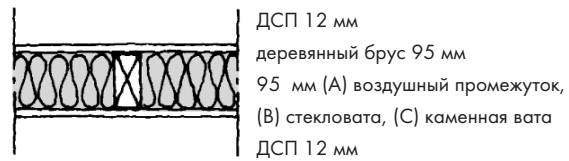
$$b_{общ} = b_1k_1 + b_2k_2 + \dots = \sum b_nk_n \quad (\text{формула 1})$$

Примеры базовых значений материалов ( $b$ ) и коэффициентов положения ( $k$ ) приведены в следующей таблице.

Тип	Плотность (кг/м³)	Толщина (мм)	Базовое значение (мин)
Деревянные панели и фанера	450-590	12	11.1
		20	18.7
ДСП и ДВП	600-800	12	13.6
		22	24.6
Гипсокартонный лист: Обычный Класс защиты F	680-780 ≥ 830	13	18.0
		15	22.0
Стекловата	19	45	5.0
		95	10.0
		120	12.0
		195	20.0
Минеральная вата	28	45	9.0
		95	19.0
		120	24.0
		195	39.0
Воздушный промежуток		45-195	5.0

Базовые значения ( $b_n$ ) различных материалов  
Пример расчета.

Пример вычислений огнестойкости ( $b_{общ}$ ) по методу сложения (формула 1).



(A) Воздушный промежуток

$$b_{общ} = (13,6 \cdot 0,8) + (5,0 \cdot 1,0) + (13,6 \cdot 0,6) = 24,0 \text{ минуты}$$

(B) Стекловата

$$b_{общ} = (13,6 \cdot 0,78) + (10,0 \cdot 1,0) + (13,6 \cdot 0,67) = 29,7 \text{ минут}$$

(C) Каменная вата

$$b_{общ} = (13,6 \cdot 0,78) + (19,0 \cdot 1,0) + (13,6 \cdot 2,9) = 69,0 \text{ минут}$$

Коэффициент расположения ( $k_n$ ) слоев из различных материалов в стене с одним слоем панели.

Тип	Толщина (мм)	Коэффициенты положения								
		Подвергающаяся воздействию панель, покрытая с задней стороны		Изоляция/ Воздушный промежуток	Не подвергающаяся воздействию панель, покрытая с лицевой стороны					
		Стекловата / минеральная вата (мм) 45-195	Воздушный промежуток		*1] Стекловата (мм) 45-195	Каменная вата (мм)				2]3] Воздушный промежуток
Деревянные панели и фанера	12	0,78	0,8	1,0	0,67	1,9	2,4	2,9	3,9	0,6
	20	0,94	0,8	1,0	1,23	1,9	2,4	2,9	3,9	0,6**)
ДПС и ДВП	12	0,78	0,8	1,0	0,67	1,9	2,2	2,9	3,9	0,6
	22	0,98	0,8	1,0	1,37	1,9	2,4	2,9	3,9	0,6**)
Гипсокартонный лист: Обычный Класс защиты F	13	0,8	0,8	1,0	0,74	1,9	2,4	2,9	3,9	0,7
	15	0,84	0,8	1,5 <sup>4)</sup>	0,88	1,9	2,4	2,9	3,9	0,7

\*) С учетом толщины открытой панели.

\*\*\*) 0,8, когда расстояние между брусками > 70 мм.

Если в качестве открытой панели используется панель класса защиты F или ее эквивалент, т.е. панель выдерживает действие пламени в течение > 60 минут, может применяться следующий коэффициент расположения:

- 1) Такой же, что и для каменной ваты, но не более 2,9.
- 2) 1,5 для панелей на деревянной основе.
- 3) 1,8 для гипсокартонных панелей и панелей из волокнистого цемента.
- 4) 2,0 для стекловаты

Коэффициенты расположения ( $k_n$ ) для слоев из различных материалов в стенах с двумя панелями.

Структура <sup>2)</sup> Открытая панель/Закрытая панель+Панель ближайшая к стержню	Открытая панель		Изоляция/ Воздушный промежуток	Закрытые панели	
	Панель 1 открытая	Панель 2 Ближайшая к стержню		Панель 3 Ближайшая к стержню	Панель 4 закрытая
2 деревянные панели Воздушный промежуток	1,0	0,6	1,0	0,5	0,7
2 гипсовые панели Воздушный промежуток	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7 <sup>3)</sup>
Гипсовая панель + деревянная панель Воздушный промежуток	1,0	1,0	1,0	0,8	0,7 <sup>3)</sup>
Деревянная панель + гипсовая панель Воздушный промежуток	1,0	0,6	1,0	1,0	0,7 <sup>3)</sup>
2 деревянные панели Каменная вата, 28 кг/м <sup>3</sup>	1,0	0,6	1,0	1,0 <sup>1)</sup>	2,0 <sup>1)</sup>
2 гипсовые панели Каменная вата, 28 кг/м <sup>3</sup>	1,0	1,0	1,0	1,0 <sup>1)</sup>	3,5 <sup>1)</sup>
Гипсовая панель + деревянная панель Каменная вата, 28 кг/м <sup>3</sup>	1,0	1,0	1,0	1,0 <sup>1)</sup>	2,0 <sup>1)</sup>
Деревянная панель + гипсовая панель Каменная вата, 28 кг/м <sup>3</sup>	1,0	0,6	1,0	1,0 <sup>1)</sup>	2,5 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Значение определено для защищенной стороны. Для получения больших значений необходимо увеличение числа базовых слоев.

<sup>2)</sup> Общая толщина панели не превышает 26 мм с каждой стороны стены.

<sup>3)</sup> 1,0 при расстоянии между брусками > 70 мм.

## Разделенные деревянные конструкции

### Метод сложения - Дополнительные данные для каменной ваты Paroc

Базовые значения для материалов были получены в ходе широкой программы испытаний, которым подвергались, как конструкции реальных размеров, так и уменьшенные модели. Для дополнения этих исследований и, главным образом, для изучения влияния плотности минеральной ваты, мы начали проведение исследований в Шведском Институте Технического обучения в Norrköping. Использовались те же методы, что и ранее в Tratek. Некоторые испытания проводились параллельно, так как была доказана их совместимость. Результаты приведены в следующих таблицах.

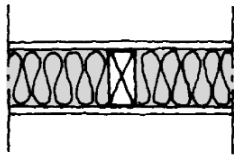
Базовые значения ( $b_n$ ) для различных изделий из каменной ваты Paroc и обычных гипсовых панелей Gyproc

Номер изделия	Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Толщина (мм)	Базовое значение (мин)
Гипсовая панель	730	13	18.7
PAROC eXtra	26	45	7.7
		70	10.9
		95	11.6
		145	20.3
PAROC FPS 4	45	40	10.4
		70	16.8
		95	20.2
PAROC COS 10	80	50	12.6
		80	24.5
		100	32.3
PAROC FPS 17	140	30	11.9
		50	23.5
		70	38.0
		80	43.7

### Коэффициенты расположения ( $k_n$ )

Тип	Толщина (мм)	Коэффициент положения	Плотность каменной ваты, (кг/м <sup>3</sup> )	Каменная вата	Коэффициенты расположения								
					Закрытая облицованная панель с каменной ватой на лицевой стороне, толщина (мм)								
					30	45	50	70	80	95	100	145	
Гипсо- вая панель	13	0,9	26	1,0	-	2,1	-	2,6	-	2,9	-	3,5	
		0,9	45	1,0	-	2,3	-	2,7	-	3,3	-	-	
		0,9	80	1,0	-	-	3,1	3,5	-	4,1	4,3	-	-
		0,9	140	1,0	2,6	-	3,6	4,1	4,3	-	-	-	-

Примечание: (-) = нет данных.



гипсокартонная плита 13 мм  
плита PAROC 95 мм  
брусок деревянный 45 x 95 мм  
через 600 мм  
гипсокартонная плита 13 мм

Пример расчета:

Здесь приводятся примеры расчеты описанной выше конструкции по формуле 1 на стр. 41.

(D) PAROC eXtra (26 кг/м<sup>3</sup>)

$$b_{\text{общ}} = (18,7 \times 0,9) + (11,6 \times 1,0) + (18,7 \times 2,9) = 82,7 \text{ минут}$$

(E) PAROC FPS 4 (45 кг/м<sup>3</sup>)

$$b_{\text{общ}} = (18,7 \times 0,9) + (20,2 \times 1,0) + (18,7 \times 3,3) = 98,7 \text{ минут}$$

### **Метод сложения – Предел огнестойкости более 60 минут**

Согласно приведенным выше расчетам, при использовании в качестве теплоизоляции каменной ваты достигаются большие пределы огнестойкости. Обычно эти пределы превышают классы огнестойкости, приведенные в других информационных материалах Paroc. Почему? Во время пожара обшивка помещений либо сгорает, либо падает – обычно после горения в течение 15 – 25 минут. После этого деревянные бруски и изоляция подвергаются воздействию огня. Минеральная вата, выдерживающая температуры свыше 1000 °С, остается на месте и защищает закрытую от огня обшивку. Обрешетка обгорает со скоростью 0,7–1,0 мм в минуту, и, таким образом, полностью будет уничтожена через 100 минут. Между брусками обычно крепятся изоляционные плиты, но когда обрешетка сгорает, изоляция падает. После этого огонь проникнет к закрытой до этого панели. Поскольку этот процесс может протекать по-разному, он не учитывается при расчете огнестойкости. Поэтому необходимо выполнять такие расчеты с определенной осторожностью. Это также является основной причиной, почему метод сложения не может быть использован, когда время горения превышает 60 минут.

Другой причиной меньших значений класса огнестойкости является то, что период огнестойкости округляется до ближайшего значения в меньшую сторону. В приведенном выше примере D период 82,7 минуты округляется до 60 минут.

### **Дополнительная информация Paroc об огнестойкости**

Указания по огнезащите стальных конструкций приведены на сайте paroc. Кроме того, там можно найти другие прошедшие испытания и утвержденные конструкции, применение которых зависит от степени применения стандартов EN в разных странах.

Дополнительную информацию о свойствах материалов и о нашей продукции см. на сайте [www.paroc.com](http://www.paroc.com)

# Акустика

## Мощность и интенсивность звука

Звук – это энергия, переносимая звуковой волной. Отношение к звуку, как к потоку энергии, помогает решать множество акустических проблем, открывая пути упрощенного рассмотрения звуковых процессов.

Источник звука может рассматриваться как точечный источник энергии, излучающий мощность  $P$  (Вт). Излучение точечного источника равномерно во всех направлениях, а на расстоянии  $r$  (м) его интенсивность  $I$  (Вт/м<sup>2</sup>) может быть вычислена по следующей формуле (предполагается, что в пространстве нет отражающих поверхностей):

$$I = P / (4\pi r^2) \quad (1)$$

$P$  = мощность звука, Вт,

$r$  = расстояние от источника, м,

$I$  = интенсивность звука, Вт/м<sup>2</sup>.

При излучении в полусферу, когда источник звука находится на земле, формула (1) принимает вид:

$$I = P / (2\pi r^2) \quad (2)$$

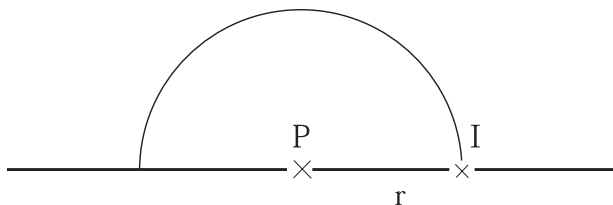


Рисунок 46: Распределение звука от точечного источника, находящегося на земле.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Интенсивность обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника до точки наблюдения и снижается на 6 дБ при каждом удвоении расстояния.

Источник звука	Мощность, Вт	$L_w$ , дБ
Шепот	$10^{-9}$	30
Разговор	$10^{-5}$	70
Крик	$10^{-3}$	90
Грузовик	$10^{-2}$	100
Труба, рожь	$10^{-1}$	110
Пневматический отбойный молоток	$10^0$	120
Симфонический оркестр	$10^1$	130
Турбовинтовой самолет с четырьмя двигателями	$10^3$	150
Реактивный самолет	$10^4$	160
Ракета	$10^7$	190

Таблица 47: Звуковая мощность некоторых источников.

**Пример 1:** Заполненный стадион Уллеви в Гетеборге, Швеция, (40 000 человек) кричит «ГОЛ!» Какая мощность звука создается при этом?

**Ответ:**  $40\ 000 \cdot 10^{-3}$  Вт = 40 Вт.

## Звуковое давление

Мы не можем непосредственно воспринимать интенсивность звука, поскольку наш орган слуха устроен так, что способен реагировать только на изменения звукового давления в звуковом поле. Соотношение между интенсивностью звука и звуковым давлением записывают следующим образом:

$$I = p^2 / (nZ) = p^2 / (\rho c) \quad (3)$$

$p$  = звуковое давление, Па,

$Z = \rho c$  = волновое сопротивление среды, в воздухе при нормальных условиях  $\rho c = 400$  Па с/м,

$\rho$  = плотность среды, кг/м<sup>3</sup>,

$c$  = скорость звука в среде, м/с,

$n$  = константа, принимает значения от 1 до 4 в зависимости от характера звукового поля.

## Свободная плоская звуковая волна

Если источник звука находится на большом удалении, и в пространстве отсутствуют отражающие звук поверхности, в воздухе распространяется свободная плоская звуковая волна,  $n = 1$  в формуле (3) и при этом можно пользоваться формулой (1).

## Диффузное (рассеянное) звуковое поле

В диффузном (рассеянном) звуковом поле звуковые волны поступают со всех возможных направлений, поэтому в формуле (3) величина  $n$  принимает значение 4.

В реверберационной камере преобладает диффузное звуковое поле. Если расположить источник звука в такой камере, то в установившемся поле реверберирующего звука достигается равновесие, при котором потери энергии, возникающие за счет поглощения звука на ограждающих конструкциях камеры, полностью компенсируются энергией, доставляемой источником звука:

$$P = I \cdot A \quad (4)$$

$P$  = поступающая мощность звука, Вт,

$I$  = интенсивность, Вт/м<sup>2</sup>,

$A$  = поглощающая способность камеры (эквивалентная площадь звукопоглощения), м<sup>2</sup>.

**Пример 2:** Выходная звуковая мощность механизма составляет 0,1 Вт. Механизм находится:

- а) на открытом воздухе, на твердой земле;
- б) в реверберационной камере с поглощающей способностью = 6 м<sup>2</sup>.

Каковы будут интенсивность звука и звуковое давление на расстоянии 100м от механизма на открытом воздухе и в поле реверберирующего звука в помещении камеры?

**Ответ: а)**  $I = P / (2\pi r^2) = 0,1 / 2 \cdot \pi \cdot 100^2 = 1,6 \cdot 10^{-6}$  Вт/м<sup>2</sup>.

$p^2 = I \cdot (\rho r c) = 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 400$ .

$p = 0,025$  Па.

**б)**  $I = P / A = 0,1 / 6 = 0,017$  Вт/м<sup>2</sup>.

$p^2 = I \cdot (\rho r c) = 0,017 \cdot 4 \cdot 400$ .

$p = 5,2$  Па.

## Прохождение звука через преграду

Когда звуковая волна падает на перегородку, разделяющую две области пространства, часть ее будет отражена, а небольшая часть пройдет через перегородку. Мы не учитываем того факта, что стена может поглощать звуковую мощность.

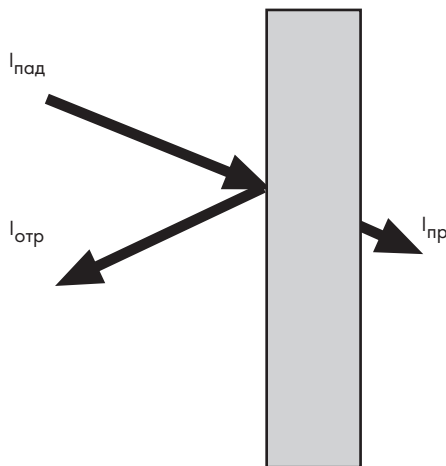


Рис. 48: Прохождение звука через перегородку

$$I_{\text{пад}} = I_{\text{пр}} + I_{\text{отр}} \quad (5)$$

$$\tau = I_{\text{пр}} / I_{\text{пад}} \quad (6)$$

$$\rho = I_{\text{отр}} / I_{\text{пад}} \quad (7)$$

$I_{\text{пад}}$  = Интенсивность падающего звука, Вт/м<sup>2</sup>,

$I_{\text{пр}}$  = Интенсивность прошедшего звука, Вт/м<sup>2</sup>,

$I_{\text{отр}}$  = Интенсивность отраженного звука, Вт/м<sup>2</sup>,

$\tau$  = Коэффициент звукопроницаемости,

$\rho$  = Коэффициент отражения

## Поглощение звука

При падении звуковой волны на поверхности помещения, часть падающего звука отразится, а оставшаяся часть звука будет поглощена этими поверхностями.

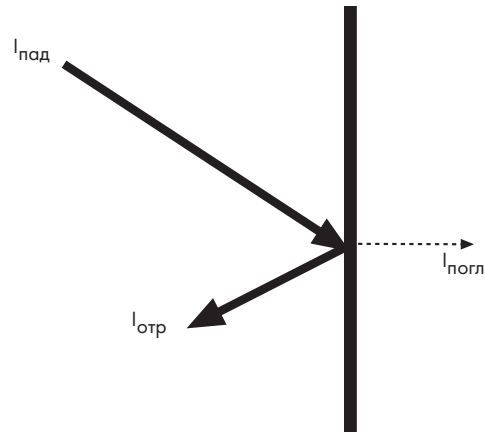


Рисунок 49: Схема процесса поглощения звука поверхностью.

$$I_{\text{пад}} = I_{\text{погл}} + I_{\text{отр}} \quad (8)$$

$$\alpha = I_{\text{погл}} / I_{\text{пад}} \quad (9)$$

$$\rho = I_{\text{отр}} / I_{\text{пад}} \quad (10)$$

$I_{\text{пад}}$  = Интенсивность падающего звука, Вт/м<sup>2</sup>,

$I_{\text{погл}}$  = Интенсивность поглощенного звука, Вт/м<sup>2</sup>,

$I_{\text{отр}}$  = Интенсивность отраженного звука, Вт/м<sup>2</sup>,

$\alpha$  = Коэффициент звукопоглощения,

$\rho$  = Коэффициент отражения.

Примечание: На самом деле, конечно, в большинстве случаев оба физических процесса поглощения и прохождения звука происходят одновременно.

## Величина «децибел» дБ

Понятия децибел (дБ) и Бел (=10 дБ) – это математические величины, а не специальные единицы измерения звука. Если сравнить две величины такие, как А и В, можно сказать, что значение А в некоторое число раз больше (старше, тяжелее и т.д.) значения В, или больше В на несколько дБ. Если прадедушке 100 лет, а его правнучке 1 год, он в 100 раз = 102 = на 2 Бел старше нее. Точнее, прадедушка на 20 дБ старше (по отношению к своей правнучке). Бел – это десятичный логарифм отношения двух величин.

В акустике говорят об уровне звуковой мощности (L), выраженном в дБ, а также об уровнях интенсивности звука и уровнях звукового давления (а также об уровне вибрации и т.д.). Поэтому всегда необходимо учитывать о каких величинах идет речь и каковы значения соответствующим им опорных (пороговых) величин.

Опорные величины:

Звуковая мощность звука  $W_0 = 10^{-12}$  Вт,  
 Интенсивность звука  $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>,  
 Звуковое давление  $p_0 = 20 \cdot 10^{-6}$  Па.

Уровни:

Уровень звуковой мощности  $L_w = 10 \cdot \log(W/W_0)$ , дБ,  
 Уровень интенсивности  $L_I = 10 \cdot \log(I/I_0)$ , дБ,  
 Уровень звукового давления  $L_p = 10 \cdot \log(p/p_0)^2$ , дБ.

Опорная величина звукового давления соответствует порогу слышимости на частоте 1000 Гц. Уровень интенсивности и уровень звукового давления примерно равны в поле свободной плоской звуковой волны при нормальных атмосферных условиях (статическое давление 1 бар = 1,02 атм и температура воздуха 20° С).

### Сложение децибел (дБ)

Децибел – это логарифмическая величина. Для того чтобы выполнять сложение или вычитание величин в дБ, необходимо перевести их в линейные величины, а затем вернуться к логарифму полученной линейной величины.

**Пример 3:** Необходимо сложить пять различных значений дБ: 43, 45, 33, 32 и 38 – какова будет сумма?

**Ответ:** Сначала переведем все величины в Бел. Необходимо сложить 4,3, 4,5, 3,3, 3,2 и 3,8 Бел. Теперь перейдем к обычным числам и сложим.

$$10^{4.3} + 10^{4.5} + 10^{3.3} + 10^{3.2} + 10^{3.8} = 20000 + 30000 + 2000 + 1600 + 6300 = 60000 = 10^{4.8}$$

Таким образом, сумма будет 4,8 Бел = 48 дБ.

**Пример 4:** Выразите результат для приведенных выше примеров 1 и 2 в дБ.

**Ответ:**

1)  $L_w = 10 \cdot \log(W/W_0)$  дБ =  $10 \cdot \log(40/10^{-12})$  дБ = 136 дБ.  
 2 а)  $L_I = 10 \cdot \log(I/I_0)$  дБ =  $10 \cdot \log(1,6 \cdot 10^{-6}/10^{-12})$  дБ = 62 дБ  
 $L_p = 10 \cdot \log(p/p_0)^2$  дБ =  
 =  $10 \cdot \log(1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 400/400 \cdot 10^{-12})$  дБ = 62 дБ  
 ( $L_p$  подобно  $L_I$  в свободной плоской звуковой волне)  
 2 б)  $L_I = 10 \cdot \log(I/I_0)$  дБ =  $10 \cdot \log(0,017/10^{-12})$  дБ = 102 дБ  
 $L_p = 10 \cdot \log(p/p_0)^2$  дБ =  
 =  $10 \cdot \log(0,017 \cdot 4 \cdot 400/400 \cdot 10^{-12})$  дБ = 108 дБ  
 (в диффузионном звуковом поле значение  $L_p$  на 6 дБ больше, чем  $L_I$ ).

## Изоляция воздушного шума

Показатель изоляции воздушного шума  $R$  является обратной величиной коэффициента звукопроницаемости, представленного в дБ. Для того чтобы получить положительное значение показателя изоляции воздушного шума в дБ, необходимо подставить значение коэффициента звукопроницаемости в формулу:

$$R = 10 \cdot \log(1/\tau) \quad (11)$$

$R$  = показатель изоляции воздушного шума, дБ,  
 $\tau$  = коэффициент звукопроницаемости,

**Пример 5:** Коэффициент звукопроницаемости на некоторой частоте составляет

а) для бетонной плиты толщиной 160 мм = 0,000003,  
 б) для гипсокартонной плиты толщиной 13 мм = 0,001.  
 Какова будет величина показателя изоляции воздушного шума?

**Ответ:** а)  $R = 10 \cdot \log 1/(3 \cdot 10^{-6}) = 55$  дБ,  
 б)  $R = 10 \cdot \log 1/0.001 = 30$  дБ.

### Средний показатель изоляции воздушного шума

Если стена состоит из двух или более элементов (окна, двери и т.д.) с разными показателями изоляции, средний показатель изоляции воздушного шума всей стены можно вычислить по формуле:

$$\tau_0 \cdot S_0 = \tau_1 \cdot S_1 + \tau_2 \cdot S_2 + \tau_3 \cdot S_3 + \dots \quad (12)$$

или, выражая результат для двух поверхностей в дБ:

$$R_0 = R_1 - 10 \cdot \log(S_1/S_0 + S_2/S_0 \cdot 10^{0,1(R_1-R_2)}) \quad (13)$$

$\tau_0$  = средний коэффициент звукопроницаемости стены,

$R_0$  = средний показатель изоляции воздушного шума стеной,

$S_0$  = общая площадь стены,

$\tau_n$  = коэффициент звукопроницаемости элемента  $n$ ,

$R_n$  = показатель изоляции элемента  $n$ ,

$S_n$  = площадь элемента  $n$ .

**Пример 6:** Дверь с  $R = 30$  дБ находится в стене с  $R = 52$  дБ. Площадь двери = 2 м<sup>2</sup> и площадь стены (включая дверь) = 25 м<sup>2</sup>. Каков результирующий показатель звукоизоляции?

**Ответ:**  $R_0 = R_1 - 10 \cdot \log(S_1/S_0 + S_2/S_0 \cdot 10^{0,1(R_1-R_2)}) = 52 - 10 \cdot \log(23/25 + 2/25 \cdot 10^{0,1(52-30)}) = 52 - 11 = 41$  дБ

## Измерение и вычисление показателя изоляции воздушного шума

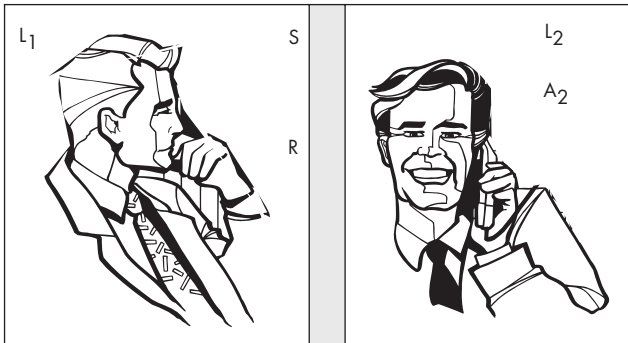


Рисунок 50: Изоляция воздушного шума между двумя помещениями.

Если две комнаты разделяет стена площадью  $S$  м<sup>2</sup>, показатель изоляции воздушного шума может быть вычислен по формуле:

$$R = L_1 - L_2 - 10 \cdot \log(A_2/S) \quad (14)$$

$L_1$  = уровень звукового давления в помещении источника шума, дБ,

$L_2$  = уровень звукового давления в принимающем помещении, дБ,

$A_2$  = поглощающая способность принимающего помещения, м<sup>2</sup>,

$S$  = площадь перегородки, разделяющей две комнаты, м<sup>2</sup>.

Уровни звукового давления  $L_1$  и  $L_2$  измеряют непосредственно, а  $A_2$  вычисляют по формуле (17) после измерения времени реверберации.

Примечание:  $R$  представляет собой показатель изоляции воздушного шума перегородкой, определенной в лабораторных условиях. Фактическую изоляцию воздушного шума перегородкой между двумя помещениями, измеренную в натуральных условиях (измеренную на месте), обозначают символом  $R'$ .

**Пример 7:** Игра на фортепиано в гостиной создает уровень звукового давления 95 дБ. В квартире, соседней с гостиной, находится спальня, общая площадь перегородки, разделяющей обе комнаты, составляет 8 м<sup>2</sup>. Предположим, что показатель изоляции стены равен 55 дБ, а эквивалентная площадь звукопоглощения спальни равна 12 м<sup>2</sup>. Каков уровень звука в спальне?

**Ответ:**  $L_2 = L_1 - R - 10 \cdot \log(A_2/S) = 95 - 55 - 10 \cdot \log(12/8) = 38$  дБ

## Акустика помещений

### Распространение звука

Уровень звукового давления для точечного источника звука с известной излучаемой мощностью может быть определен по формуле:

$$L_p = L_w + 10 \cdot \log(1/4\pi r^2 + 4(1-\alpha_{cp})/A) \quad (15)$$

$L_p$  = Уровень звукового давления на расстоянии  $r$ , дБ,

$L_w$  = Уровень звуковой мощности точечного источника звука, дБ,

$r$  = Расстояние, м,

$\alpha_{cp}$  = Средний коэффициент звукопоглощения поверхностей помещения,

$A$  = Эквивалентная площадь звукопоглощения помещения, м<sup>2</sup>.

Первое слагаемое под знаком логарифма описывает уровень звукового давления в поле прямого звука, второе – уровень звукового давления в ревербирующем поле.

Снижение уровня звукового давления прямого звука на 6 дБ происходит при удвоении расстояния от точечного источника звука. Сравните с линейным источником звука (например, с шумом автомобилей, едущих по дороге), для которого уменьшение уровня звукового давления при удвоении расстояния составляет 3 дБ.

### Звукопоглощение

Если звук падает на какую-либо поверхность, часть его интенсивности поглощается. Каждая поверхность обладает определенной поглощающей способностью, определяемой по формуле:

$$A = S \cdot \alpha \quad (16)$$

$\alpha$  = коэффициент звукопоглощения поверхности,

$S$  = площадь поверхности, м<sup>2</sup>,

$A$  = поглощающая способность ( эквивалентная площадь звукопоглощения) поверхности, м<sup>2</sup>.

### Время реверберации

Время реверберации используется для определения поглощающих свойств помещения. Оно определяется размером и поглощающей способностью помещения и может быть вычислено по формуле:

$$T = 0,16 \cdot V/A \quad (17)$$

$$T = 0,16 \cdot V/A \quad (17)$$

T = Время реверберации, с,

V = Объем помещения, м<sup>3</sup>,

A = эквивалентная площадь звукопоглощения поверхности, м<sup>2</sup>.

Время реверберации определяется как время снижения уровня звукового давления на 60 дБ после выключения громкоговорителя или после произведенного выстрела из пистолета. В общем случае кривая процесса снижения уровня звукового давления может быть аппроксимирована прямой линией.

Звукопоглощающую способность помещения можно вычислить следующим образом:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots = \sum S_n \cdot \alpha_n = S \cdot \alpha_{cp} \quad (18)$$

A = Общая поглощающая способность помещения, м<sup>2</sup>,

A<sub>1</sub> = Поглощающая способность поверхности 1, м<sup>2</sup>,

S<sub>1</sub> = Площадь поверхности 1, м<sup>2</sup>,

α<sub>1</sub> = Коэффициент поглощения поверхности 1,

S<sub>n</sub> = Площадь поверхности n, м<sup>2</sup>,

α<sub>n</sub> = Коэффициент звукопоглощения поверхности n, м<sup>2</sup>

α<sub>cp</sub> = Средний коэффициент звукопоглощения помещения,

S = Общая площадь помещения, м<sup>2</sup>.

**Пример 8:** Желаемое время реверберации в аудитории не должно превышать 0,8 сек. Допустим, что размеры аудитории составляют 6 · 10 · 3 м, и что требуется достичь вышеупомянутого времени реверберации только за счет звукопоглощающего потолка. Каким коэффициентом звукопоглощения должен обладать такой потолок?

**Ответ:** A = 0,16 · V/T = 0,16 · 180/0,8 = 36 м<sup>2</sup>.

α = A/S = 36/60 = 0,6

### Звук как волновое движение

Во многих случаях звук не может рассматриваться как энергия и должен рассматриваться как волновое движение. В звуковой волне молекулы воздуха перемещаются и колеблются относительно своего состояния равновесия. Расстояние между двумя соседними частицами, находящимися в одной фазе движения, составляет длину волны. Количество колебаний в секунду определяет частоту звука. Следующее уравнение описывает соотношение:

$$c = f \cdot \lambda \quad (19)$$

c = скорость звука, м/с,

f = частота звука, Гц,

λ = длина звуковой волны, м.

Скорость распространения звука в воздухе составляет примерно 340 м/с (скорость зависит от температуры воздуха).

В газах существуют только продольные волны, а скорость распространения волн не зависит от частоты.

В плитах (листовой материал, например, гипсокартонные плиты или ДСП) кроме продольных волн существуют и поперечные волны (изгибные волны). Скорость распространения звука изгибных волн зависит от частоты и растет с увеличением частоты звука.

### Слух и частотные характеристики фильтров

Реакция человеческого уха различна для разных частот звуковой части спектра. Порог слышимости составляет примерно 0 дБ в диапазонах частот 1 – 4 кГц, но при низких частотах он значительно повышается, составляя 40 дБ при 50 Гц.

Эмпирические данные показывают, что самое минимальное изменение звукового давления, которое может услышать ухо человека, составляет 3 дБ, а изменение уровня звукового давления на 10 дБ субъективно ощущается как удвоение громкости. Как отчетливо показано на диаграмме кривых равной громкости для простых тонов, эти эмпирические правила слишком упрощены.

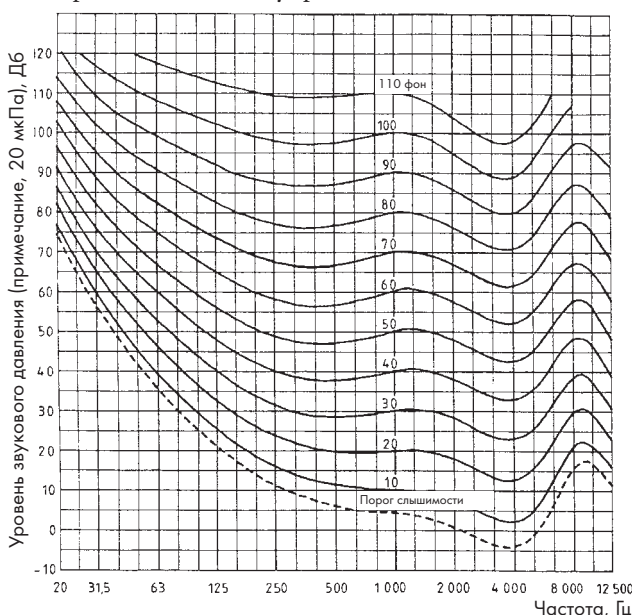


Рисунок 51: Кривые равной громкости в соответствии со стандартом ISO 226.



## Фильтр

При проведении акустических измерений необходимо учитывать характеристику чувствительности уха, для чего используют фильтры, включаемые между микрофоном и измерительным прибором. Как правило, при наличии опасности повреждения слуха или ощущения дискомфорта, измерения выполняются с помощью фильтра типа А (дБА).

Фильтры типа С часто используются для оценки раздражающего действия шума низкой частоты в жилых помещениях (дБС).

Корректирующие поправки, дБ

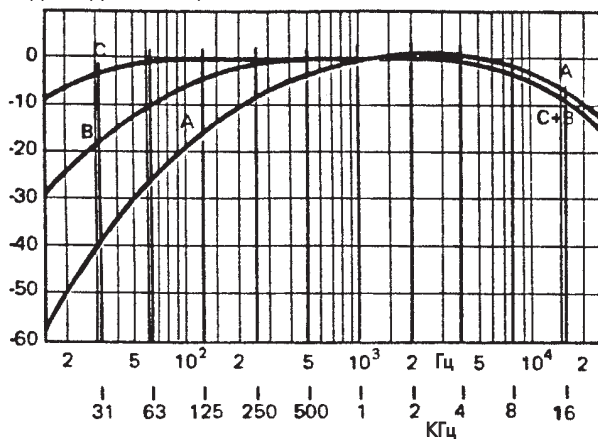


Рис. 52: Стандартизованные кривые частотных характеристик фильтров.

Октава Гц	Фильтр типа А	Фильтр типа С
16	-56,7	-8,5
31	-39,4	-3,0
63	-26,2	-0,8
125	-16,1	-0,2
250	-8,6	0
500	-3,2	0
1000	0	0
2000	1,2	-0,2
4000	1,0	-0,8
8000	-1,1	-3,0

Таблица 53: Значения корректирующих поправок фильтров типа А и С.

Для целей борьбы с шумом считается предпочтительным проводить измерения частотных характеристик шума в октавных полосах. В решениях проблемы звукоизоляции измерения выполняют в 1/3 - октавных полосах частот. Эти полосы отличаются постоянной шириной В:

$$B = f_{\text{верх}} - f_{\text{ниж}} \quad (20)$$

Диапазон октавы:  $f_{\text{верх}} = 2 \cdot f_{\text{ниж}}$  и  $f_{\text{центр}} = \sqrt{2} \cdot f_{\text{ниж}}$ ,  
 Диапазон 1/3 - октавы:  $f_{\text{верх}} = 2^{1/3} \cdot f_{\text{ниж}}$  и  $f_{\text{центр}} = 2^{1/6} \cdot f_{\text{ниж}}$

$B$  = ширина полосы диапазона частот, Гц,  
 $f_{\text{верх}}$  = Верхняя граница частотного диапазона, Гц,  
 $f_{\text{ниж}}$  = Нижняя граница частотного диапазона, Гц,  
 $f_{\text{центр}}$  = Центральная частота, Гц.

**Пример 9:** Уровни звукового давления в вентиляционной камере были измерены в октавных полосах частот, как показано в таблице. Вентиляционная камера через перегородку соседствует со спальней площадью 10 м<sup>2</sup>, поглощающая способность спальни составляет 10 м<sup>2</sup>. Показатели изоляции воздушного шума стены в октавных полосах приведены в таблице. Каков уровень звука в дБА в вентиляционной камере и в спальне?

125	250	500	1000	2000	4000	Среднегеометрические частоты октав, Гц
69	62	55	52	48	45	Спектр шума в вентиляционной камере, дБ
-16	-9	-3	0	+1	+1	Корректирующие поправки фильтра А, дБ
53	53	52	52	49	46	Спектр шума с коррекцией А в вентиляционной камере
20	30	50	55	60	60	Показатели изоляции воздушного шума
33	33	2	-	-	-	Уровень звука в спальне, дБА

**Ответ:**

Поправка на поглощение звука  $10 \cdot \log(A_2/S) = 0$ , поэтому  $L_2 = L_1 - R$

Общий уровень в вентиляционной комнате (логарифмическое сложение  $53 + 53 + \dots$ ) = 59 дБА

Общий уровень в спальне (логарифмическое сложение  $33 + 23 + 2$ ) = 33 дБА

## Звукоизоляция

В зависимости от способа возбуждения колебаний в строительных конструкциях зданий различают два вида изоляции - изоляцию воздушного и изоляцию ударного шумов.

### Изоляция воздушного шума

Под изоляцией воздушного шума ограждающей конструкцией принято понимать свойство последней передавать в соседнее помещение только часть падающей на конструкцию мощности звука, излучаемого непосредственно в воздух. Это могут быть звуки, например, речь, пение или звуки радио и телевизора. Изоляция воздушного шума определяется в результате проведения измерений показателей изоляции (уже определенных ранее  $R$  или  $R'$ ) в 21-ой 1/3-октавной полосе частот в диапазоне от 50 до 5000 Гц.

Высокие значения показателей  $R$  или  $R'$  указывают на хорошую изоляцию воздушного звука.

### Изоляция ударного шума

Ударный шум, возникающий, например, при ходьбе по полу (звук шагов) или при перемещении каких-либо предметов, излучается в защищаемое помещение квартиры в виде воздушного шума. Изоляция ударного шума определяется по результатам измерений приведенных уровней звукового давления при ударном воздействии на перекрытие с полом. Ударное воздействие производит стандартная ударная машина с молотком массой 500 г, падающим с высоты 40 мм с частотой 10 ударов в секунду. Приведенные уровни ударного шума также определяют путем измерений в каждой из 21-ой полосы частот шириной 1/3-октавы в диапазоне от 50 до 5000 Гц.

$$L_n = L_i + 10 \cdot \log(A/10) \quad (21)$$

$L_i$  = Приведенный уровень ударного шума под перекрытием в принимающем помещении, дБ,

$A$  = Поглощающая способность принимающего помещения,  $m^2$ ,

$L_n$  = Приведенный уровень ударного шума (лабораторные измерения), дБ,

$L'_n$  = Приведенный уровень ударного шума (натурные измерения), дБ,

Низкие значения  $L_n$  и  $L'_n$  свидетельствуют о хорошей изоляции ударного шума.

## Расчет $R_w$

Результаты измерений изоляции воздушного шума представляются в виде кривой  $R$  или  $R'$  в диапазоне частот от 50 до 5000 Гц, как показано на рисунке 54. Значения  $R$  и  $R'$  даны с точностью до одной десятой. При вычислении индекса изоляции воздушного шума  $R_w$  или  $R'_w$ , кривая должна быть сопоставлена с нормативной кривой в диапазоне от 100 до 3150 Гц. См. рисунок 54.

Показатель изоляции воздушного шума, дБ

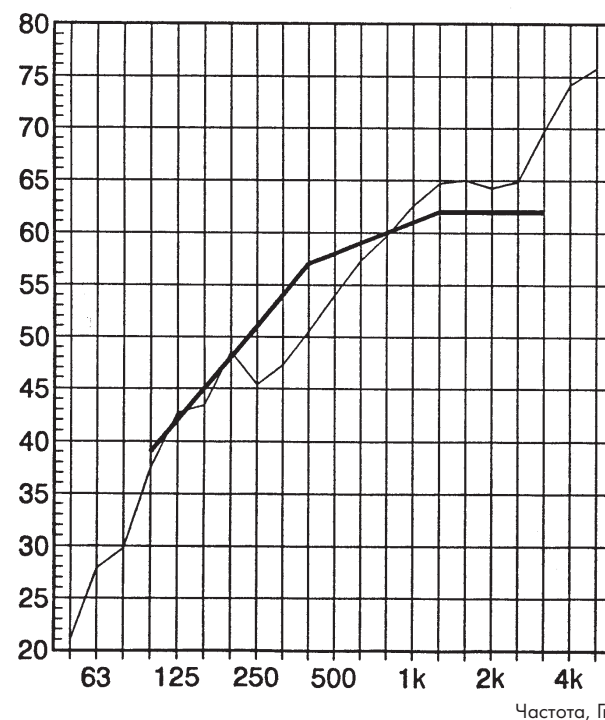


Рисунок 54: Измеренная частотная характеристика изоляции воздушного шума  $R'$  и нормативная кривая.

Нормативную кривую последовательно перемещают по направлению к измеренной кривой с шагом 1 дБ до тех пор, пока сумма неблагоприятных отклонений, находящихся ниже нормативной кривой, не будет максимально близкой к значению 32,0 дБ, но, по возможности, не превышающей его. Значение сдвинутой нормативной кривой на частоте 500 Гц после того, как она была перемещена, называют индексом изоляции воздушного шума и обозначают как  $R_w$  или  $R'_w$ .

## Величины С

Понятие индекса  $R_w$  используется в тех случаях, когда главным источником звука является человеческий голос. Поскольку в настоящее время в квартирах имеются такие низкочастотные источники шума, как стереосистемы, этой величины оказывается недостаточно. Если же речь идет об изоляции наружных стен, для которых источником звука является уличный транспорт, понятие  $R_w$  также становится непригодным.

Поэтому стандартом ISO 717 к индексу  $R_w$  введено несколько поправочных величин С. Полностью числовая запись индекса выглядит так:

$$R_w (C; C_{tr}; C_{50-3150}; C_{tr,50-3150})$$

С и  $C_{tr}$  подразумевают диапазон частот 100 – 3150 Гц.

Числовые значения величин:

$$R_w + C \text{ и } R_w + C_{50-3150}$$

представляют изоляцию воздушного шума в дБА для спектра шума с теми же самыми уровнями во всех 1/3-октавных полосах.

Числовые значения величин

$$R_w + C_{tr} \text{ и } R_w + C_{tr, 50-3150}$$

представляют изоляцию воздушного шума уличного движения в дБА для эталонного спектра шума транспортных потоков.

## Перекрытие с деревянными балками

На рисунке 54 и в таблице 56 приведены результаты натуральных измерений частотной характеристики изоляции воздушного шума перекрытием с деревянными балками, представленным на рис. 55. Покрытие пола состоит из паркета толщиной 14 мм и пенопласта толщиной 3 мм.

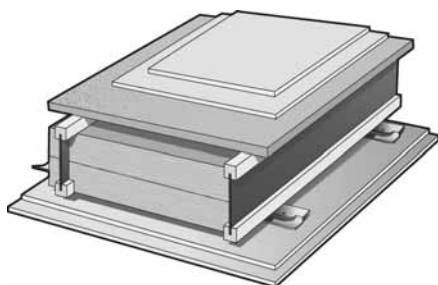


Рисунок 55: Перекрытие с деревянными балками.

Полное численное значение индекса изоляции воздушного шума перекрытием записывают в виде:

$$R'_w = 58 (-2; -6; -3; -15) \text{ дБ, таким образом,}$$

$$R'_w + C = 58 - 2 = 56 \text{ дБ, и}$$

$$R'_w + C_{50-3150} = 58 - 3 = 55 \text{ дБ}$$

Показанные результаты означают, что индекс изоляции воздушного шума уменьшится, если учитывают при расчетах индекса показатели плохой изоляции на низких частотах.

Частота 1/3-октавных полос, Гц	R' дБ	Норм. Кривая	$\Delta R'$	«Розовый» шум L	Коррекция А	«Розовый» шум L с коррекцией А	L - R'
50	21			-11	-30,2	-41	-61
63	27,9			-11	-26,2	-37	-64,9
80	29,8			-11	-22,5	-34	-63,8
100	37,5	39	1,5	-11	-19,1	-30	-67,5
125	42,7	42	0	-11	-16,1	-27	-69,7
160	43,4	45	1,6	-11	-13,4	-24	-67,4
200	48,5	48	0	-11	-10,9	-22	-70,5
250	45,4	51	5,6	-11	-8,6	-20	-65,4
315	47,3	54	6,7	-11	-6,6	-18	-65,3
400	50,5	57	6,6	-11	-4,8	-16	-66,5
500	54,0	58	4	-11	-3,2	-14	-68
630	57,3	59	1,7	-11	-1,9	-13	-70,3
800	59,7	60	0,3	-11	-0,8	-12	-71,7
1000	62,6	61	0	-11	0	-11	-73,6
1250	64,7	62	0	-11	0,6	-10	-74,7
1600	65,0	62	0	-11	1	-10	-75
2000	64,3	62	0	-11	1,2	-10	-74,3
2500	64,9	62	0	-11	1,3	-10	-74,9
3150	69,7	62	0	-11	1,2	-10	-79,7
		$R'_w = 58 \text{ дБ}$	$\Sigma \Delta R' = 27,9 \text{ дБ}$			$\log \Sigma = 0 \text{ дБ}$	$\log \Sigma = -55 \text{ дБ}$

Таблица 56: Расчет значений  $R'_w$  и C50-3100 для перекрытия, показанного на Рис.54. Перемещают нормативную кривую в наивысшее положение, при котором сумма неблагоприятных отклонений, находящихся ниже нормативной кривой, не будет максимально близкой к значению 32,0 дБ. На частоте 500 Гц определяют значение  $R'_w$ . «Розовый» шум означает, что в каждой 1/3-октавной полосе выбирают одинаковые уровни звукового давления. Эти уровни выбирают таким образом, чтобы логарифм суммы частотной характеристики L корректирующей поправки фильтра А и частотной характеристики розового шума был равен 0 дБ (приведен к 0 дБ).

Логарифм суммы L-R' будет равен -55 дБ, т.е. можно сказать при выбранном спектре «розового» шума конструкция обеспечивает изоляцию воздушного шума 0 - (-55) = 55 дБ.

Следовательно, поправка C50-3100 будет равна 55-58 = -3 дБ

## Расчет $L_n, W$

Индекс приведенного уровня ударного шума рассчитывают по результатам измерений уровней звукового давления в помещении, расположенном под перекрытием. Уровни звукового давления создают удары молотков стандартной ударной машины, установленной на перекрытии. Результат измерений представляют в виде частотных характеристик приведенного уровня ударного шума  $L_n$  или  $L'_n$ , дБ, в диапазоне частот от 50 до 5000 Гц. Значения  $L_n$  и  $L'_n$  приводят с точностью до одной десятой.

При расчете индексов приведенного уровня ударного  $L_{n,w}$  или  $L'_{n,w}$  полученные частотные характеристики в 16-ти 1/3 октавных полосах частота в диапазоне 100 – 3150 Гц сравнивают с нормативной кривой.

Так же, как для  $R_w$ , сумма неблагоприятных отклонений (отклонений, находящихся выше нормативной кривой) не должна превышать 32,0 дБ, но быть максимально близка к указанному значению суммы. Численные значения индексов определяют на частоте 500 Гц после перемещения нормативной кривой вверх или вниз. Рис. 57.

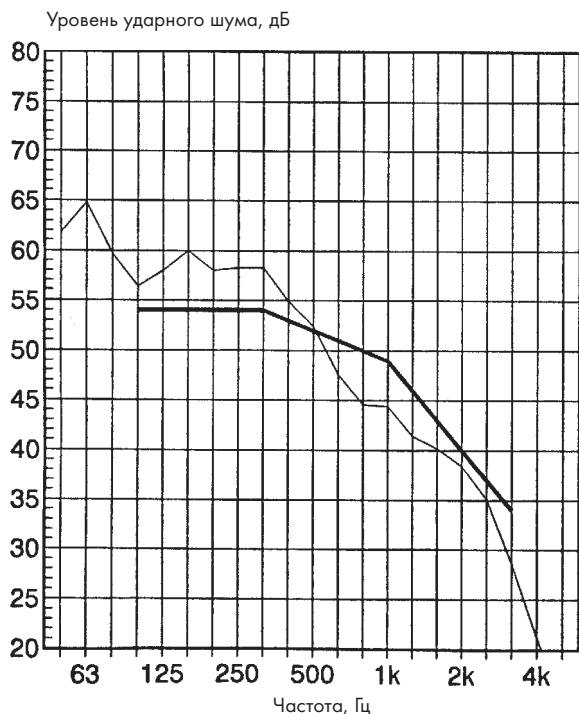


Рисунок 57: Измеренная частотная характеристика приведенного уровня ударного шума,  $L'_n$  и нормативная кривая.

## Величины $C$

Понятие индекса  $L_{n,w}$  не дает полной и точной картины изоляции от ударного шума для различных типов перекрытий, особенно с деревянными балками. Кроме того, в случаях с перекрытиями с легкими деревянными балками необходимо уделить особое внимание слишком высоким уровням ударного шума на частотах ниже 100 Гц. Поэтому, стандарт ISO-717 дополняет частотные характеристики  $L_n$  и  $L'_n$  двумя поправочными коэффициентами  $C$ :

$$C_{i,100-2500} \text{ и } C_{i,50-2500}$$

Эти поправки учитывают влияние на результаты измерений уровней ударного звука всего диапазона генерируемых частот, при этом численное значение индекса записывают:

$$L_{n,w} (C; C_{i,50-2500})$$

### Квартиры, разделенные перекрытием с деревянными балками

На рисунке 57 и в таблице 58 показаны результаты измерения изоляции приведенных уровней ударного шума (на объекте) того же самого легкого перекрытия с деревянными балками перекрытия, показанного на Рис. 55.

Индекс приведенного уровня ударного шума составляет:

$$L'_{n,w} = 52 (0; 3) \text{ дБ, таким образом}$$

$$L'_{n,w} + C = 52 + 0 = 52 \text{ дБ, и}$$

$$L'_{n,w} + C_{i,50-2500} = 52 + 3 = 55 \text{ дБ}$$

Полученный результат означает, что индекс приведенного уровня ударного шума при учете спектральных составляющих на частотах ниже 100 Гц возрастает, что свидетельствует о плохой изоляции ударного шума.

Частота 1/3 –октавных полос, Гц	L' n, дБ	Норматив- ная кривая	Δ L, дБ
50	61,8		
63	64,8		
80	59,7		
100	56,4	54	2,4
125	58	54	4,0
160	60	54	6,0
200	58	54	4,0
250	58,3	54	0,3
315	58,3	54	4,3
400	54,6	53	1,6
500	52,4	52	0,4
630	47,6	51	0
800	44,6	50	0
1000	44,4	49	0
1250	41,4	46	00
1600	40,2	43	0
2000	38,4	40	0
2500	35,1	37	0
3150	28,6	34	0
	logΣ = 70,1 дБ	L' n,w = 52 дБ	ΣΔL = 27,0 дБ

Таблица 58: Расчет значений величин L' n,w и C<sub>50-2500</sub> для перекрытия, показанного на Рис. 55. Нормативную кривую перемещают вниз до тех пор, пока сумма неблагоприятных отклонений от нормативной кривой, лежащих выше кривой, не достигнет значений максимально близких к сумме 32,0 дБ, не будет превышать ее. Значение индекса L' n,w определяют на частоте 500 Гц. Значения величин L' n для диапазона частот 50 – 2500 Гц логарифмически суммируют, в результате чего получают полный уровень ударного шума под перекрытием - 70,1 дБ. C<sub>50-2500</sub> вычисляют по формуле C<sub>50-2500</sub> = logΣL - 15 - L' n,w = 70 - 15 - 52 = 3 дБ

## Фасады

Если стена или окно должны изолировать от уличного шума, индекс изоляции воздушного шума от транспортного потока должен быть как можно более высоким.

Обычно значение индекса для хорошо изолированного (теплоизоляцией) деревянного фасада составляет:

$$R_w = 48 \text{ (-2; -7; -2; -12) дБ}$$

При этом изоляция воздушного шума деревянным фасадом транспортного шума определяют по формуле:

$$R_w + C_{tr,50-3150} = 48 - 12 = 36 \text{ дБ}$$

## Звукоизолирующие конструкции стен

### Однослойная панель

Однослойная перегородка представляет собой конструкцию, состоящую из одного листа гипсокартона, стекла, кирпича, бетона и т.д. Частотная характеристика изоляции воздушного шума плоской однослойной конструкцией сплошного сечения определяется поверхностной плотностью, жесткостью, внутренними потерями звука за счет затухания в материале и взаимодействием с примыкающими ограждающими конструкциями, а также площадью перегородки. Можно получить хорошее первое приближение, учитывая только массу стеновой панели. Согласно закону масс частотную характеристику изоляции воздушного шума определяют по формуле:

$$R = 20 \cdot \log m + 20 \cdot \log f - 49 \text{ дБ} \quad (22)$$

m = поверхностная плотность, кг/м<sup>2</sup>

f = частота, Гц

Примечание: Звукоизоляция растет с удвоением поверхностной плотности на 6 дБ, и растет при удвоении частоты звука со скоростью 6 дБ на октаву.

**Пример 10:** Вычислите звукоизоляцию для стальной плиты толщиной 1 мм на частоте 500 Гц.

$$\begin{aligned} \text{Ответ: } R &= 20 \cdot \log m + 20 \cdot \log f - 49 = \\ &= 20 \cdot \log 8 + 20 \cdot \log 500 - 49 = 23 \text{ дБ} \end{aligned}$$

## Эффект волнового совпадения

Скорость распространения звука свободных поперечных волн (волн изгиба) в панели зависит от частоты. При критической частоте скорость звука в панели совпадает со скоростью звука в воздухе. На этой частоте волнового совпадения возникает пространственный резонанс, при котором длина изгибной волны панели совпадает с так называемым следом падающей под углом к панели воздушной звуковой волны, и звукоизоляционные свойства панели очень сильно ухудшаются.

Частота эффекта волнового совпадения определяется жесткостью панели. На участке частоты волнового совпадения и при более высоких частотах звукоизоляция в значительной степени определяется внутренними потерями (демпфированием) в панели.

В качестве примера можно отметить, что для гипсокартонной плиты толщиной 13 мм эффект волнового совпадения возникает приблизительно на частоте 3000 Гц. Если использовать гипсокартонную панель толщиной 26 мм, частота совпадения переместится к более низким значениям частоты, что, естественно, нежелательно. Поэтому, лучшим решением будет использование двух гипсокартонных панелей толщиной 13 мм.

## Двухслойные перегородки и многослойные стены

Многослойные стены являются хорошей альтернативой однослойным, когда требуется высокая степень изоляции легкой конструкции. Конструкции с многослойными стенами проектируют, ориентируясь на значение их резонансной частоты. Ниже резонансной частоты стена ведет себя как однослойная стена с равной поверхностной плотностью. Вблизи резонансной частоты звукоизоляция резко снижается, а выше резонансной частоты звукоизоляция становится очень высокой.

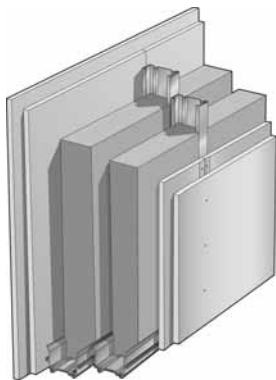


Рисунок 59: Многослойная стена со стальным каркасом.

## Резонансная частота

Резонансную частоту вычисляют по формуле:

$$f_{\text{рез}} = 60 \cdot \sqrt{(m_1 + m_2) / (m_1 \cdot m_2 \cdot d)} \quad (23)$$

$f_{\text{рез}}$  = Резонансная частота, Гц,

$m_1$  = поверхностная плотность обшивки 1, кг/м<sup>2</sup>,

$m_2$  = поверхностная плотность обшивки 2, кг/м<sup>2</sup>,

$d$  = толщина воздушного промежутка между обшивками, м.

**Пример 11:** Многослойная стена из гипсокартонных плит толщиной 13 мм (9 кг/м<sup>2</sup>) с обеих сторон. Какой должна быть глубина воздушного промежутка между гипсокартонными панелями, если требуется резонансная частота 63 Гц?

**Ответ:**  $f_{\text{рез}} = 60 \cdot \sqrt{(m_1 + m_2) / (m_1 \cdot m_2 \cdot d)} = 63 =$

$$60 \cdot \sqrt{18 / (81 \cdot d)} \quad d = (60/63)^2 \cdot (18/81) = 0,2 \text{ м}$$

## Поглощающий материал

Если в воздушном промежутке помещают материал с высоким коэффициентом звукопоглощения, например, плиты из минеральной ваты, звукоизоляция улучшается. Чем больше промежутков, тем больше действие поглощающего материала. В общем случае можно ожидать увеличения R примерно на 5–10 дБ, если сравнивать стену с заполненным воздушным промежутком со стеной без заполнения полости.

## Жесткие соединения

Жесткое соединение («акустические мостики») между двумя оболочками многослойной стены может иметь очень нежелательные последствия, особенно, если панели многослойной стены выполнены из жестких материалов таких, как бетон или легкий бетон. На гибких упругих панелях, таких как листы гипсокартона, отрицательное воздействие «акустических мостиков» не столь велико.

## “Гибкая обшивка”

Гибкая упругая обшивка, снижающая излучение звука толстой стеной, представляет собой обычный способ улучшения изоляции этой стены. Она состоит из упругой панели, например, гипсокартонного листа толщиной 13 мм, который крепится к толстой стене, например, из легкого бетона, и позади такого листа помещают слой минеральной ваты. Крепеж

может выполняться как при помощи обычных гвоздей, так и с использованием специальных технологий, устраняющий непосредственный контакт обшивки с существующей стеной. С целью достижения хорошего эффекта на низких частотах, толщина слоя минеральной ваты должна быть увеличена.

## Звукоизолирующие полы

Полы должны обладать высокой изоляцией, как от воздушного, так и от ударного шума. Как правило, сложнее выполнить изоляцию от ударного шума.

### Изоляция от воздушного шума

Основные правила, применяемые для однослойных и многослойных конструкций стен, также применимы и к полам.

Можно ожидать, что сплошная плита перекрытия из однородного бетона толщиной 16 см будет отвечать установленным шведскими стандартами требованиям к индексу изоляции воздушного шума. Многослойные бетонные перекрытия будут обеспечивать такие же индексы изоляции воздушного шума, если их поверхностная плотность соответствует поверхностной плотности сплошного бетонного перекрытия толщиной 16 см.

Перекрытия с деревянными балками могут не отвечать требованиям стандарта. Для достижения высокой изоляции воздушного шума в этих случаях, следует использовать принципы устройства многослойных конструкций, а именно использовать свободно подвешенные потолки и плавающие полы.

На практике достигают хорошего эффекта, применяя подвесные потолки (гипсокартонные панели и т.д.) на упругих скобах или штифтах.

Очень хороший эффект улучшения изоляции воздушного шума достигается применением и так называемого плавающего пола. Плавающий пол состоит из панели, уложенной по упругому звукоизоляционному слою (на упругом основании).

### Звукопоглощающий материал

В случае применения подвесного потолка в перекрытиях с деревянными балками, как и в случае многослойных стен, очень полезным оказывается размещение в воздушном промежутке между перекрытием и подвесным потолком эффективно действующего звукопоглощающего материала из минеральной ваты. Однако, эффект бывает очень слабым, если балки соединяют пол верхнего этажа с потолком нижнего.

### Изоляция от ударного шума

Требования, предъявляемые к изоляции от ударного шума, могут быть выполнены при помощи одного из двух основных приемов – путем применения плавающих полов или посредством использования мягкого покрытия пола.

### Мягкое покрытие пола

Этот способ решения проблемы изоляции от ударного шума может использоваться, только в тех случаях, когда само перекрытие удовлетворяет требованиям изоляции от воздушного шума. Обычно его применяют со сплошными бетонными плитами перекрытия.

Мягкое покрытие пола может состоять из мягкого ковра, уходящего под плинтус, или линолеума с мягкой звукоизоляционной подосновой. Шведский государственный Институт испытаний и исследований (SP) на основании результатов выполненных исследований разрешил использование ковровых покрытий для защиты помещений зданий от ударного шума.

Испытания ковровых покрытий проводили на бетонных перекрытиях. Для каждого из ковровых покрытий были получены значения индексов улучшения изоляции ударного шума  $\Delta L_{n,w}$  в дБ. Если принять, что  $L_{n,w}$  бетонного перекрытия составляет примерно 75 дБ, то для того, чтобы получить значение  $L_{n,w} = 58$  дБ, необходимо иметь мягкий ковер с  $\Delta L_{n,w}$  не менее 17 дБ.

### Плавающий пол

Плавающий пол состоит из панели, плиты и т.д., лежащей на упругом основании.

Эффективно действующий плавающий пол должен иметь как можно более тяжелые панели и как можно более мягкие звукоизоляционные слои между полом и несущей частью перекрытия. Если панель пола представляет собой бетонную плиту, а упругий слой состоит из минеральной ваты, эффект будет максимальным. Чрезвычайно важно, чтобы бетонная панель плавающего пола не соприкасалась с несущей плитой перекрытия и другими ограждающими конструкциями. Поэтому упругий слой также должен отделять бетонную плиту плавающего пола и от окружающих стен.

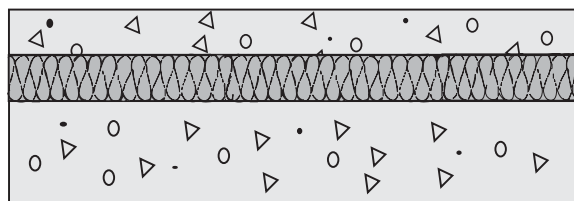


Рисунок 60: Плавающий пол.

Однако достаточно хорошего эффекта изоляции можно достичь при использовании легкого и сухого плавающего пола, изготовленного из ДВП и гипсокартона, и уложенного на слой минеральной ваты. Этот эффект может быть улучшен, если положить пол на слой песка, насыпанного поверх звукоизоляционного слоя, что увеличит массу плавающего пола.

Таким образом, если необходимо достичь высокого уровня звукоизоляции, следует использовать систему плавающего пола. Плавающий пол при этом применяют как для повышения изоляции воздушного шума, так и достижения требуемой изоляции ударного шума.

### Звукоизоляция в зданиях

Для того чтобы достичь требуемого уровня изоляции в зданиях выбранными конструкциями, необходимо избежать нежелательной передачи звуков. Существует два типа передачи.

#### Передача звука по косвенным путям

Часть передачи звука между двумя помещениями в здании может осуществляться по боковым строительным элементам (по косвенным путям), таким как наружные стены и потолки. Чтобы избежать этого явления, необходимо точно следовать инструкциям изготовителя строительных деталей. Зачастую для того, чтобы избежать передачи звука по косвенным путям, необходимо вводить коэффициенты запаса для различных звуковых характеристик строительных элементов.

#### Утечка

Утечку звука могут вызывать такие элементы помещений зданий, как щели, вентиляционные каналы, общие каналы для прокладки телевизионных кабелей и т.п. Этого можно избежать при грамотном проектировании и высоком качестве выполнения работ.

### Виброизоляция

При установке непосредственно на пол такого агрегата, как вентилятор, вибрация, возникающая при его работе, в виде структурного звука может передаваться по всему зданию. Для того, чтобы избежать этого неприятного эффекта, работающий вентиляционный агрегат, смонтированный на собственном фундаменте, необходимо установить на виброизолирующие опоры, изготовленные из стали, резины или минеральной ваты. Для получения хорошей изоляции неподвижное основание под пружинами должно быть тяжелым или сплошным. По эмпирическим расчетам масса неподвижного основания должна превышать массу агрегата, его фундамента и систему амортизаторов вместе взятых приблизительно в 4 раза. При необходимости использовать в качестве неподвижного основания для установки агрегата могут быть использованы и деревянные балки, но они должны быть скреплены жесткими стальными элементами.

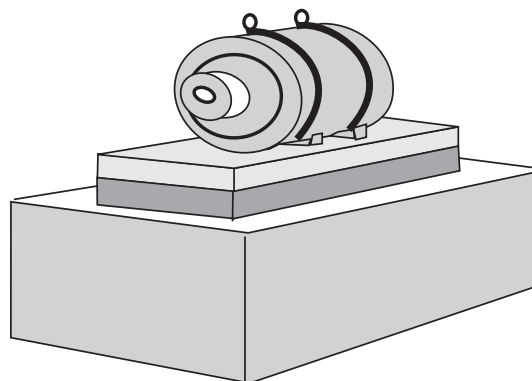


Рисунок 61: Виброизоляция.

Преимущество использования в качестве виброизолирующей подосновы плит из минеральной ваты заключается в том, что указанные плиты обладают высоким внутренним демпфированием, поэтому при резонансе амплитуда колебаний системы не будет слишком большой. Очень важно правильно рассчитать и выбрать виброизолирующие элементы системы. Резонансная частота системы (иногда называемая собственной частотой),  $f_{рез}$ , Гц, должна быть намного ниже, чем самая низкая возбуждающая частота механизма  $f_{воз}$ , Гц.



## Эластичность плит из минеральной ваты

Плиты из минеральной ваты Paroc являются неоднородными. Это означает, что динамическая жесткость плит не может быть определена на основании результатов измерения статического сжатия, а должна измеряться по специальной методике.

Основная характеристика зависимости динамической жесткости  $S_d$  от нагрузки представлена на рис. 62. Обратите внимание, что  $S_d$  является константой выше определенной нагрузки, составляющей приблизительно  $500 \text{ кг/м}^2$ .

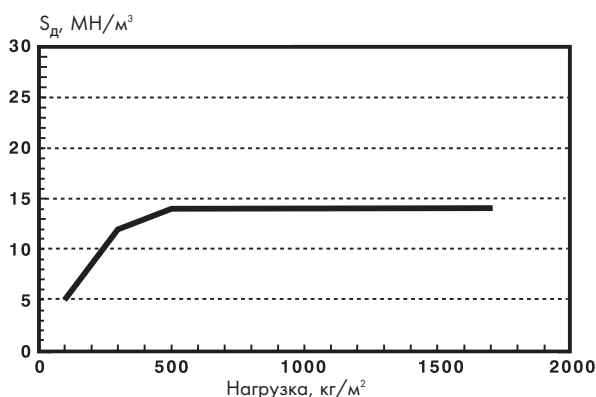


Рисунок 62: Принципиальный ход характеристики зависимости динамической жесткости плит из минеральной ваты Paroc от нагрузки.

Резонансная частота виброизолирующей системы может быть рассчитана по следующей формуле:

$$f_{\text{рез}} = (1/2\pi) \cdot \sqrt{(S_d/m)}, \text{ Гц} \quad (24)$$

$f_{\text{рез}}$  = резонансная частота, Гц,  
 $S_d$  = Динамическая жесткость, Н/м<sup>3</sup>,  
 $m$  = Нагрузка, кг/м<sup>2</sup>.

При использовании в качестве «пружины» плит из минеральной ваты и подобных им материалов следует учитывать, что динамическая жесткость,  $S$ , состоит из двух компонентов - жесткости скелета материала  $S_d$  и жесткости заключенного в нем воздуха  $S_a$ . Жесткость заключенного в материале плиты воздуха,  $S_a$ , может быть рассчитана в зависимости от толщины плиты.

Толщина плиты $h$ , мм	Жесткость слоя воздуха $S_a$ МН/м <sup>3</sup>
5	22
10	11
20	6
30	4
50	2
100	1

## Выбор минераловатной плиты и ее толщины

При выборе минераловатной плиты и ее толщины необходимо учитывать следующие факторы:

- Сжатие плиты под действием статической нагрузки,
- Рекомендуемая максимальная статическая нагрузка на плиту,
- Динамическая жесткость плиты  $S_d$  по Таблице 63.

В конструкциях с плавающими полами эластичные слои должны быть как можно более мягкими. В соответствии со стандартами испытаний, динамическая жесткость минераловатной плиты, предназначенной для использования в качестве упругого слоя под бетонной плитой в конструкции плавающего

Динамическая жесткость, МН/м <sup>3</sup> плит PAROC				
Толщина, мм	17	25	30	50
PAROC SSB 1			12	10
PAROC SSB 2t	20	15		

пола, должна определяться под нагрузкой  $200 \text{ кг/м}^2$ . Таблица 63. Динамическая жесткость плит Paroc в МН/м<sup>3</sup>. В конструкциях с плавающим полом из бетонных панелей следует использовать значение жесткости плит при нагрузке  $200 \text{ кг/м}^2$ . Значение величин при нагрузке более  $500 \text{ кг/м}^2$  используют для виброизоляции механизмов и т.д. К указанным в таблице значениям величин необходимо прибавить динамическую жесткость воздуха в полостях плит.

**Пример 12:** Механизм массой  $100 \text{ кг}$  должен быть размещен на бетонном основании размерами  $1$  на  $2$  метра. Затем механизм вместе с бетонным фундаментом устанавливают на плиту из минеральной ваты толщиной  $100 \text{ мм}$  с динамической жесткостью  $S_d = 10 \text{ МН/м}^2$  при нагрузке более  $500 \text{ кг/м}^2$ . Какова должна быть толщина бетонной плиты фундамента, если резонансная частота системы должна составлять  $30 \text{ Гц}$ ?

**Ответ:**  $f_{\text{рез}} = (1/2\pi) \cdot \sqrt{(s_d/m)} = 30 = (1/2\pi) \cdot \sqrt{(10 \cdot 10^6/m)}$   
 $m = [1/(30 \cdot 2\pi)]^2 \cdot 10 \cdot 10^6 = 280 \text{ кг/м}^2$ .

Механизм создает нагрузку  $100/2 = 50 \text{ кг/м}^2$ , т.е. бетонная плита должна весить  $230 \text{ кг/м}^2$  и, поэтому, должна иметь толщину примерно  $10 \text{ см}$ . (Согласно графику, при такой нагрузке,  $s_d$  и  $f_{\text{рез}}$  будут, вероятно, ниже. Это благоприятно сказывается на виброизоляции.

Дополнительную информацию о свойствах материалов и о нашей продукции см. на сайте [www.paroc.com](http://www.paroc.com)

## Маркировка СЕ



### Для чего используется маркировка СЕ?

Для упрощения торговли внутри Европейского Союза были разработаны согласованные стандарты для ряда товаров, которые должны свободно продаваться в пределах всего ЕС без национальных ограничений. Стандарты для теплоизоляционных изделий устанавливают их определенные свойства. Описываются методы испытаний, определены обозначения и уровни свойств, иногда в виде ограничительных значений, но чаще в виде классов. Маркировка СЕ означает, что свойства продуктов испытываются и обозначаются аналогичным образом во всех странах ЕС.

### Стандарты для теплоизоляционных изделий

На минеральную вату, предназначенную для использования в качестве теплоизоляции зданий, распространяется Европейский стандарт EN13162. Он называется “Материалы для теплоизоляции зданий – Изделия из минеральной ваты (МВ) заводского изготовления – Описание свойств”.

В стандарт включены 11 материалов для изоляции зданий, заявленная теплопроводность которых  $\lambda_D$  ниже 0,06 Вт/мК. Для всех этих 11 материалов приводятся общие обозначения свойств и предельные значения для классов. Для изготовителей устанавливаются минимальные требования к проведению внутренних испытаний, иногда дополняемые независимыми испытаниями для определенных характеристик.

**Paroc Group** является одним из ведущих производителей теплоизоляции на основе минерального волокна в Европе. Paroc предлагает продукцию и решения по следующим основным направлениям: строительная, промышленная и судовая изоляция, сэндвич панели на основе каменного волокна и акустические материалы. Наши заводы находятся в Финляндии, Швеции, Литве, Польше и Великобритании. Наши торговые представительства расположены в 13 европейских странах.



### **Строительная изоляция PAROC**

- это широкий ассортимент материалов и решений для всех видов традиционной строительной изоляции. Строительная изоляция используется для огнезащиты, тепло- и звукоизоляции внешних стен, кровли, полов и фундамента, а так же для межэтажных перекрытий и внутренних перегородок.



### **Промышленная изоляция PAROC**

используется для огнезащиты, тепло- и звукоизоляции в системах отопления и вентиляции, при изоляции технологических процессов, трубопроводов, промышленного оборудования, а также в судостроении.



### **Огнестойкие панели PAROC**

– это легкие сэндвич конструкции, состоящие из сердечника на основе каменного волокна, покрытого с обеих сторон стальными листами. Панели PAROC используются на фасадах, в качестве внутренних перегородок и подвесных потолков в общественных, коммерческих и промышленных сооружениях.

Данная брошюра содержит единственное и полное описание условий и технических характеристик изделий. Тем не менее, содержание данной брошюры не подразумевает предоставление торговой гарантии. В случае использования продукции в непредусмотренных данной брошюрой целях, мы не можем гарантировать ее пригодность, если отсутствует наше письменное подтверждение такого рода применения по запросу. Данная брошюра заменяет все предшествующие издания. Принимая во внимание постоянное совершенствование нашей продукции, мы сохраняем за собой право вносить изменения в брошюры.

## **ЗАО "Парок", Россия**

197110, Санкт-Петербург,  
ул. Вязовая, 10  
офис PAROC  
Тел. +7 (812) 336-47-21  
Факс +7 (812) 336-47-22

[www.paroc.ru](http://www.paroc.ru)

2023BIRU0307

121690, Москва  
Осенний бульвар, 23  
офис PAROC  
Тел. +7 (495) 781-37-00  
+7 (495) 781-37-01  
+7 (495) 781-37-02  
Факс +7 (495) 781-37-03



### **PAROC OY AB**

Building Insulation  
Neilikkatie 17, PO Box 294  
FIN-01301 Vantaa, Finland  
Phone +358 204 55 4868  
Telefax +358 204 55 4833  
[www.paroc.com](http://www.paroc.com)

**A MEMBER OF PAROC GROUP**