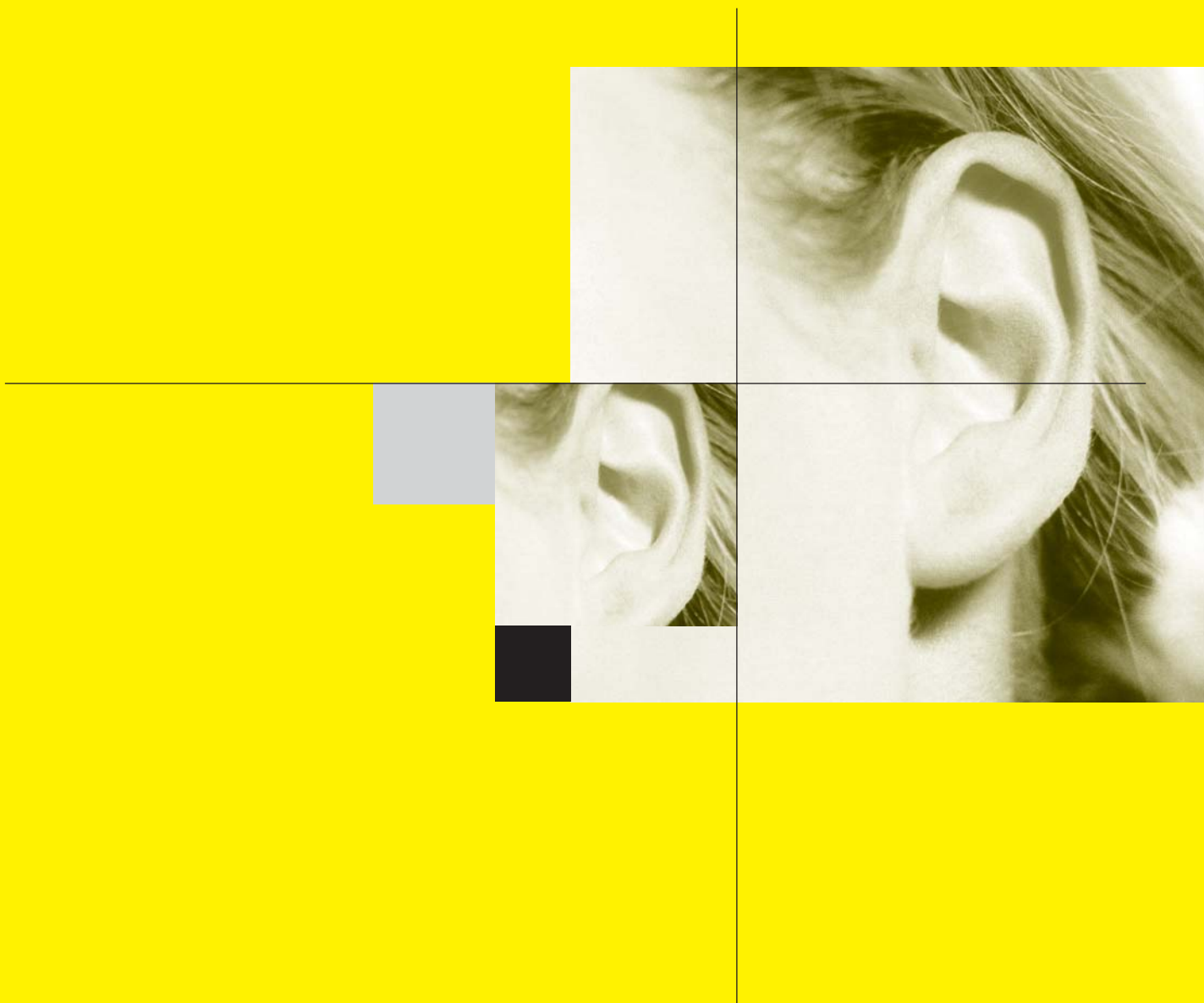


Шумопонижение



ВСТУПЛЕНИЕ

Шум – малопрятный спутник человеческой жизни, один из главных виновников наших стрессов, раздражительности и общей усталости организма. Но и другая крайность – абсолютная тишина нам тоже, оказывается, не подходит, поскольку держит нервную систему в постоянном напряжении: почему так тихо? не случилось ли чего? Как же обеспечить допустимый уровень шума в доме?

Наши дома переполнены звуками. Это и журчание льющейся из крана воды, и скрип дверей, и шарканье тапочек, и работающие бытовые приборы и многое другое. Свою ноту в общий хор вносят звуки с улицы и от соседей. Все это вместе образует так называемый бытовой шум. Говоря о нем, имеют в виду не отдельные звуки, а целый их спектр в диапазоне частот, воспринимаемых нашим ухом. В архитектурно-дизайнерской терминологии прочно укоренилось понятие «акустика помещений». На практике оно подразумевает решение двух взаимосвязанных проблем: защиты помещения от звуков извне и обеспечения качественного распространения полезных звуков внутри него. Обе предполагают снижение энергии звуковых волн, но первая – при прохождении их сквозь преграду (это называется звукоизоляцией), а вторая – при отражении от преграды (звукопоглощение).

ЧТО ТАКОЕ ЗВУК?

Звук – это колебательное движение в любой материальной среде, которое человек способен воспринимать и ощущать органами слуха, вызванное каким-либо источником.

Скорость звука

Скорость звука (С) – это скорость звуковой волны, проходящей то или иное расстояние за единицу времени. Скорость звука зависит от плотности материала. Чем он плотнее, тем выше скорость звука.

Скорость распространения звука в некоторых материалах (м/сек):

Стекло	5500-6000
Алюминий, сталь	5100
Дерево	3400-4500
Бетон	4000
Кирпич	3600
Лед	3100
Вода	1500
Пробка	500
Воздух	340
Стекловолоконная вата	180

Частота звука

Частота звука (f) представляет собой количество колебаний звуковых волн в секунду. Единица измерения – герц (Гц). Частота звука определяет его высоту. Чем больше частота колебаний, тем выше звук (выше тон). Человеческое ухо воспринимает звуковые частоты со значением от 20 до 20000 Гц. Отметим, что диапазон восприятия зависит от возраста.

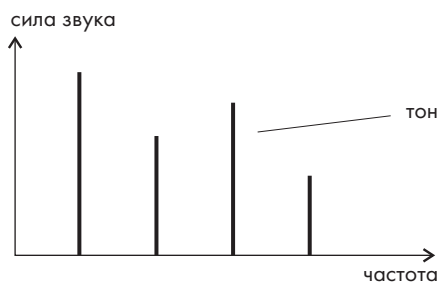
Звуковые волны с частотой ниже 20 Гц – инфразвук. Инфразвук влияет на психологическое состояние человека, вызывает страх, боль в ушах, позвоночнике, повреждает мозг.

Звуковые волны с частотой выше 20000 Гц – ультразвук. Ультразвук вызывает возникновение сдвигов в состоянии нервной и сердечно-сосудистой систем, в месте контакта приводит к повреждению их тканей.

Звук с частотой:

- до 300 Гц – низкочастотный
- 300-800 Гц – среднечастотный
- выше 800 Гц – высокочастотный

Звук одной частоты называется тоном.



Длина звуковой волны

Длина звуковой волны (λ) в воздухе может составлять от 20 мм до 20 м. Зависимость между длиной звуковой волны и частотой можно установить по формуле:

$$\lambda = c / f, \text{ где}$$

λ – длина волны;

c – скорость распространения звука;

f – частота звука.

Чем выше звук, тем меньше длина волны при одной скорости.

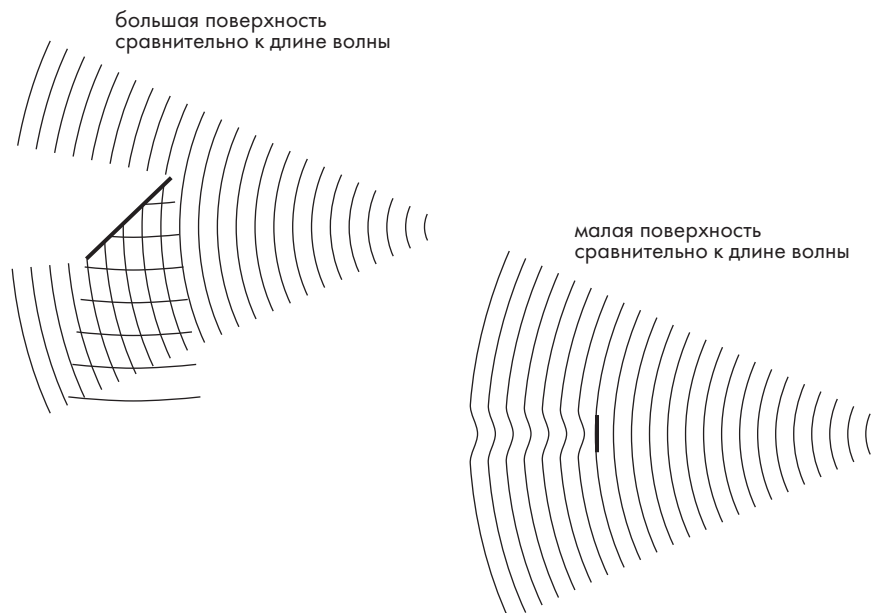
НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ЗВУКОВЫХ ВОЛН

Отражение звука сходно с отражением света

Явление отражения имеет место только в том случае, если отражающая поверхность достаточно велика в сравнении с длиной звуковой волны.

В этом случае она образует препятствие для звуковой волны, за которым уровень громкости звука становится меньше. Это явление лежит в основе принципа шумопонижения. Небольшие преграды уменьшают действие высоких звуков. Заглушению низких звуков способствуют высокие преграды.

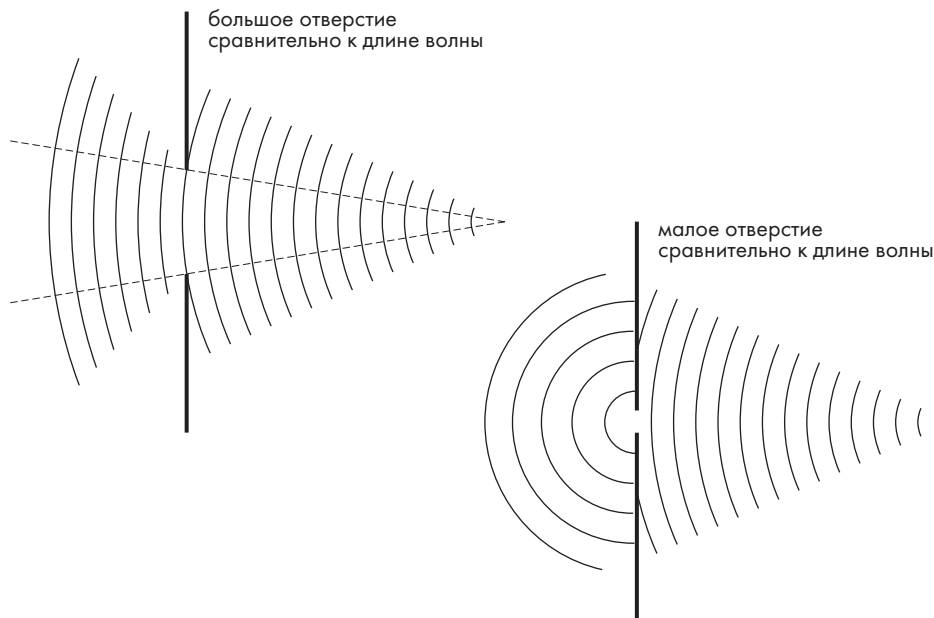
Эхо – самое известное проявление отражения звуковых волн.



Звук дифрагирует в отверстиях и дырах

Когда звуковая волна встречает на своем пути отверстие, энергия колебаний переходит на другую сторону. Если отверстие достаточно велико в сравнении с длиной звуковой волны, последняя проходит сквозь него как свет.

Если же отверстие достаточно мало, волна, проходя сквозь него, образует нечто вроде нового источника колебаний.



Это явление получило название дифракции. Высокочастотные звуки, проходя сквозь отверстие, не меняют своего направления в воздухе. Низкочастотные звуки изначально не имеют направленности. Они перемещаются, огибая углы, распространяются во всех направлениях.

ПОКАЗАТЕЛИ СИЛЫ ЗВУКА

Двигаясь в воздухе, звук создает колебания давления, которое называется звуковым давлением (p). Звуковое давление p – это разность между давлением среды без звуковой волны и давлением среды со звуковой волной.

Звуковое давление значительно меньше, чем статическое воздушное, которое составляет приблизительно 100000 Па. Минимальное значение звукового давления, воспринимаемое человеческим ухом, составляет 0,00002 Па и обозначается как p_0 . Максимальное значение звукового давления, которое безболезненно воспринимается человеческим ухом, составляет 20 Па.

Таким образом, значение давления звука в диапазоне звуковых частот, воспринимаемых человеческим ухом (20-20000 Гц) может существенно изменяться (от 0,00002 Па до 20 Па). По причине такого широкого диапазона громкость определяется как **уровень звукового давления L_p**

$$L_p = 10 \lg p^2 / p_0^2, \text{ где}$$

p – звуковое давление, N/m^2

p_0 – звуковое давление на пороге слышимости, N/m^2 .

Уровень звукового давления (уровень звука, уровень шума) выражается в децибеллах в логарифмическом масштабе. Русское обозначение децибел – дБ, международное – dB.

Децибел не физическая величина, а математическое понятие.

Звуковая мощность – общее количество звуковой энергии, излучаемой источником шума за единицу времени (Вт).

Уровень звуковой мощности:

$$L = 10 \lg p / p_0, \text{ дБ, } p_0 = 2 \times 10^{-12} \text{ Вт}$$

Следующая таблица позволяет представить соотношение между звуковым давлением, силой звука и относительной звуковой энергией.



Звуковое давление, Н/м ²	Уровень звукового давления, дБ	Относительная звуковая энергия
200	140	100 000 000 000 000
63	130	10 000 000 000 000
20	120	1 000 000 000 000
6,3	110	100 000 000 000
2,0	100	10 000 000 000
0,63	90	1 000 000 000
0,20	80	100 000 000
0,063	70	10 000 000
0,020	60	1 000 000
0,0063	50	100 000
0,0020	40	10 000
0,00063	30	1 000
0,00020	20	100
0,000063	10	10
0,000020	0	1

Человеческое ухо наиболее восприимчиво к диапазону частот от 1000 до 4000 Гц. Способность воспринимать звук на слух зависит от его частоты. При шумопонижении низкие звуковые частоты легче поддаются подавлению.

Чувствительность человеческого уха к очень низким и очень высоким частотам хуже, чем к частотам речевого диапазона (500-4000 Гц). При измерениях необходимо учитывать эту особенность слуха.

Уровень звука – выраженное в логарифмических единицах отношение среднего квадратичного значения звукового давления, скорректированного по стандартизированной частотной характеристике «А», к стандартизованному исходному значению звукового давления; измеряется в дБА (децибелах по частотной характеристике «А») и определяется по формуле:

$$L = 20 \lg p_A / p_0, \text{ где}$$

L – уровень звука

p – среднее квадратическое значение звукового давления с учетом коррекции «А», Па

В приборе шумомере используют особую шкалу «А». В речевом диапазоне значения дБА почти совпадают с обычными децибелами. Другими словами по шкале «А» определяют усредненное значение звукового давления в широком спектре частот. Физиологической характеристикой звука служит его громкость.

Звуковое событие и источники звука	дБА
Слуховой (нулевой) порог, беззвучное помещение	0
Шелест листьев	10
Шепот, тихое дыхание в комнате, карманные (механические) часы на расстоянии 1 м	20
Очень тихая улица, нижняя граница обычного жилого шума	30
Приглушенная разговорная речь, тихая музыка	40
30-40 дБА – в ночное время может вызвать беспокойство, бессонницу	
Верхняя граница обычного жилого шума, радио комнатной громкости, холодильник, шум в служебных помещениях	50
Обычная громкость при разговоре, оконный кондиционер	60
50-60 дБА – создается нагрузка на нервную систему, шум оказывает психологическое действие	
Трамвай на шумоприглушенном рельсовом пути, уличное движение без грузовых машин, бытовые приборы (стиральная машина, будильник, пищевой миксер)	70

70 дБА

– оказывает определенное физиологическое воздействие и может привести к изменением в организме

Громкая музыка и телевизор в комнате, громкая речь в 1 м,
шум проезжающих грузовиков, бытовые приборы 80
Интенсивное уличное движение с трамваями на рельсах с бетонными шпалами, с грузовиками,
место водителя тяжелого грузовика, кабина пассажирского самолета. Крик детей 90

80-90 дБА

– вызывает ухудшение слуха, со временем приводит к глухоте

Отбойный молоток на 1 м, мотоцикл без глушителя, компрессорные станции,
участки штамповки, лесопильное оборудование, дискотеки 100
Котельная, усиленная с помощью электрической аппаратуры рок-музыка,
бурные аплодисменты в зале 110

100-110 дБА

– вызывает хронические заболевания

Болевой порог, реактивный самолет (без грохота) на 100 м, свист с помощью пальцев 120
Взрывы, стрельба, близкий сверхзвуковой грохот 130

> 120 дБА

– может привести к летальному исходу

Классификация шума

I. 30-65 дБА

– мешающий шум, нарушение речевой или сигнальной связи

II. 65-90 дБА

– раздражающий шум, повышенное нервное напряжение

III. 90-120 дБА

– вредный шум, нарушает нормальные физиологические функции на длительный срок, со временем вызывает развитие хронических заболеваний

IV. > 120 дБА

– травмирующий шум, резко нарушает физиологические функции

Сложение децибел

При наличии нескольких источников звука с уровнями L1, L2... суммарный уровень шума от них можно определить следующими способами:

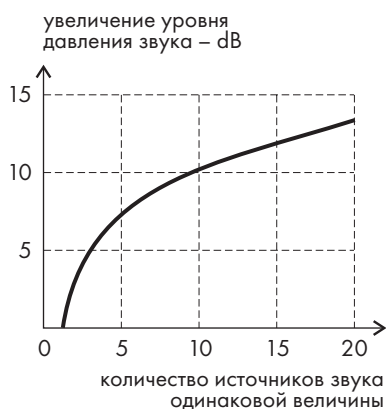
1. Для источников звука одинаковой величины сложение уровней шума можно проделать по формуле:

$$L_{\text{сум}} = L_i + 10 \lg N, \text{ где}$$

L_i – уровень шума от одного источника, дВ;

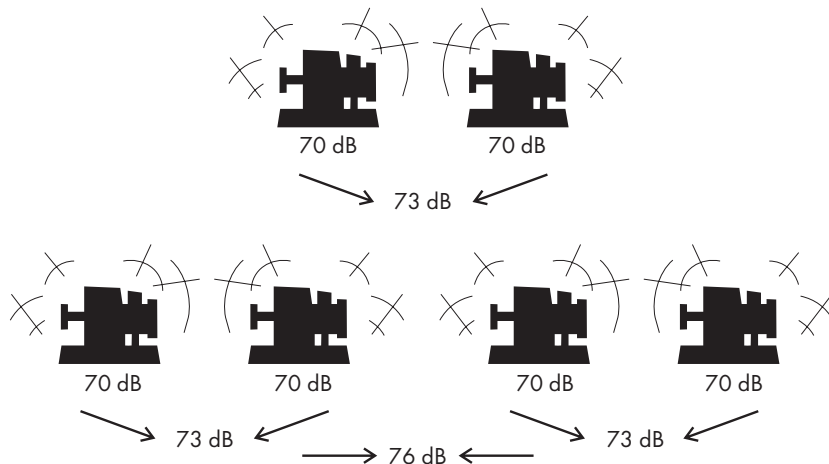
N – количество источников шума;

или по графику:





Из схемы видно, например, что два источника шума в 70 dB каждый вместе обеспечат уровень шума в 73 dB, а четыре источника – 76 dB.



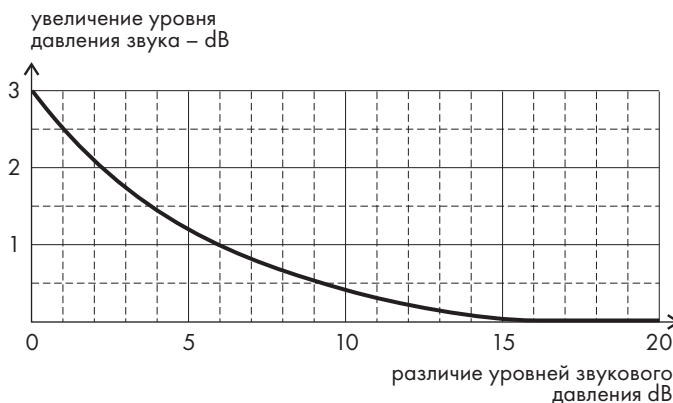
2. Для источников звука различной величины можно воспользоваться формулой:

$$L_{\text{сум}} = L_{\text{max}} + \Delta L, \text{ где}$$

L_{max} – максимальное значение уровня шума;

ΔL – разница между двумя значениями уровней шума;

или по графику:



При наличии более двух источников звука сложение уровней шума производится попарно. Если разница $L_1 - L_2$ превышает 10 dB, то со вторым источником звука можно не считаться.

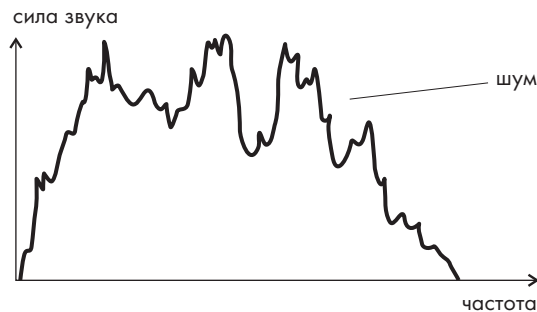
Например, складывая два зафиксированных источника звука в 80 dB и 86 dB. Разность в уровнях звукового давления $86 - 80 = 6$ dB. Из диаграммы получаем дополнительно 1 dB. Складываем уровни звука и получаем $86 + 1 = 87$ dB. Если источников звука много, их нужно считать последовательно все до единого.

Снижение уровня интенсивности звука L на 10 dB субъективно ощущается как уменьшение громкости в 2 раза, а на 5 dB – как уменьшение громкости на треть. Организм человека неодинаково реагирует на шум разного уровня и частотного состава. В диапазоне 35-60 дБА реакция индивидуальна (по типу «мешает – не мешает»). Шумы уровня 70-90 дБА при длительном воздействии приводят к заболеванию нервной системы, а при L более 100 дБА – к снижению остроты слуха разной степени тяжести, вплоть до развития полной глухоты.

Что такое звук и что такое шум?

Звук чаще всего мы называем то, что нам нравится и хочется слушать: музыка, человеческая речь и т.п. Шум – это то, мешает. Причем это может быть та же музыка, но в случае если вы хотите спать, а ваши соседи устроили танцы.

Шум – это звук различной частоты с различными уровнями громкости, который воздействует на человека и вызывает реакцию раздражения. Реакция человека на шум зависит от психологического состояния человека. Для оценки шумового фактора приняты допустимые уровни шума.



Допустимый уровень шума – это шум, который, воздействуя на человека, не вызывает реакции раздражения. Значения допустимых уровней шума зависят от назначения помещений или территорий, от частотного диапазона звуков и нормируются санитарными нормами. Если действительный уровень шума превышает допустимый, то возникает необходимость по разработке мероприятий по шумозащите.

Шум характеризуется :

- звуковым давлением P [Па];
- уровнем звукового давления (уровнем шума) L [dB];
- громкостью S [сон].

Шум с уровнем силы звука 0 dB соответствует порогу слышимости, шум с уровнем силы звука 120 dB соответствует порогу болевого восприятия.

ШУМ – НЕВИДИМЫЙ ВРАГ

Как шум воздействует на людей?

Шум воздействует на людей физически, психологически и социально. Сила звука вызывает потерю слуха, профессиональные заболевания. Чем сильнее шум, тем короче время хорошего слуха у человека. Но шум влияет не только на слух. Шум вызывает напряженное состояние, стрессы, бессонницу.

На рабочем месте шум воздействует особенно опасно и становится причиной многих недоразумений. Таких, например, когда в шуме тонут предупреждающие об опасности сигналы и окрики. Во время работы шум отрицательно воздействует на душевное состояние человека. Он мешает сосредоточиться, снижает производительность труда.

Опасны также звуки, которых мы не слышим. Инфразвук влияет на психологическое состояние человека, вызывает страх, нарушает психическое равновесие, боль в ушах, позвоночнике, повреждает мозг.

Ультразвук вызывает возникновение сдвигов в состоянии нервной и сердечно-сосудистой систем, в месте контакта приводит к повреждению их тканей.

Что говорит закон в Финляндии?

С проблемой борьбы с шумом на рабочих местах на предприятиях связаны многие законы и распоряжения.

- На работе, где работники подвергаются сильному шуму, стуку, тряске, они должны быть обеспечены средствами защиты.
- Работодатели должны обеспечить мероприятия, способствующие тому, чтобы уровень шума на рабочем месте не превышал максимума, определенного службой защиты от шума – 85 dB.
- Поскольку уровень шума не всегда, к примеру, можно с помощью мероприятий снизить до 85 dB, работники в таком случае должны иметь личные эффективные, защищающие слух устройства. А на местах работы должны быть приборы, предупреждающие об опасности повышения уровня шума.
- Работодатели обязаны оборудовать на местах, где уровень шума может угрожать здоровью работника, специальные измерители и о результатах измерений регулярно сообщать властям и специальным уполномоченным.
- Если уровень шума на рабочем месте 85-100 dB, для работающих должен быть организован раз в три года врачебный осмотр. Если уровень шума превышает 100 dB – такой осмотр ежегодный.
- На работах, где уровень шума превышает 85 dB нельзя использовать работников младше 18 лет.



- На производственных рабочих местах, где возможен последующий отзвук, необходимо, чтобы отражающие поверхности были покрыты заглушающими материалами.

Ежедневное непрерывное проявление шума	Наиболее допустимый уровень шума
8 ч.	85 dB (A)
2 ч.	90 dB
45 мин.	95 dB
20 мин.	100 dB
15 мин.	105 dB
10 мин.	100 dB
6 мин.	120 dB

ЗВУКОВОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ (ШУМОПОГЛОЩЕНИЕ) **ЗВУКОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ (ШУМОИЗОЛЯЦИЯ)**

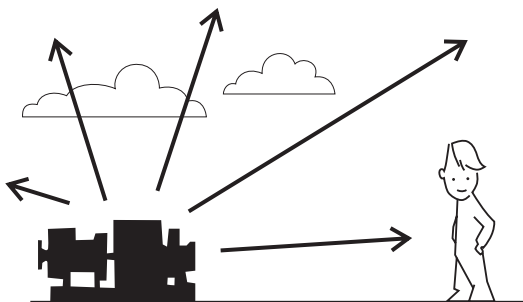
Звукоизоляция и звукопоглощение – нужно различать эти два понятия.

Звукопоглощение связано с отражением звуковых волн от поверхности окружающих предметов и конструкций. Звукопоглощение имеет значение при снижении уровня звука в помещении, когда источник шума находится в этом же помещении, а также звукопоглощение играет ключевую роль в создании хорошей акустики внутри помещения.

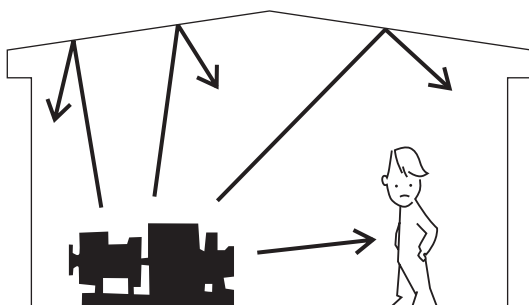
Звукоизоляция связана с передачей звуковой энергии через препятствие. О звукоизоляции чаще всего говорят при снижении уровня шума, передающегося в помещение из другого помещения или с улицы. Способность изоляции звука характеризуется тем, какое количество децибел dB может «остановить» стена из того количества звуковой энергии, которая обрушилась на эту стену.

ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЕ

На открытом воздухе звук от источника распространяется сферически во всех направлениях. Иными словами, звуковое давление распространяется по обширной области и снижается в зависимости от расстояния. Увеличение расстояния до источника звука снижает уровень шума на 6 dB.



Внутри помещений звук не распространяется свободно, он отражается от различных поверхностей помещения. «Отраженный» звук накладывается на прямой звук от источника, и сила звука увеличивается.



Другими словами – звук внутри помещения ослабевает не так быстро, как на открытом воздухе. А запаздывание отраженного звука по времени вызывает эхо.

Звукопоглощение связано с отражением звуковых волн от поверхности окружающих предметов и конструкций. Поэтому звуковое поле в замкнутом пространстве формируется из прямого и отражённого звуков. Если звуковое давление отражённого звука отличается от звукового давления прямого звука более чем на 10 dB, то отражённый звук не оказывает существенного влияния на акустику помещения. Если разница меньше 10 dB, то отражённый звук создаёт акустические помехи: гул, эхо, шумовой фон.

Звукопоглощение имеет значение при снижении уровня звука, когда источник шума находится в этом же помещении и характеризуется коэффициентом звукопоглощения.

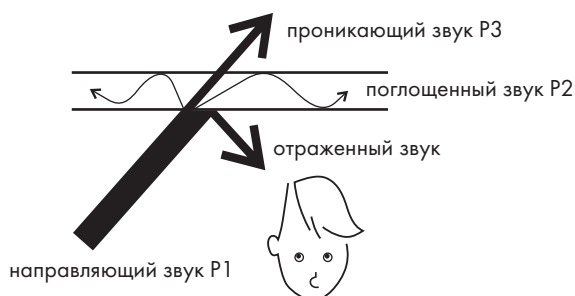
Заглушение звука

Под заглушением звука подразумевается ликвидация вторичных энергообразований (ликвидация отраженных звуковых волн). Для заглушения используют звукопоглощающие материалы – абсорбенты. Идеальными абсорбентами являются стекловата с открытой пористой структурой ISOVER и отделочные акустические панели ECPHON.

Коэффициент звукопоглощения

Часть звуковой волны способна преодолеть препятствие, часть возвращается обратно в помещение (отражается) и снова начинает двигаться в направлении отражения, а часть, можно сказать, «впитывается» в материал препятствия, преобразуя звуковую энергию в тепловую за счет трения.

Коэффициент звукопоглощения (α) показывает долю звуковой энергии, которая прошла сквозь абсорбент и «впиталась» абсорбентом по отношению к общей энергии звуковой волны, дошедшей до абсорбента.



Коэффициент звукопоглощения

$$\alpha = \frac{P2 + P3}{P1}$$

Коэффициенты звукопоглощения некоторых материалов

Материал или строение	Частота, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
1	2	3	4	5	6	7
Пористая волокноплита	0,10	0,25	0,48	0,32	0,35	0,50
Кирпичная стена, чистая кладка	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Кирпичная стена, оштукатуренная и с обоями	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08
Бетонная стена неоштукатуренная	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Стекланный кафель	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Линолеумный лист на бетоне	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Текстильное покрытие, 1 см, на бетоне	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
Деревянный пол на возвышении	0,15	0,11	0,1	0,07	0,06	0,07
50 мм деревянная панель, вмонтированная в стену	0,1	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04
Обыкновенное оконное стекло	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
13 мм гипсовый лист на рейке	0,29	0,1	0,05	0,04	0,07	0,09
Стекловата 30 мм	0,07	0,39	0,81	0,97	0,97	0,97
Стекловата 50 мм	0,24	0,66	0,97	0,97	0,97	0,97
Стекловата 100 мм	0,54	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Стекловата 30 мм, воздушный промежуток 200 мм	0,47	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97



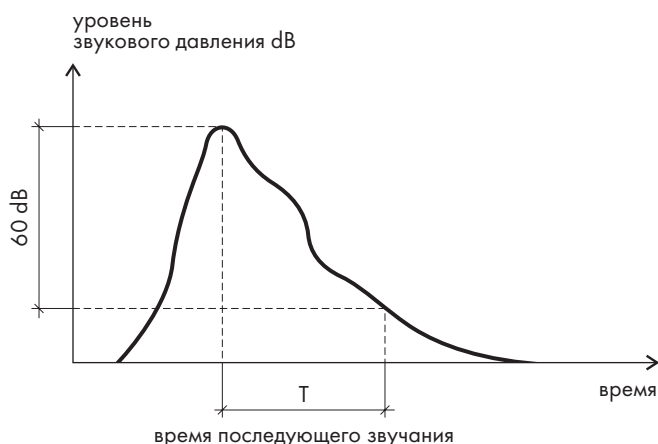
Коэффициент звукопоглощения меняется от 0 до 1. У твердой отражающей поверхности (например, кирпич, бетон) коэффициент приблизительно 0,01 – 0,08. Пористые материалы (такие, как стекловата ISOVER) имеют коэффициент близкий к 1. У одного абсорбента коэффициент для разных частот звука может быть разным.

Стеклянная вата низкой плотности хорошо пропускает воздух и, как следствие, звуковые волны, которые свободно проникают и постепенно частично «исчезают» в ее волокнистой структуре. Поэтому следует в большей степени опираться на звукопоглощающие характеристики стекловолнистых материалов. Однако, следует признать, что сами по себе они не являются изоляционными: обычный разговор с легкостью прослушивается по другую сторону перегородки, выполненной только из стеклянной ваты. Таким образом, звукоизоляционные свойства подобных пористых материалов низки. Не удивительно, что основным требованием к звукоизоляционным материалам является их практическая непроницаемость для воздуха. Слой стеклянной ваты не удовлетворяет этому требованию, если только его ширина не достаточно велика, как, например, в «шумопоглощающих пакетах», которые используются в подвесных потолках.

Тем не менее, использование стеклянной ваты в легких каркаснообшивных звукоизоляционных перегородках приводят к замечательным результатам.

Время последующего звучания (реверберация или отзвук)

Если источник звука действует в помещении, сила звука не исчезает мгновенно. Ибо звук отражается от поверхностей ограждения помещения и может даже распространиться за пределы помещения. Та часть звуковой энергии, которая отражается от поверхностей, и создаёт реверберацию, или отзвук. Это явление чаще известно как эхо. Время, в течение которого уровень звукового давления снижается на 60 dB, и есть время последующего звучания – отзвук (T) (или время реверберации).



Это время может быть определено из так называемой формулы (схемы) Сабина. Автор метода и формулы – Валлас Клемент Сабин.

$$T = 0,16V/A, \text{ где}$$

T – отзвук, сек,

V – объем помещения, м³,

A – общее абсорбирующее пространство, м²

В помещении общее абсорбирующее пространство (A) складывается из всех имеющихся там абсорбирующих поверхностей.

$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n, \text{ где}$$

α_{1-n} – коэффициент звукопоглощения n-ой поверхности,

S_{1-n} – площадь n-ой поверхности, м².

Абсорбирующее пространство необходимо для определения времени отзвука последующего звучания. Если звукопоглощение или абсорбирующее пространство (A) мало, то время реверберации (отзвук) достаточно велико и в помещении стоит гул, который создаёт акустические помехи для человека.

Если звукопоглощение или абсорбирующее пространство (A) велико, то время реверберации (отзвук) достаточно мало и звук воспринимается безжизненно, сухо и отрывисто. Абсорбирующее пространство (A) необходимо исследовать при разработке акустических проектов зрительных залов и мероприятий по шумозащите.

Время последующего звучания (отзвук) зависит от формы и размеров помещения и коэффициента звукопоглощения различных поверхностей помещения. Время последующего звучания растет с увеличением объема помещения и уменьшается с ростом общего числа абсорбентов.

В качестве общеизвестного следствия поглощения звука можно вспомнить явление реверберации в закрытой комнате. В пустой немеблированной комнате существует эхо, а в мебелированной его нет.

На рабочих местах в промышленности стремятся к тому, чтобы время последующего звучания, иными словами – отголосок по возможности был коротким.

Ниже в таблице приведены максимально допустимые в Финляндии значения времени реверберации для некоторых типов помещений.

Тип помещения	Время реверберации, сек
Предприятия общественного питания	1-1,3
Школьные учебные классы	0,6-0,9
Игровые комнаты детских садов	0,6
Гимнастические залы, плавательные бассейны	1,5-2

Время реверберации является едва ли не важнейшим фактором, определяющие акустические качества помещения. Именно этот фактор оказывает значительное влияние на слышимость речи и звука в помещении, поскольку слушатели воспринимают прямой звук на фоне отраженного. Явление реверберации в быту заметно, например, в новой квартире, ещё не заполненной мебелью. В этом случае вы слышите как прямой, так и отраженный от ограждающей конструкции звук, приходящий к вам с некоторым запаздыванием.

Естественным для человеческого слуха является наличие сопровождающей все звуки реверберации с запаздыванием в несколько долей секунды. И этот отраженный сигнал как бы усиливает первичный звук и делает его «сочным». Человек, воспринимая только прямой сигнал, теряет ощущение комфортности – звук становится «сухим».

Какое время запаздывания отраженного сигнала ощущается как наиболее комфортное? Специалисты-акустики читают, что наиболее комфортное время запаздывания отражённого сигнала – это около 0,02 с (время запаздывания отраженного звука от преграды на расстоянии 3,5 м).

Сигнал с меньшим временем запаздывания (например, отраженный от преграды на расстоянии 1 м – запаздывание в этой случае составляет всего 0,006 с) человеческим ухом просто не воспринимается («сухой» звук). Ну, а сигнал, запаздывающий более чем на 1,5 с, наложившись на прямой звук, делает его неразборчивым – вроде бы все слышишь, а вот понять не можешь. Вспомните типичную вокзальную ситуацию, когда даже при большом усилии не удаётся разобрать, что же всё-таки объявил диктор.

Большое время реверберации – это:

- плохая разборчивость речи;
- сильный фоновый шум.

**Большое время реверберации + высокий фоновый шум =
ПЛОХАЯ РАЗБОРЧИВОСТЬ РЕЧИ**

Учитель	Ученики
Стресс и напряжение Проблемы с голосом и горлом Головная боль Больничные	Потеря интереса и концентрации Не могут слышать, что говорит учитель

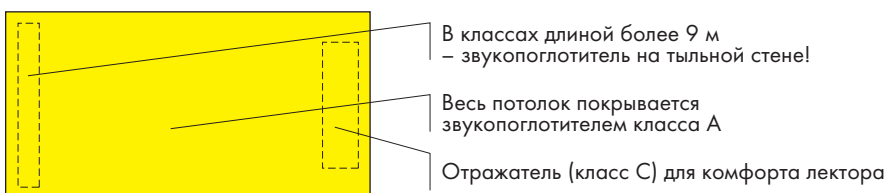
Основные правила акустического проектирования залов многоцелевого назначения:

- 1** Объем зала из расчета 4-6 м³ на одного слушательское место. Менее 4 м³ – время реверберации слишком мало, возникновение затруднений в обеспечении непрерывной механической вентиляции. Более 6 м³ – повышенное запаздывание звуковых отражений, необходимо большое количество звукопоглощающего материала.



- 2** Отношение длины зала к его средней ширине, средней ширины зала к его средней высоте – более 1, но не более 2. Более двух – значительно ухудшается диффузность звука в зале. Меньше 1 (широкий зал малой длины) – получается нежелательное запаздывание отражений от боковых стенок, ухудшается слышимость на боковых местах.
- 3** Для хорошей разборчивости слов необходимо, чтобы первое отражение звука запаздывало по сравнению с приходом прямого звука не более чем на 20 мс.
- 4** Правильная, с точки зрения акустики, форма потолка. При расчленении потолка секциями, необходимо чтобы звуковые отражения от потолка перекрывали друг друга (без теней).
- 5** Небольшое отклонение боковых стен ($2-6^\circ$) от параллельности исключает «порхающее эхо».
- 6** Акустическое проектирование проводить вместе со специалистами по звукоусиливающим и звуковоспроизводящим системам.

Рекомендации для классных комнат

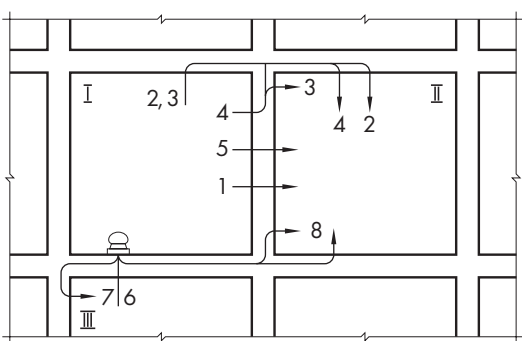


- Чем короче время реверберации, тем лучше разборчивость речи!
- Люди с нормальным слухом нуждаются в такой же «акустике», как и люди с поврежденным слухом!
- Отражатель на передней стенке класса помогает лектору!
- Нет риска сделать слишком хорошее звукопоглощение, следуя нашим рекомендациям!

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ

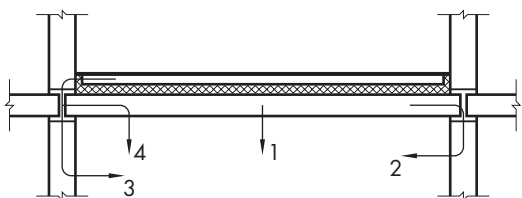
Различают шумы воздушный, генерируемый непосредственно в воздух каким-либо источником (разговор, воспроизводящие устройства), и конструктивный (еще его называют ударный), возникающий при механическом воздействии на строительные конструкции (прежде всего, на перекрытия), по которым, например, ходят, бегают или прыгают.

Пути передачи шума из одного помещения в другое



Воздушный шум передается из одного помещения в другое самыми разными путями: через ограждающие конструкции, отверстия в стенах и перекрытиях, коммуникационные каналы, неплотно заделанные стыки конструкций.

Пути передачи звука при ударном воздействии на пол на звукоизоляционной прослойке



Ударный шум передается непосредственно от конструкции, на которую оказывается механическое воздействие, в смежные помещения, и через жесткие соединения ограждающих конструкций может передаваться на большие расстояния.

Звукоизоляция характеризуется следующими величинами:

Индекс изоляции на воздушный и ударный шум и L_{nw} , [дБ] – это усредненная для всего частотного диапазона характеристика, отражающая способность ограждения «задерживать» звук.

Индекс изоляции воздушного шума R_w показывает, какое количество децибел дБ может «остановить» ограждающая конструкция из того количества звуковой энергии, которая на нее обрушилась. Звукоизолирующая способность для данного ограждения зависит от частоты воздействующего звука.

Индекс изоляции ударного шума L_{nw} показывает, какое количество децибел дБ может «пропустить» перекрытие при воздействии по нему стандартного удара. Чем ниже значение L_{nw} , тем лучше звукоизоляция перекрытия.

Санитарными нормами в Беларуси установлены нормируемые значения индекса изоляции на воздушный и ударный шум (R_w и L_{nw}) в зависимости от назначения ограждения.

Наименование и расположение конструкции, категории по условию проживания и работы	R_w , дБ	L_{nw} , дБ
Жилые здания		
1 Перекрытия между помещениями квартир: – категории А, Б, В	56, 54, 52	53, 57, 60
2 Перекрытия между помещениями квартир и расположенными под ними магазинами: – категории А, Б, В	59, 58, 57	53, 57, 60
3 Перекрытия между жилыми помещениями общежитий	50	60
4 Стены и перегородки между квартирами: – категории А, Б, В	56, 54, 52	–
5 Стены между помещениями квартир и магазинами: – категории А, Б, В	59, 57,	–
6 Перегородки между комнатами	43	–
7 Стены и перегородки между комнатами общежитий	50	–
Гостиницы		
8 Перекрытия между номерами: – категории А, Б, и В	52, 50, 48	57, 60, 62
9 Перекрытия, отделяющие номера от помещений ресторанов, кафе – категории А, Б, и В	62, 57,	43, 48,
10 Стены и перегородки между номерами: – категории А,Б, и В	52, 50, 48	–
11 Стены и перегородки, отделяющие номера от ресторанов, кафе – категории А,Б, и В	62, 59,	
Административные здания, офисы		
12 Перекрытия между рабочими комнатами, кабинетами: – категории А,Б, и В	52, 50,	63, 66
13 Стены и перегородки между кабинетами и отделяющие от рабочих комнат: – категории А,Б, и В	51, 49	–



14 Стены и перегородки между рабочими комнатами: – категории А, Б, и В	47, 45	
● Больницы и санатории		
15 Перекрытия между палатами, кабинетами врачей	47	60
16 Перекрытия между операционными и палатами, кабинетами	57	60
17 Перекрытия, отделяющие палаты, кабинеты, кабинеты врачей от столовых, кухонь	57	50
18 Стены и перегородки между палатами, кабинетами врачей	47	–
19 Стены и перегородки между операционными и другими помещениями. Стены и перегородки, отделяющие палаты и кабинеты от столовых и кухонь	57	–
● Учебные заведения		
20 Перекрытия между классами, кабинетами, аудиториями	47	63
21 Перекрытия между музыкальными классами средних и высших учебных заведений	57-60	58-53
22 Стены и перегородки между классами, кабинетами и аудиториями	47	–
23 Стены и перегородки между музыкальными классами средних и высших учебных заведений	57-60	–
● Детские дошкольные учреждения		
24 Перекрытия между комнатами, спальнями	47	63
25 Перекрытия, отделяющие комнаты, спальни от кухонь	51	63
26 Стены и перегородки между комнатами, спальнями и между другими детскими комнатами	47	–
27 Стены и перегородки, отделяющие групповые комнаты, спальни от кухонь	51	–

На субъективную оценку звукоизоляционной характеристики ограждения влияют частота звука и уровень фонового шума. Звуки разной частоты обладают разной «проникающей» способностью. Труднее бороться с шумом низкой частоты. Поэтому одно из правил борьбы с шумом на производстве предписывает выбор оборудования, имеющего шумы высокой частоты.

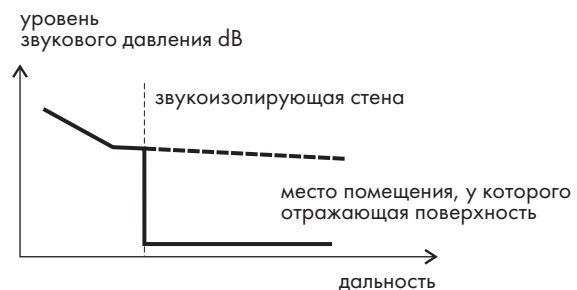
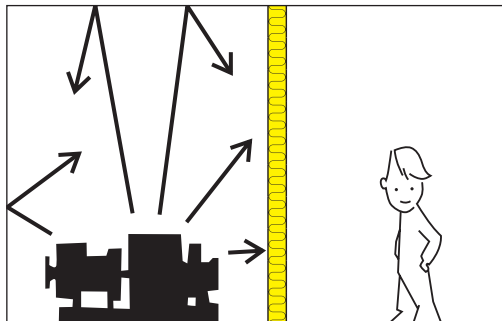
Высокий фоновый шум субъективно «повышает» звукоизоляционную характеристику ограждения. В этом случае фоновый шум заглушает проникающий шум.

Значение звукоизоляции и различимость различимость разговора

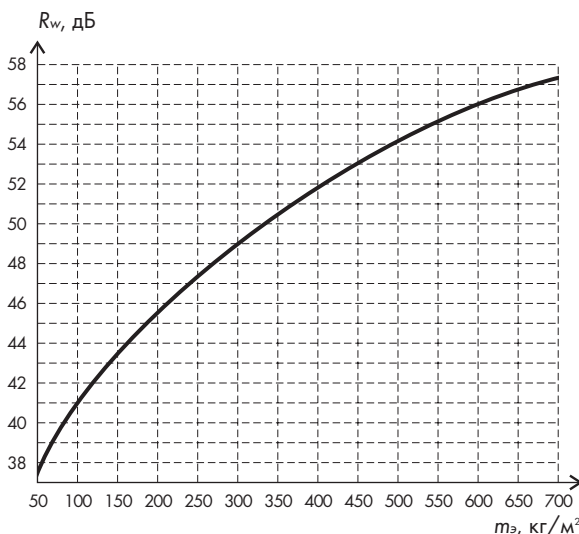
Разборчивость речи	Требуемый индекс звукоизоляции, дБ	
	Фоновый шум (30 ДБА)	Фоновый шум (40 ДБА)
Не слышима	57	47
Слышима, но не понимаема	47	37
Частично понимаема	42	32
Хорошо понимаема	32	22

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ВОЗДУШНЫМ ШУМОМ

Звукоизолирующая стена



В толстой однослойной стене (>20 см) изоляция зависит от веса и плотности стены. При увеличении веса стены в 2 раза, звукоизоляция увеличивается на 6 дБ. При равном весе бетонная стена изолирует лучше, чем сложенная из кирпичей.



Индекс изоляции воздушного шума (R_w , дБ) акустически однородной бетонной конструкции в зависимости от ее эквивалентной поверхностной плотности m^2 , кг/м².

Звукоизолирующая способность однородной стены зависит от частоты звука. Например, возрастание частоты в два раза, увеличивает изолирующую способность стены на 6 дБ.

Для тонкой однослойной стены, выполненной, например, из гипса, листового металла, стружечных плит и т.д., звуковая изоляция определяется площадью в м² стены и частотой звука. Звукоизолирующая способность тонких стен тем выше, чем больше их площадь. Тонкие стены лучше изолируют высокие звуки.

Улучшение звукоизоляционных характеристик стен за счет увеличения массы приводит к существенному удорожанию строительства.

Выход – двойная стена.

Двойная стена может быть представлена в виде системы «масса – эластичный слой – масса». Между двумя плотными слоями (обшивками) располагается промежуточный слой, представляющий собой воздушную подушку или пласт пористого материала. С помощью легкой двойной стены можно достичь такого же эффекта звукоизоляции, как и со стеной в 5-10 раз тяжелее однослойной конструкции.

В двойной стене изоляционная способность действует лучше,

- чем больше масса обеих обшивок;
- чем больше расстояние между обшивками;
- чем больше расстояние между половинами заполнено пористым волокнистым наполнителем;
- если устраивается отдельный каркас для обшивок.

Двойное увеличение массы половин или расстояния между ними дает дополнительно 6 дБ звукоизоляции. Полное заполнение полости стеклянной ватой увеличивает коэффициент звукоизоляции стен на 5-10 дБ независимо от конструкции каркаса. Оптимальная плотность наполнителя – от 14 до



23 кг/м³. Структура единой стальной рамы может повысить уровень изоляции на величину до 10 dB по сравнению с деревянной.

В отдельных каркасах разницы между металлом и древесиной нет.

Звукоизолирующая способность двойной стены практически не зависит от плотности волокнистого наполнителя в диапазоне от 10 до 80 кг/м³.

В качестве заполнения межкаркасного пространства в двойных стенах компания Saint-Gobain Isover Oy предлагает широкий выбор материалов:

- рулоны ISOVER KT 40, толщиной 50, 75, 100 мм и KT 37 толщиной 50, 75, 100, 125, 150 мм
- плиты ISOVER KL 37, толщиной 50, 70, 100, 125, 150, 175, 200 мм и 610-KL37 толщиной 42, 50, 66, 70, 90, 100, 125, 150 мм.

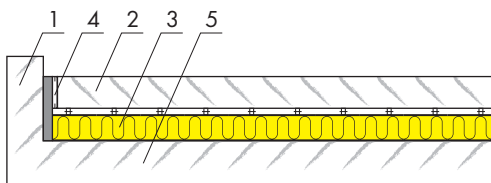
Конечный результат зависит от самой стены строения, от того, в какой мере она изолирована, сколько в этой стене окон и дверей. Разумеется, важно и то, насколько аккуратно и прочно построено здание.

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С УДАРНЫМ ШУМОМ

Связь между оценочным уровнем ударного шума и слышимостью

Оценочный уровень ударного шума	Слышимость
$L'_{n,w} = 63$ дБ	Нормальный шум от шагов слышится хорошо Громкая ходьба слышна очень отчетливо
$L'_{n,w} = 53$ дБ	Нормальная ходьба слышна слабо Громкая ходьба слышна хорошо
$L'_{n,w} = 43$ дБ	Нормальная ходьба не слышна Громкая ходьба слышна очень слабо

Наиболее эффективным методом борьбы с ударным шумом является устройство «плавающего пола». В этом случае массивная основа пола отделяется от несущей конструкции упругой прокладкой. Стекловолоконная вата выступает как упругий промежуточный слой. Динамическая упругость должна быть примерно 10-30 МН/м³. «Плавающий пол» должен быть изолирован от других конструкций и вводов (каналов вентиляции, труб и т.д.). **Разделенные плиты должны быть массивными и не должны иметь жестких связей.**



- 1 – стена
- 2 – основа пола, стяжка (верхняя плита)
- 3 – упругий промежуточный слой
- 4 – изоляция верхней плиты от вертикальных конструкций
- 5 – несущие перекрытия (нижняя плита)

Так как стекловата обладает отличной динамической упругостью, то материалы ISOVER применяют для устройства «плавающих полов».

В жилых зданиях в качестве упругого промежуточного применяются жесткие плиты:

- ISOVER OL-K 20 мм,
- ISOVER OL-P 30, 50 мм,
- ISOVER OL-FLO 30, 40 мм,
- ISOVER VKL13 мм.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ШУМОМ

1. Еще проектируя здание, помни о шуме

Проектируя новые производства, можно заранее предусмотреть все обстоятельства, которые способствовали бы поддержанию низкого уровня шума на будущем предприятии.

Главное — выделять из шума тишину.

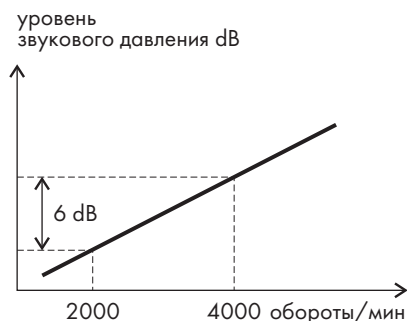
Необходимо планировать здание так, чтобы в его стенах достаточно быстро гас звук. Можно предусмотреть препятствия, которые мешали бы продвижению звуков в воздухе, в корпусе здания. Каркас, балки, фундаменты для станков оборудуются таким образом, чтобы любой источник шума, тре-

ска, тряска, стука был надежно укреплен, изолирован. Чтобы заблокировать мощные источники шума, порой бывает достаточно специальной коробки (футляра) над источником звука — с хорошей звуковой изоляцией. Поскольку не каждый станок (машину) можно обрядить в футляр, то нужно стремиться, чтобы изолирующий «футляр» был над работающими людьми. В шумных местах для работников, прежде всего, оборудуются хорошо изолированные комнаты отдыха и приема пищи. Станки и рабочие места размещаются таким образом, чтобы шумные и тихие места были достаточно удалены друг от друга. Рабочие места группируются в зависимости от расположения источников шума. Места оберегаются от проникновения шума с помощью специального заглушающего покрытия, смонтированного на потолке и стенах.

2. Выбирай тихо работающие станки и содержи их в порядке

Лучше, если при изготовлении станков позаботиться о том, чтобы от них исходило как можно меньше шума. Заменить, например, металлические вращающиеся детали на пластиковые, что потом принесет заметное уменьшение шума. Этому же будет способствовать и применение легких, твердых стройматериалов, а на отражающих поверхностях и между этажами заглушающих материалов. От того, как будет сооружен фундамент для станка, во многом зависит, каким будет уровень звукового давления от работающего станка, как скоро можно будет понизить этот уровень.

Станки часто снаряжаются стальными круглыми пилами, зубчатыми колесами, вентиляторами.



Мощность их шума связана с числом оборотов.

Нужно помнить, что станки тихо работают не только по причине хорошо оборудованных для них фундаментов. Станки требуют также постоянного ухода. Особенно изношенный станок — причина увеличения уровня шума на 5-10 dB — в отличие от нового станка. В то время, как тщательный уход за оборудованием, своевременная замена изношенных частей заметно продлевает жизнь станков.

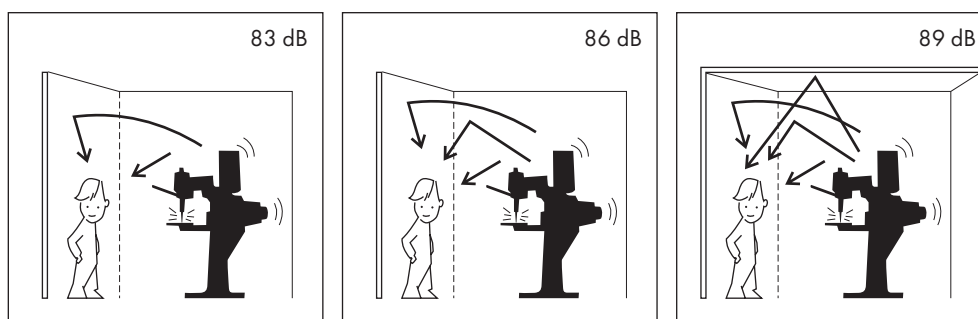
3. Нельзя размещать станки по углам или вблизи сильно отражающих звук поверхностей

Если продвижению звуковой волны препятствуют сильно отражающие материалы (например, бетонная стена), часть звуковой энергии возвращается обратно. Столкнувшись со следующей волной, возвращенная энергия удваивается.

Например, если станок стоит возле экранирующей стены, уровень шума возрастает на 3 dB, стало быть в итоге общий уровень станет (если до того у станка уровень был 80 dB) — 83 dB.

Когда станок стоит в углу, где сильное двустороннее отражение, уровень шума возрастает у него на 6 dB. Стало быть — уровень шума в итоге становится 86 dB.

Если станок стоит вблизи оборудованного над ним футляра и стенки футляра покрыты сильно отражающим материалом, уровень шума в футляре возрастает на 9 dB. А это значит, что общий уровень шума в футляре становится равным 89 dB.





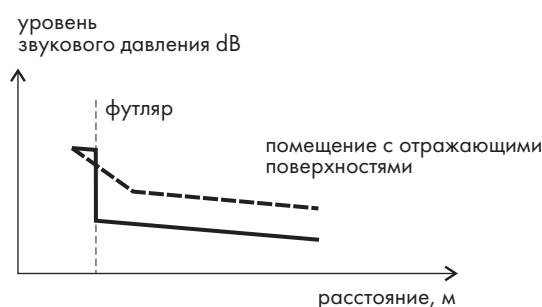
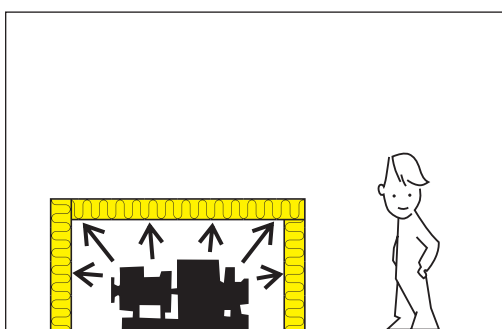
Станки нельзя размещать вблизи стен и по углам. Если придерживаться этого принципа, а сильно отражающие поверхности покрыть поглощающими материалами, уровень шума будет оставаться невысоким.

4. Футляр (коробка) от шума для станка или его части.

Шуму может помешать специальный футляр для станка. Он должен быть плотным, оснащенным звукоизолирующими материалами, задерживающими неприятные децибелы. Внутренняя часть футляра покрывается поглощающими материалами (стеклянной ватой), что препятствует поднятию уровня шума внутри футляра. Использование поглощающих материалов на стенках футляра рождает требуемую изоляцию.

Внимание!

Если в футляр помещены электроприборы или охлаждающие приборы, необходимо, чтобы было отверстие для вентиляции, звуковые углы и камеры. Далее, чтобы надежно перекрыть путь движению шума от станка, нужно наладить надзор за звукоизоляцией и системой управления.



5. Помехи, препятствующие изоляции.

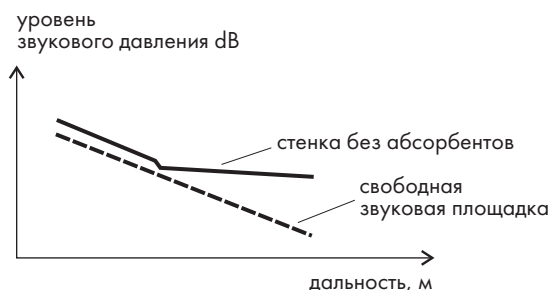
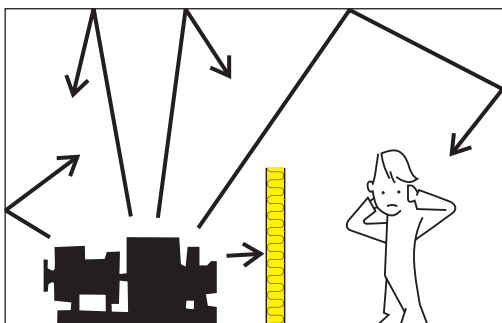
В некоторых случаях производственная необходимость понуждает к терпеливому отношению к сильному шуму. И случается так, что нельзя звукоизолировать не только станки и машины, но и работающих возле них людей. Тем не менее, предотвращение потери слуха у работников должно проводиться целенаправленно и постоянно.

При наличии источников шума с внешней стороны здания обязательно изолируются все окна и двери. Отверстия для вентиляции и транзитных кабелей должны оборудоваться в звуковых углах. Опыт показывает, что с хорошей вентиляцией связана и хорошая изоляция.

6. Использование защитной стенки.

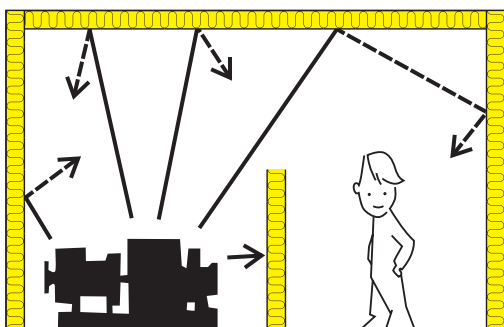
Совершенно изолированные источники звука, как правило, способствуют уменьшению уровня шума. Но часто это бывает невозможно, например, в местах, где движутся лопатки транспортеров. В таких случаях, чтобы воспрепятствовать продвижению и распространению шума, сооружается защитная стенка.

Ее заглушающее действие определяется тем, где и из чего она будет построена. Высота и ширина стенки зависят от того, насколько далеко от нее располагаются источники шума. Стенка способна приносить пользу, но это если не забывать еще и о ближних к ней стенах и потолке. Та сторона стенки, на которую направлено действие источника звука, покрывается обязательно поглощающими материалами. Только в этом случае стена активно препятствует подъему уровня звука. Позади защитной стенки уровень звука снижается примерно на 15 dB, при этом резко уменьшается высокочастотные колебания.



7. Использование заглушающего покрытия для потолков и стен.

Опыт показывает, что на имеющихся производствах и рабочих местах потолки и стены, оснащенные абсорбирующими материалами, заметно понижают уровень шума. Это же происходит и в местах с разбросанным расположением станков и рабочих точек, у которых абсорбирующая защита над головой выполнена в виде хорошо оборудованного звукопоглощающего потолка. До этого мы отмечали, что внутри помещения звуковой луч за счет отражения звуковых волн продолжал увеличивать дистанцию своего продвижения. Сейчас же, благодаря покрытым абсорбентами потолкам и стенам это не наблюдается.



Какая выгода от заглушающего звука покрытия?

Уровень звукового давления снижается.

На местах, где предварительно не воспользовались материалом, заглушающим звуки, уровень снижается на площадке – 5-10 dB (A). Использование же материалов с абсорбентами ведет к такому эффекту, что уровень шума снижается в два раза. Абсорбирующие материалы во многом облегчают заботу об изгнании и снижении уровня шума.

Понятно, легко говорить о заглушении шума, труднее делать что-то. Но, тем не менее, стоит прислушаться к тому, что говорят о шуме товарищи по работе. Совместный опыт рабочих, мучительно переживающих шум в помещениях, свидетельствуют, что их жизнь заметно облегчают заглушающие маты, размещенные по всей площади помещения. Очевидно, что только внимание к проблеме может вызвать уютные чувства у людей.

Риск с несчастными случаями становится меньше.

Часто в промышленном производстве используют различные сигналы предупреждения об опасности шума. При снижении уровня фонового шума снижается риск не услышать предупредительные сигналы.

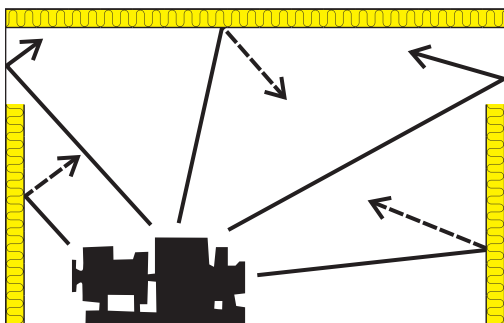
Значение теплового хозяйства.

Когда выбирают абсорбирующие материалы (стекловата ISOVER), способные заглушать звуки, учитывают и момент теплоизоляции, что, безусловно, сказывается потом на сбережении энергозатрат.

Где размещать звукозадерживающий, дающий результат материал?

Бывает так, что невозможно покрыть абсорбентами всю необходимую поверхность. Как нужно разместить оборудованные заранее поверхности, чтобы шло активное заглушение?

1. потолок обладает большой отражающей поверхностью, которую особенно важно заглушить;
2. от нижней части стены звуки поступают прямо в уши работнику;
3. от верхней части стены звук отражается в потолок, заглушение здесь менее значимо;
4. абсорбенты нужно размещать вблизи источника звука – в этом надежное избавление от шума.





8. Помните о звуковых углах и звуковых камерах

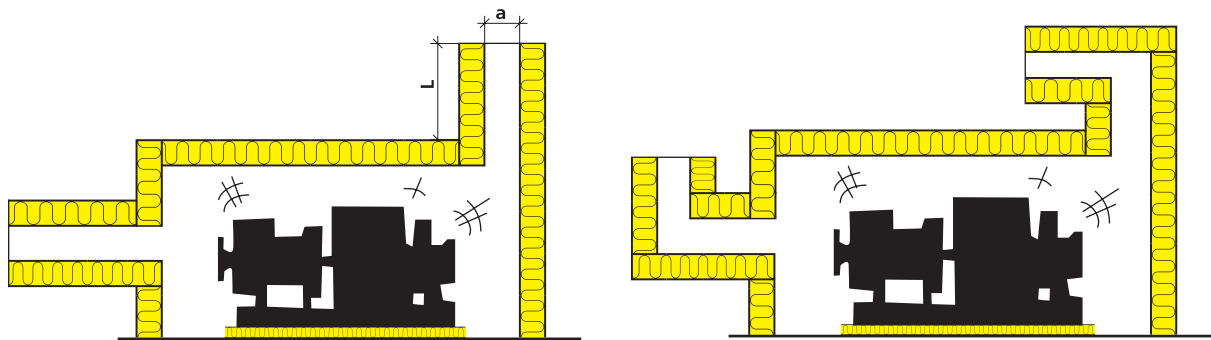
Известно, что работу станков определяет принцип воздушного охлаждения. Поскольку такой станок повышает уровень шума, приходится снижать высоту футляра, оборудовать в нем вентиляционные отверстия. В этом случае необходимо оборудовать звуковые углы и звуковые камеры. Вентиляционные отверстия должны быть длинными и узкими. Необходимо покрыть их абсорбирующими материалами, от которых зависит заглушение. Правила требуют, чтобы длина канала в 5 раз превышала ширину отверстия.

Заглушение можно увеличить, изогнув канал.

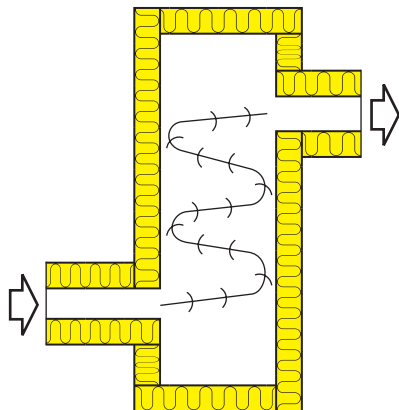
$$L = 5 \times a, \text{ где}$$

L – длина канала;

a – ширина отверстия.



В вентиляционном канале заглушение можно проводить и через так называемые заглушающие камеры. Канал ведет звук в камеру, чьи стены выполнены из абсорбентов. Необходимо, чтобы выбрасывающие и принимающие воздух отверстия не были расположены друг против друга. Это препятствовало бы прямому поступлению высоких звуков через камеру. Чем больше камера и толще слой абсорбентов, тем лучше звукоизолирующий эффект.



9. Организация защиты слуха.

Хотя изгнание шума находится в центре внимания и носит плановый характер, уровень шума на рабочих местах продолжает оставаться высоким, что порождает риск потери людьми слуха. Единственное средство предотвратить эту потерю – защита слуха.

При этом приходится подчеркнуть то обстоятельство, что защита слуха пока не является постоянной. Проблема шума – одна из самых острых. Изгнать шум со всех рабочих мест – задача всеобщая. Потеря слуха – серьезная болезнь.



Представительство Saint-Gobain Isovér Оу
в Республіке Беларусь
www.isover.by
isover@open.by