

Измерение звука

1385715
1385032



DK
Russian

 **Брюль и Кьер**

Введение



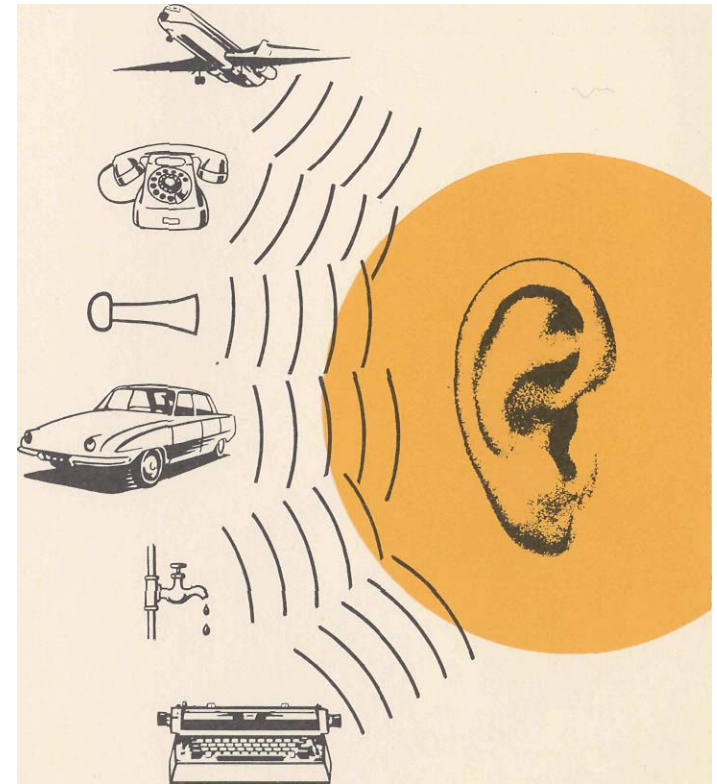
Предлагаемая брошюра дает ответ на большинство основных вопросов, относящихся к измерениям звука и шума и соответствующей аппаратуре. В брошюре кратко рассматривается и излагается следующий материал:

Причины и цели измерений звука
Физическое определение и основные свойства звука, Акустические единицы и шкала дБ, Субъективные величины звука
Звукоизмерительная аппаратура
Схемы частотной коррекции и динамическая характеристика шумомера
Частотный анализ Распространение звуковых волн
Акустические параметры специальных камер и нормальных помещений
Измерительный микрофон в звуковом поле
Влияние отражающих звук объектов
Шум фона
Влияния условий окружающей среды
Акустические рекомендации и стандарты
Протокол измерения
Графическое представление звуковых и шумовых полей
Кривые индексов шумности
Доза шума
Основные методы борьбы с шумом

Звук и человек

Звук является так обычной частью повседневной жизни современного человека, что он почти не осознает все его виды и функции. Звук приносит человеку удовольствие, например, при слушании музыки или пения птиц. Звук способствует речевой коммуникации между членами семьи и друзьями. Звук предупреждает человека и сигнализирует о тревоге, например, звонок телефона, стук в дверь или вой сирены. Звук дает человеку возможность оценки качества и составления диагноза, например, дребезжание клапанов двигателя автомобиля, скрип колеса или сердечный шум. Однако звук в современном обществе часто является неприятным и раздражающим. Неприятные и раздражающие звуки называются шумами. Все таки степень неприятности и раздражимости зависит не только от параметров самого шума, а также от психологического отношения человека к воздействию на него шуму. Шум реактивного самолета, например, может его конструктору казаться любезной музыкой, в то время как для живущих вблизи аэропорта людей и их слуха он может быть настоящим мучителем. Даже звуки и шумы небольшой интенсивности могут быть неприятными и раздражающими. Скрипучий пол, поцарапанная пластинка или каплющий водопроводный кран может обуславливать такое же раздражение, как и сильный грохот грома.

Хуже всего, звук может также быть вредным и разрушительным. Звуковой удар, например, может разрушать стекло в окнах и штукатурку стен. Однако, самым опасным и пагубным является то, что звук может вредить самому деликатному и чувствительному устройству для его восприятия - человеческому слуху.



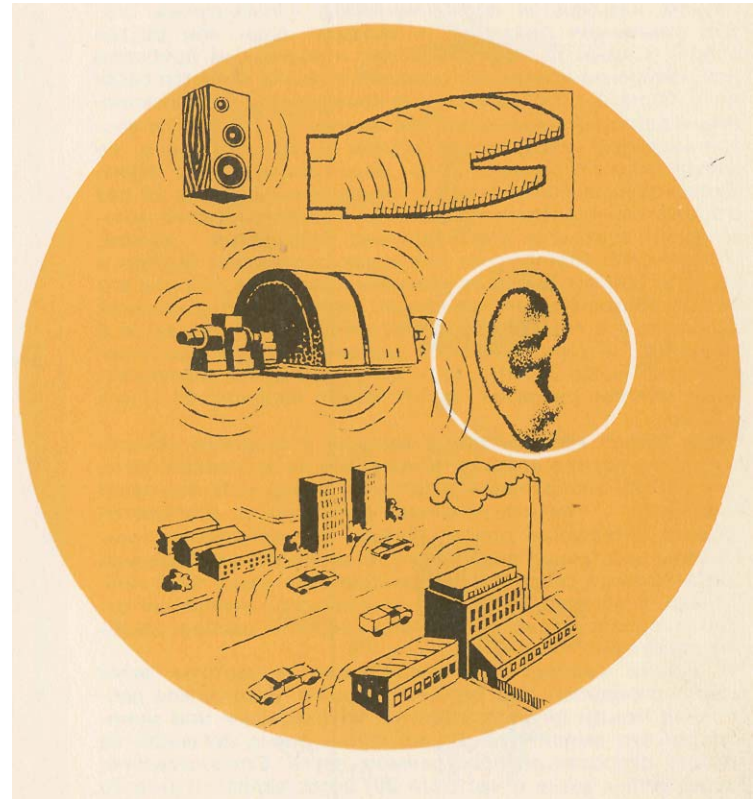
Причины и цели измерений звука

Измерения звука эффективны и выгодны по многим причинам: на основе их результатов улучшены акустические параметры строительных конструкций и громкоговорителей и, следовательно, дана возможность усовершенствования качества восприятия музыки не только в концертных залах, а также в нормальных жилых помещениях.

Акустические измерения дают возможность точно и с научных позиций анализировать и оценивать раздражающие и вредные звуки и шумы. Следует подчеркнуть, что на основе результатов измерений можно объективно оценивать и сопоставлять разные звуки и шумы даже в разных условиях, но из-за физиологических и психологических особенностей человеческого организма нельзя точно и однозначно определять степень субъективной неприятности или раздражимости разных звуков по отношению к отдельным лицам.

Акустические измерения также дают ясную и однозначную индикацию степени опасности и вредности звуков и шумов и, следовательно, способствуют заблаговременному принятию соответствующих контрмер. На основе аудиометрических исследований и измерений можно оценивать чувствительность и остроту слуха людей. Следовательно, измерения звука являются существенным инструментом при охране слуха и, следовательно, охране здоровья.

Наконец, измерения и анализ звука являются эффективным диагностическим методом, используемым при решении задач борьбы с шумами в аэропортах, промышленности, зданиях, жилых помещениях, радиостудиях и т.д. Вообще, акустические измерения являются эффективным средством повышения качества жизни людей.



Физическое определение и основные свойства звука

Звуком называются воспринимаемые человеческим слухом изменения давления (в воздухе, воде или другой среде). Самым распространенным и известным прибором для измерения изменений давления воздуха является барометр. Однако обуславливаемые изменениями погоды изменения давления происходят так медленно, что они не воспринимаются человеческим слухом и, следовательно, не удовлетворяют приведенному выше определению звука. Происходящие более быстро, т.е. по меньшей мере, 20 раз в с, изменения давления воздуха уже регистрируются человеческим слухом, и, следовательно, называются звуком. Отметим, что барометр не реагирует достаточно быстро и не регистрирует быстрые изменения давления, так что его нельзя применять для измерения звука. Число изменений давления в секунду называется частотой звука и выражается в единицах Гц (герц). Диапазон слышимых частот простирается от 20 Гц до 20000 Гц (20 кГц), Отметим, что перекрываемый роялем диапазон частот имеет пределы 27,5 Гц и 4186 Гц.

Люди имеют хорошее представление о скорости распространения звука в воздухе, основанное на экспериментальном методе определения расстояния между наблюдателем и молнией: с момента наблюдения молнии до восприятия грохота интервалам длительностью 3 сек. соответствуют интервалы расстояния длиной 1 км. В пересчете эти значения соответствуют скорости распространения звука 1224 км/ч. Однако, в области акустики и акустических измерений отдается предпочтение выражению скорости распространения звука в м/с, т.е. 340 м/с. На основе скорости распространения и частоты звука можно определять его длину волны, т.е. физическое расстояние между двумя соседними максимумами или минимумами его амплитуды. Длина волны равна деленной на частоту скорости распространения звука. Следовательно, длина волны звука с частотой 20 Гц составляет 17м, в то время как волна звука с частотой 20 кГц имеет длину всего 17 мм.



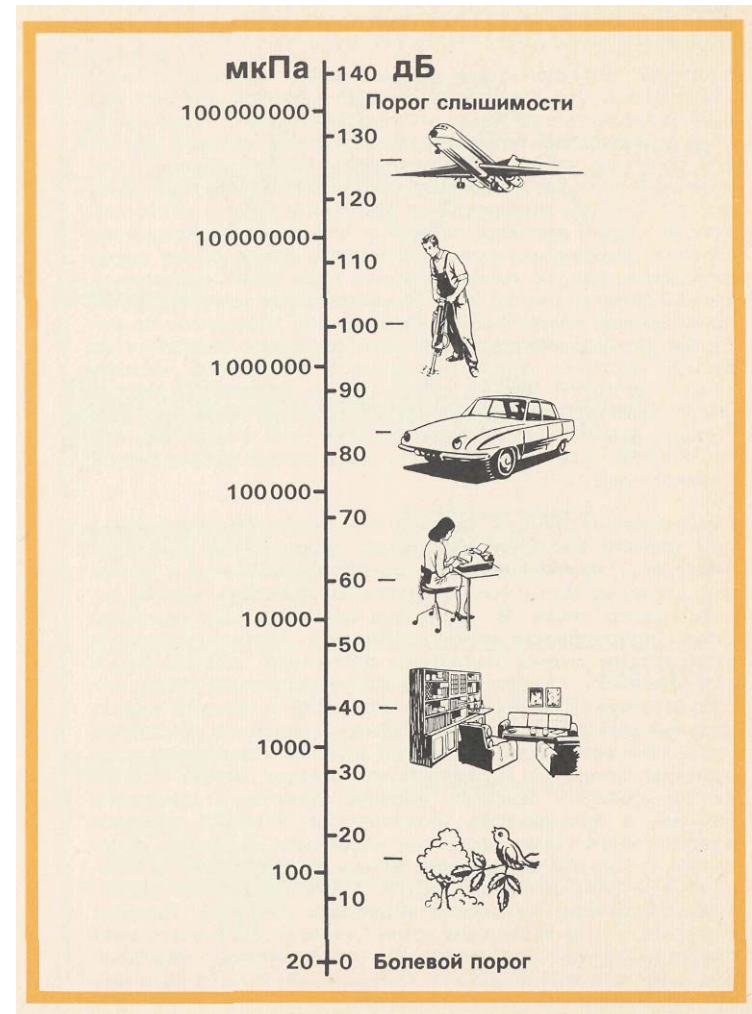
Шкала дБ

Самый слабый звук, обнаруживаемый нормальным слухом здорового человека имеет амплитуду, равную 20 миллионным долям основной единицы давления (паскаль), т.е. 20 мкПа (20 микропаскаль). Это равносильно деленному на 5000000000 нормальному атмосферному давлению (1 атм. равна 1 кг/см², т.е. 10т/м²). Изменение давления на 20мкПа так мало, что ему соответствует перемещение ушной перепонки на расстояние, меньшее диаметра одного атома. Удивительно, что человеческий слух способен воспринимать звуки, описанные выше минимального значения. Следовательно, применение основных единиц давления, т.е. Па, в акустической практике сопровождалось бы необходимостью применения больших и ненаглядных чисел. Во избежание этого недостатка в акустике распространено применение логарифмической шкалы и соответствующей ей единицы дБ (децибел).

Опорной точкой шкалы дБ служит слуховой порог, т.е. давление 20 мкПа. Так как эта точка является исходной точкой шкалы, ей соответствует уровень 0 дБ.

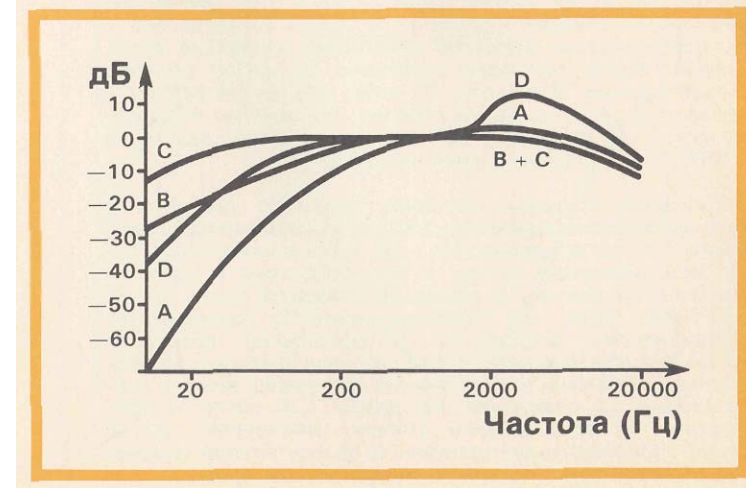
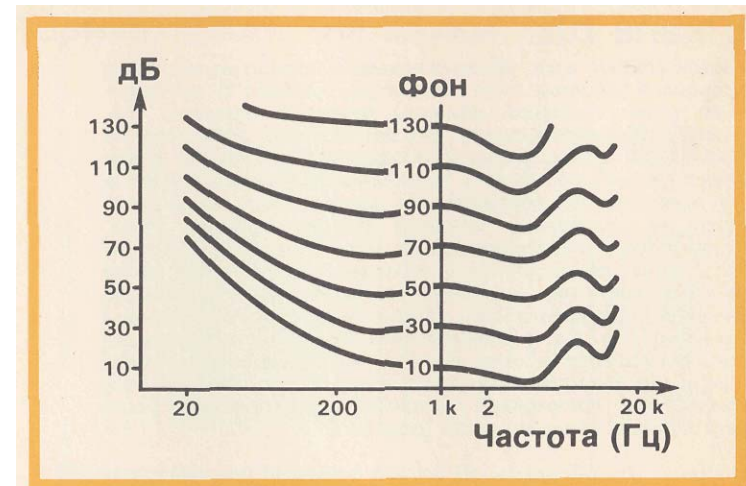
Линейному увеличению звукового давления в 10 раз соответствует в логарифмическом масштабе увеличение уровня на 20 дБ. Следовательно, звуковому давлению 200 мкПа соответствует уровень 20 дБ отн. 20 мкПа, давлению 2000 мкПа уровень 40 дБ и т.д. Таким образом, применение логарифмической шкалы дает возможность сжатия диапазона 1:1 000000 до диапазона шириной 120 дБ.

На рисунке показаны значения звукового давления и уровня звукового давления (УЗД) в соответствующих единицах, т.е. соответственно Па и дБ, хорошо известных и часто встречающихся звуков. К преимуществам и достоинствам логарифмической шкалы дБ относится также то, что она более точно, чем линейная шкала Па соответствует субъективному восприятию относительной громкости звука. Это обуславливается тем, что слух реагирует на процентные изменения интенсивности (давления) звука и, следовательно, на изменения его уровня. 1 дБ является наименьшим обнаруживаемым слухом изменением уровня звука, отображающим идентичное относительное изменение в любой точке логарифмической шкалы уровней.



Субъективные величины звука

Факторы, определяющие субъективную громкость звука так сложны, что в соответствующей области акустики все еще проводятся важные исследовательские, теоретические и экспериментальные работы. Одним из таких факторов является частотная зависимость чувствительности человеческого слуха (максимальная чувствительность в области 2 — 5 кГц и минимумы на высоких и низких частотах). Усложняющим является также то, что описанная выше частотная зависимость чувствительности слуха более выражена в области низких уровней звукового давления, а уменьшается с ростом УЗД. Вышесказанное иллюстрируют приведенные на рисунке кривые равной громкости, по которым можно определять уровни звукового давления на разных частотах, результирующие в идентичной чистому тону с частотой 1000 Гц субъективной громкости. Например, уровень тона с частотой 50 Гц должен быть на 15 дБ больше уровня тона с частотой 1000 Гц и УЗД 70 дБ для того, чтобы оба они обладали идентичной субъективной громкостью. Относительно простой задачей электроники и измерительной техники является построение специальной электронной схемы, чувствительность которой изменяется с частотой согласно частотным изменениям чувствительности человеческого слуха. В настоящее время широко применяются определяемые международными рекомендациями и стандартами схемы частотной коррекции, обозначенные «А», «В» и «С». Характеристика корректирующей схемы «А» соответствует кривым равной громкости в области низких уровней звукового давления, схема «В» является приближением в области средних уровней звукового давления, а параметры схемы «С» соответствуют кривым равной громкости в области высоких уровней звукового давления. Однако в большинстве практических областей отдается предпочтение схеме частотной коррекции «А» ввиду относительно плохой корреляции между результатами субъективных экспериментов и объективных измерений приборами со схемами частотной коррекции «В» и «С». Следует отметить, что в настоящее время имеется дополнительная схема частотной коррекции «D», определяемая международными рекомендациями и стандартами и предназначенная для измерений шума самолетов.



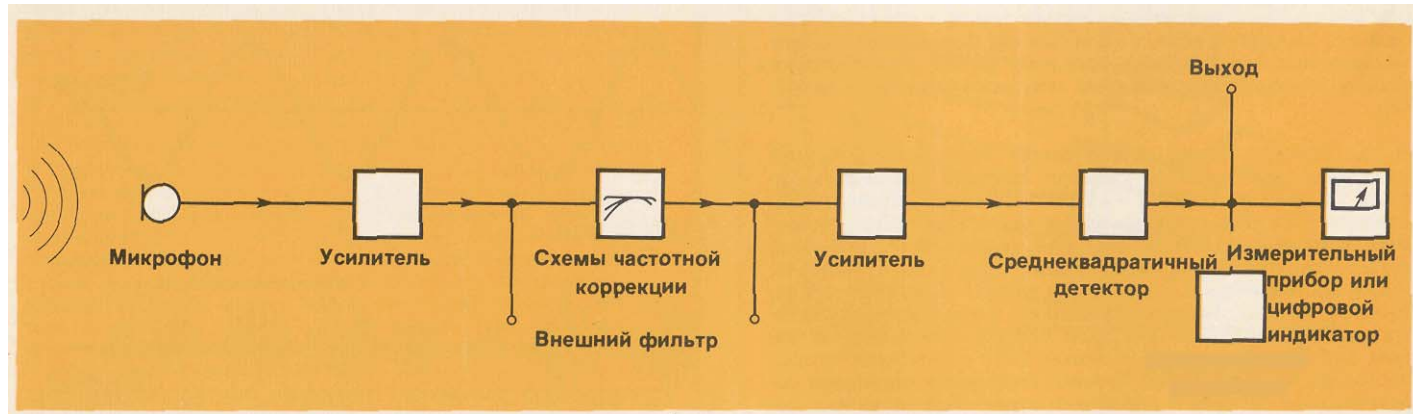
Одной из причин не совсем хороших результатов применения схем частотной коррекции «В» и «С» является сам метод определения кривых равной громкости. Дело в том, что эти кривые относятся к чистым тонам и условиям свободного звукового поля, в то время как большинство встречающихся в акустической практике звуков отличается от чистых тонов и имеет сложный или даже случайный характер.

В тех случаях, когда нужно более подробное описание сложного акустического сигнала, область слышимых частот, т.е. диапазон 20 Гц — 20 кГц, предпочтительно подразделять на ряд смежных узких частотных полос, например, шириной одной октавы или третьоктавы. Для этой цели предусмотрены электронные фильтры, пропускающие составляющие с частотами внутри определенной частотной полосы, а почти совершенно заграждающие составляющие с частотами вне этой полосы. Например, октавный фильтр со средней частотой 1 кГц пропускает полосу частот от 707 до 1410 Гц. Процесс выделения частотных составляющих сигнала и обработки отдельных частотных полос называется частотным анализом. Результатом частотного анализа является частотный спектр и в графическом представлении спектрограмма.

Кратковременные звуки, т.е. звуки длительностью меньше 1 с, называются импульсными. Примером таких импульсных звуков могут служить генерируемый пишущей машинкой шум и ударный звук при применении молота. Импульсные звуки еще более затрудняют и усложняют оценку субъективной громкости, так как с уменьшением длительности звука также уменьшается чувствительность воспринимающего его слуха. Научные и исследователи в области акустики, в общем, соглашались с правилом, устанавливающим уменьшение субъективной громкости с уменьшением длительности импульсных звуков общей длительностью до 70 мс. В соответствии с этим правилом разработана и принята в международном масштабе специальная электронная схема, чувствительность которой уменьшается с уменьшением длительности кратковременного звука. Характеристика этой схемы называется «импульсной».



Шумомер



Шумомер является электронным измерительным прибором, реагирующим на звук аналогично человеческому слуху и обеспечивающим объективное и воспроизводимое измерение уровней звука или звукового давления.

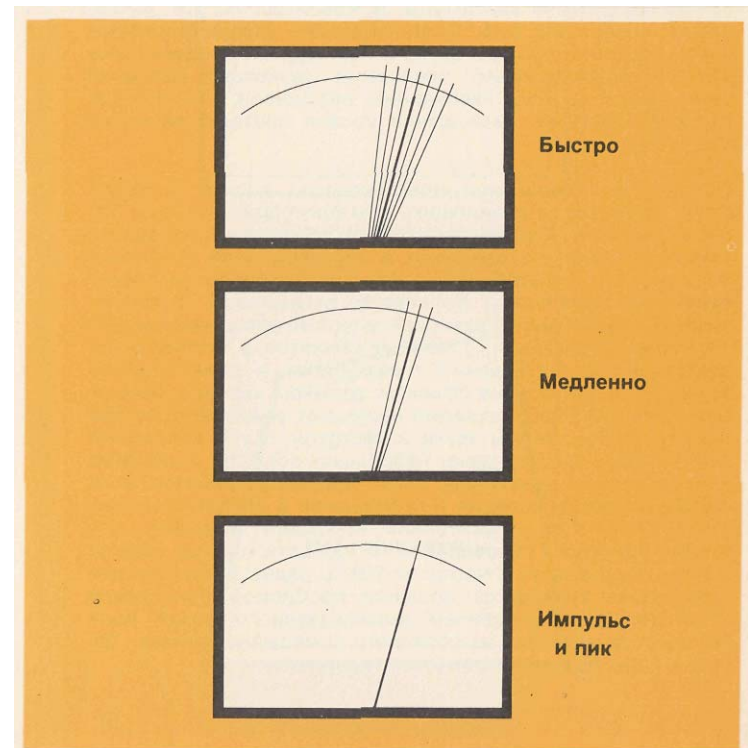
Воспринимаемый шумомером звук преобразуется его микрофоном в пропорциональный электрический сигнал. Так как амплитуда этого сигнала весьма мала, еще до его подачи на стрелочный измерительный прибор или цифровой индикатор необходимо соответствующее усиление. Усиленный предусмотренным на входе шумомера усилительным каскадом электрический сигнал может подвергаться частотной коррекции в блоке, содержащем стандартные корректирующие схемы. А, В, С и/или D, или фильтрации внешними полосовыми (например, октавными или третьоктавными} фильтрами. Усиленный соответствующим усилительным каскадом электрический сигнал затем подается на блок детектора и от его выхода на стрелочный измерительный прибор или после преобразования на цифровой индикатор. Блок детектора стандартного шумомера содержит среднеквадратичный детектор, но может быть также снабжен пиковым детектором. Стрелочный измерительный прибор или цифровой индикатор показывает уровни звука или уровни звукового давления в дБ.

Среднеквадратичное значение (СКЗ) является математически точно определенным специальным средним значением, относящимся к энергии исследуемого процесса. Это особенно важно в акустике, так как среднеквадратичное значение пропорционально количеству энергии измеряемого шумомером звука или шума. Пиковый детектор дает возможность измерения пикового значения кратковременных и импульсных звуков, в то время как применение запоминающего устройства (схемы удерживания) способствует фиксации максимального пикового или среднеквадратичного значения, измеряемого в импульсном режиме шумомера. Как шумомер является прецизионным измерительным прибором, в его конструкции предусмотрена возможность повторной калибровки и проверки его параметров с целью обеспечения высокой точности и надежности результатов измерения. Предпочтительным методом калибровки шумомеров является акустический метод, основывающийся на применении прецизионного и, возможно, портативного акустического калибратора. По существу акустический калибратор является комбинацией прецизионного генератора и громкоговорителя, генерирующей звук с точно определенным уровнем.

Динамическая характеристика шумомера

При измерении звука с изменяющимся уровнем нужно, чтобы отклонение стрелки измерительного прибора шумомера точно соответствовало этим изменениям. Однако слишком быстрые изменения уровня измеряемого звука могут быть причиной так быстрых флуктуации стрелки измерительного прибора, что снятие показаний становится затруднительным или даже невозможным. По этой причине международными рекомендациями и стандартами установлены две основные динамические характеристики шумомеров; "быстро" - характеристика, соответствующая быстрому реагированию прибора. При быстрых флуктуациях стрелки измерительного прибора (см. верхний рисунок) при работе в режиме «быстро» более предпочтительно установить шумомер в режим «медленно». При слишком больших флуктуациях стрелки измерительного прибора шумомера, работающего в режиме «медленно», необходимо определить среднее значение отклонений стрелки и отметить в соответствующем протоколе максимальное и минимальное показания измерительного прибора.

При измерении кратковременных и импульсных звуков нужен импульсный шумомер. Некоторые рекомендации и стандарты предъявляют требования к измерению пиковых значений, в то время как другие определяют необходимость применения режима с динамической характеристикой «импульс». Отметим, что возможность фиксации показания измерительного прибора или индикатора шумомера эффективна и удобна при измерении всякого рода кратковременных звуков.



Распространение звуковых волн

Распространение звуковых волн в воздухе аналогично распространению волн в воде. Звуковые волны распространяются равномерно во всех направлениях, и их амплитуда уменьшается с увеличением расстояния от источника. Увеличению вдвое расстояния в воздухе соответствует уменьшение наполовину амплитуды звуковой волны, т.е. уменьшение уровня на 6дБ. Следовательно, увеличив расстояние между источником звука и наблюдателем вдвое, уровень воспринимаемого последним звукового давления уменьшится на 6 дБ. Увеличению расстояния в 4, 8 и т.д. раз соответствует уменьшение уровня соответственно на 12 дБ, 18 дБ и т.д. Однако, вышесказанное действительно только в отсутствии объектов, отражающих или поглощающих звук. Такие идеальные условия называются условиями свободного звукового поля. Находящиеся в звуковом поле объекты в большей или меньшей мере отражают, поглощают и пропускают звуковые волны. Количество отражаемой, поглощаемой и пропускаемой звуковой энергии определяется физическими свойствами отдельных объектов, в частности коэффициентом поглощения и размерами, и длиной волны звука. В общем, только объекты, размеры которых больше длины волны звука, серьезно нарушают звуковое поле. Например, длина волны звука с частотой 10 кГц составляет всего 34мм, так что даже небольшие объекты (например, измерительный микрофон) будут нарушать звуковое поле. Наоборот, звукоизоляция и поглощение в области высоких частот являются относительно простыми задачами. Совсем противное справедливо в области низких частот (длина волны звука с частотой 100Гц равна 3,4м), где звукоизоляция становится сложной проблемой прикладной акустики. Подтверждением вышесказанного может быть распространяющаяся из соседнего помещения музыка - басовые тоны практически нельзя задержать.



Безэховые (поглощающие звук) камеры

Если нужно измерение в свободном звуковом поле, т.е. в отсутствии отражающих звук объектов, исследования или испытания необходимо осуществлять или на открытом воздухе с микрофоном на конце длинного и тонкого вертикального стержня, или в безэховой камере. Стены, потолок, и пол безэховой камеры покрыты поглощающим звук материалом, параметры и конструкция которого исключают отражения звуковых волн. Следовательно, в безэховой камере можно измерять распространяющийся в любом направлении от источника звук без нарушений звукового поля объектами, отражающими звуковые волны.

Реверберационные (отражающие звук) камеры

Реверберационная камера противоположна безэховой камере в отношении свойств и конструкции. Все поверхности реверберационной камеры как можно тверды и гладки с целью обеспечения возможно большого отражения звуковых волн. Чтобы обеспечить нужное угловое распределение звука, поверхности реверберационной камеры не расположены параллельно друг другу. Образованное в реверберационной камере звуковое поле называется диффузным и отличается равномерным распределением звуковой энергии во всех его точках. В реверберационных камерах можно измерять мощность излучаемого разными источниками звука и шума, но попытка измерять уровни звука или уровни звукового давления в определенном направлении относительно источника приводит ввиду отражений звуковых волн к ошибочным и практически бессмысленным результатам. Отметим, что из-за более низкой стоимости реверберационных камер (по сравнению с безэховыми камерами) они находят широкое применение в технической акустике, в частности при исследованиях генерируемого и излучаемого машинами и оборудованием шума.



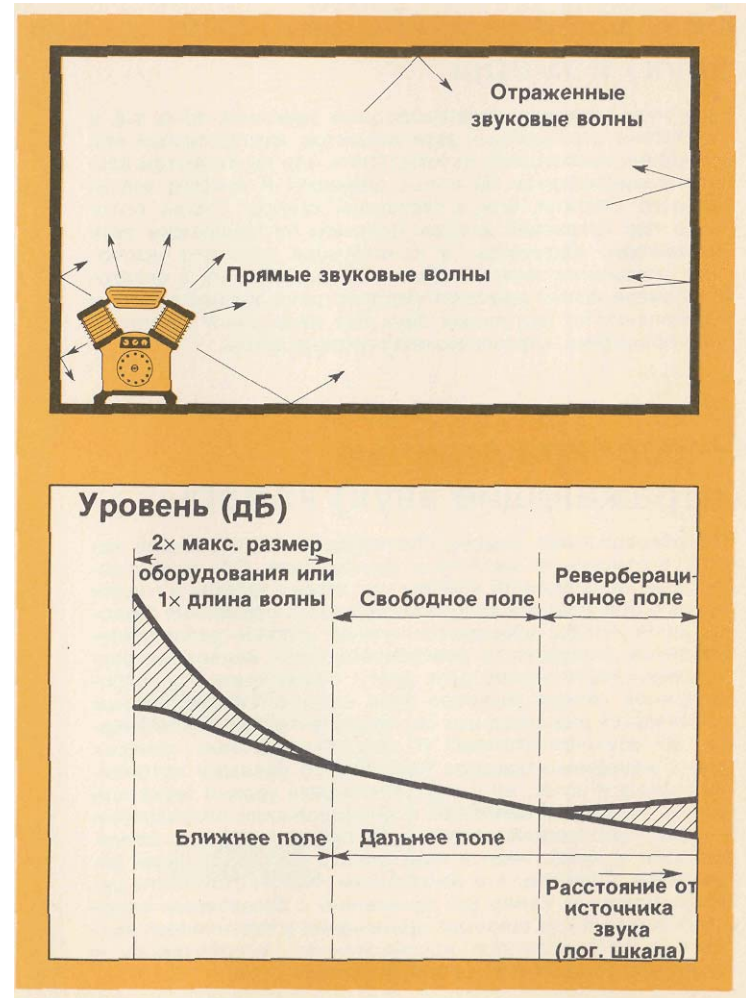
Акустические параметры нормальных помещений

Большинство практических измерений звука не осуществляется ни в безэховых, ни реверберационных камерах, а в помещениях, акустические параметры которых находятся где-то в середине между параметрами упомянутых выше специальных камер.

При измерении генерируемого и излучаемого определенным источником звука или шума не исключены разные ошибки. Небольшие изменения положения находящегося на малом расстоянии от источника звука микрофона звукоизмерительной аппаратуры могут сопровождаться большими изменениями уровней звука или звукового давления. Такая ситуация не исключена на расстояниях, меньших большего из следующих двух значений: длина волны составляющей с самой низкой частотой генерируемого и излучаемого источником звука и увеличенный в два раза максимальный размер источника звука. Определяемое таким образом звуковое поле называется ближним полем. Отметим, что по упомянутым выше причинам не рекомендуется измерение уровней звука или звукового давления в ближнем звуковом поле.

Даже при измерениях на больших расстояниях от источника звука не исключены определенные ошибки, в частности ошибки из-за отражений от стен помещения и других отражающих звук объектов. Поле, в котором интенсивность отраженного звука может почти равняться интенсивности распространяющегося непосредственно от источника звука, называется реверберационным. Где-то между реверберационным полем и ближним полем находится свободное звуковое поле, границы которого можно найти согласно его определению: удвоению расстояния в свободном поле должно соответствовать уменьшение уровня на 6 дБ. Акустические измерения рекомендуется осуществлять в свободном звуковом поле или как можно близких ему условиях.

В протоколе измерений нужно отметить не только результирующий уровень звука или звукового давления, а также расстояние между микрофоном и источником звука, направление микрофона и его высоту.

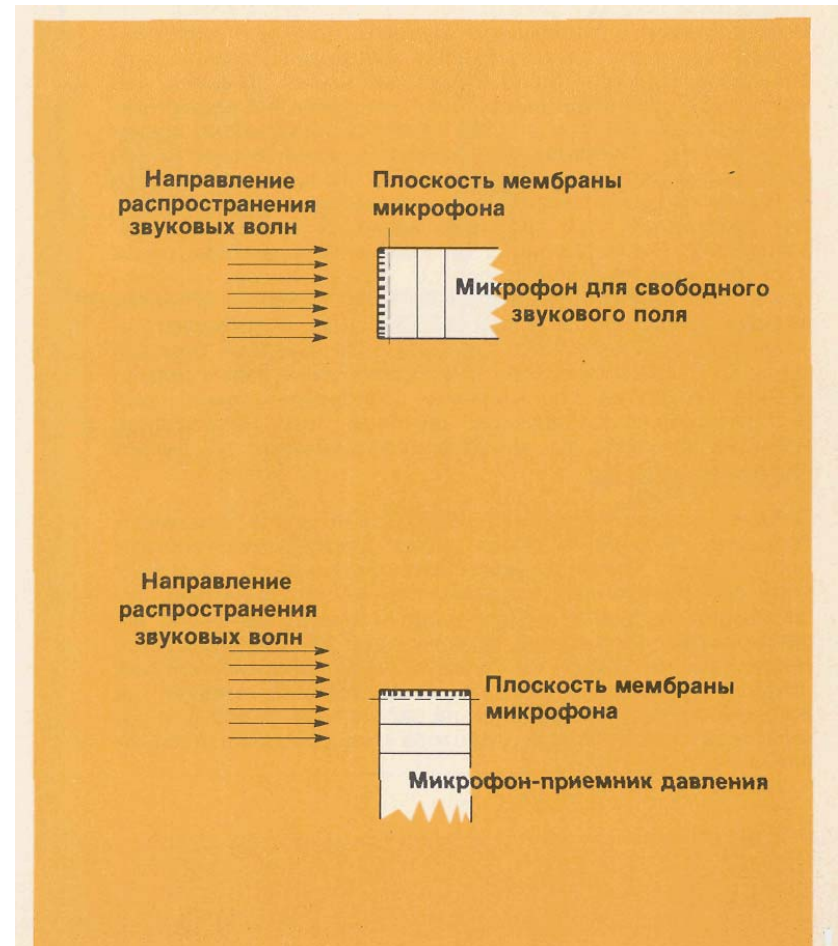


Измерительный микрофон в звуковом поле

Измерительный микрофон должен удовлетворять ряду строгих требований. Прежде всего, он должен быть высококачественным и надежным. Далее, он должен обладать ровной и равномерной частотной характеристикой, т.е. его чувствительность должна быть идентична или почти идентична на всех частотах. Он должен также быть всенаправленным, т.е. иметь идентичную или почти идентичную чувствительность во всех направлениях.

Фирма Брюль и Кьер изготавливает и выпускает прецизионные измерительные микрофоны с оптимальными характеристиками в свободном звуковом поле, при измерении давления и в диффузном звуковом поле. Микрофоны, предназначенные для применения в свободном звуковом поле, имеют ровную частотную характеристику по отношению к звуку, образующему звуковое поле еще до установки в нем микрофона. Следует подчеркнуть, что каждый микрофон нарушает звуковое поле, но что предназначенные для свободного звукового поля микрофоны сконструированы с учетом автоматической компенсации их присутствия в звуковом поле. Микрофоны-приемники давления сконструированы с учетом достижения ровной частотной характеристики относительно действительного звукового давления, разумеется, с автокомпенсацией нарушения звукового поля из-за присутствия микрофона. Конструкция микрофонов, предназначенных для эксплуатации в диффузном звуковом поле, гарантирует их всенаправленность, т.е. идентичную или почти идентичную чувствительность к звуковым волнам, поступающим одновременно под разными углами, как это имеет место в реверберационных и диффузных звуковых полях.

При акустических измерениях в свободном звуковом поле нужно предназначенный для условий свободного звукового поля микрофон направлять непосредственно к источнику звука, в то время как микрофон-приемник давления должен находиться под углом 90° относительно направления к источнику звука, т.е. он должен располагаться так, чтобы его мембрана была параллельной направлению распространения звуковых волн.



Измерительный микрофон в звуковом поле

Используемый в диффузном звуковом поле или попе случайно падающих звуковых волн микрофон должен быть всенаправленным. Общим правилом можно принять, что чем меньше размеры микрофона, тем лучше его характеристика направленности, т.е. тем ближе он идеально всенаправленному микрофону. Однако, чувствительность малых микрофонов относительно мала, что может исключать возможность их применения в относительно тихих условиях. Решением этой проблемы является применение чувствительного микрофона с оптимальной характеристикой в свободном звуковом попе, т.е. однодюймового микрофона, снабженного специальным приспособлением, называемым диффузором и придающим ему почти всенаправленную характеристику. Однако, если высокая чувствительность однодюймового микрофона не нужна, предпочтение отдается применению предназначенных для эксплуатации в диффузном звуковом попе микрофонов меньших размеров, т.е. микрофонов диаметром 1/2 дюйма или менее. Следует подчеркнуть, что присутствие корпуса измерительного прибора и оператора в диффузном звуковом поле может препятствовать распространению звуковых волн в определенных направлениях и, следовательно, существенно ухудшать иначе хорошую всенаправленную характеристику микрофона. Именно поэтому рекомендуется закреплять микрофон на удлинительном стержне или при применении удлинительного микрофонного кабеля на прочной опоре, находящейся на расстоянии от корпуса измерительного прибора и оператора и ненарушающей звуковое поле.



Шум окружающей среды

До сих пор в данной брошюре рассматривался звук и шум, генерируемый и излучаемый одним источником, например, машиной, в частности с цепью описания акустических параметров данного источника и определения параметров звука и их зависимости от расстояния. Совсем другим видом акустических исследований являются измерение, анализ и оценка звука или шума в определенном месте, причем звуковое поле могут создавать разные источники и их комбинации.

Шум на рабочем месте является примером шума внешней среды. Измерение и анализ такого шума осуществляются в нормальном рабочем месте, не принимая в расчет, находится ли это место в ближнем или дальнем звуковом поле соответствующего оборудования, создается ли звуковое поле только данным оборудованием или определенной комбинацией и т.д. Действительные условия, отдельные источники шума и т.д. учитываются на этапе борьбы с шумом, но при измерении и оценке дозы воздействующего на человека шума они не являются существенными.

Так как общий шум внешней среды в большинстве случаев образуется звуковыми волнами от разных источников и т.д., микрофон используемого при измерениях шумомера должен быть всенаправленным. Следовательно, комплект шумомера с микрофоном должен обладать идентичной чувствительностью во всех направлениях и его показания не должны зависеть от расположения образующих звуковое поле источников.

Другими примерами шума внешней среды могут служить шум в жилых помещениях, в окрестности промышленных комплектов, в конторах, театрах и т.д.



Влияние присутствия измерительного прибора и оператора

При всякого рода измерениях звука и шума нужно позаботиться о том, чтобы присутствие звукоизмерительной аппаратуры и оператора не нарушало измеряемое звуковое поле. Следует учитывать то, что корпус измерительного прибора и тело оператора могут не только препятствовать распространению звуковых волн в определенных направлениях, а также обуславливать нарушающие звуковое поле отражения звуковых волн. С первого взгляда тело человека не кажется объектом, хорошо отражающим звуковые волны. Однако экспериментальные исследования показали, что на частотах около 400 Гц отражения от тела человека могут быть причиной ошибок порядка 6 дБ при измерениях на расстоянии менее 1 м от тела оператора.

С целью доведения до минимума отражений от корпуса звукоизмерительных приборов шумомеры фирмы Брюль и Кьер снабжены специальным конусообразным фасадом. Вместе с большинством этих шумомеров можно применять гибкий удлинительный стержень, способствующий удалению микрофона от шумомера и, следовательно, уменьшению общей погрешности измерений. Кроме того, предусмотрена возможность применения микрофонных удлинительных кабелей в тех случаях, когда нужно совершенное исключение нарушения звукового поля из-за присутствия корпуса звукоизмерительного прибора.

Отражения звуковых волн от тела оператора и их влияние на результаты измерений можно в большинстве случаев довести до минимума путем правильной установки шумомера. Шумомер следует держать на расстоянии натянутой руки или, предпочтительнее, закрепить его на треножнике или другой прочной опоре, не нарушающей звуковое поле. Во всяком случае, рекомендуется применение гибкого удлинительного стержня. Еще более совершенным с точки зрения уменьшения ошибок из-за присутствия оператора является крепление микрофона на расстоянии от шумомера и их взаимное соединение соответствующим микрофонным удлинительным кабелем.



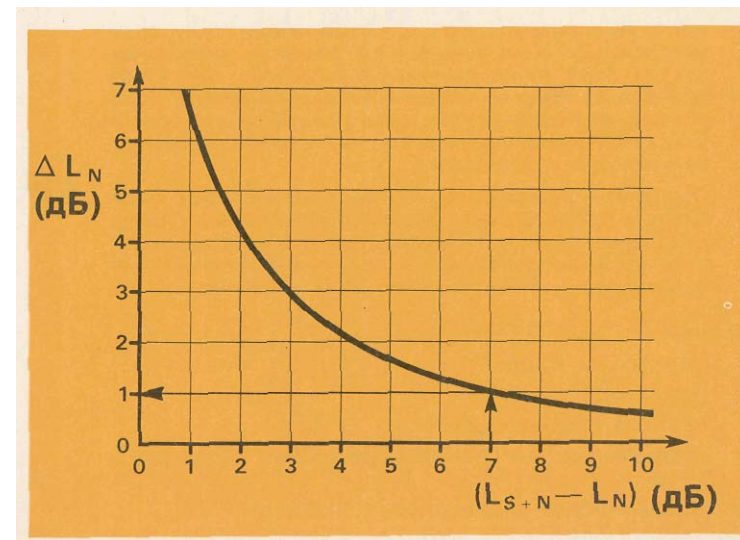
Шум фона (вычитание уровней)

Другим важным фактором, влияющим на общую погрешность результатов акустических измерений, является шум фона, в частности отношение его уровня к уровням измеряемого звука или шума. Понятно, что уровень шума фона не должен превышать уровни подлежащего измерению процесса. На практике можно пользоваться правилом, определяющим необходимость превышения уровня шума фона уровнями измеряемого звука или шума на 3дБ или больше. Однако даже при удовлетворении требованию этого правила нужно внесение соответствующей поправки с тем, чтобы добиться правильных результатов с минимальной погрешностью. Методика измерения и вычисления уровня генерируемого определенным источником (например, машиной) звука или шума в присутствии шума фона с относительно высоким уровнем следующая:

1. Измерить общий уровень звука или шума (L_{S+N}) с включенным источником.
2. Измерить уровень шума фона (L_N) после выключения источника.
3. Вычислить разность результатов описанных выше измерений. В случае если эта разность меньше 3дБ, шум фона необходимо считать чрезмерно интенсивным и препятствующим обеспечению точных результатов. При разности в пределах от 3 до 10 дБ нужно внесение соответствующей поправки. Внесением поправки можно пренебречь в случае, если упомянутая выше разность превышает 10 дБ-
4. Поправка на шум фона определяется по приведенной на рисунке справа номограмме. На горизонтальной оси номограммы нужно найти точку, соответствующую вычисленной в п. 3 разности уровней. Из этой точки следует вести вертикальную линию вверх так, чтобы определить точку ее пересечения жирной кривой. Горизонтальная линия из этой точки ведется к вертикальной оси номограммы. Точка пересечения определяет значение ΔL_N в дБ.
5. Вычесть определенное по вертикальной оси номограммы (см., п. 4 выше) значение ΔL_N из измеренного в п. 1 общего уровня звука или шума. Результатом этой операции является искомый уровень генерируемого и излучаемого исследуемым источником звука или шума.

Пример:

1. Общий уровень шума = 60 дБ
2. Уровень шума фона - 53 дБ
3. Разность уровней - 7 дБ
4. Определенная на основе номограммы поправка - 1 дБ
5. Искомый уровень шума источника = 60 - 1 = 59 дБ



Сложение уровней

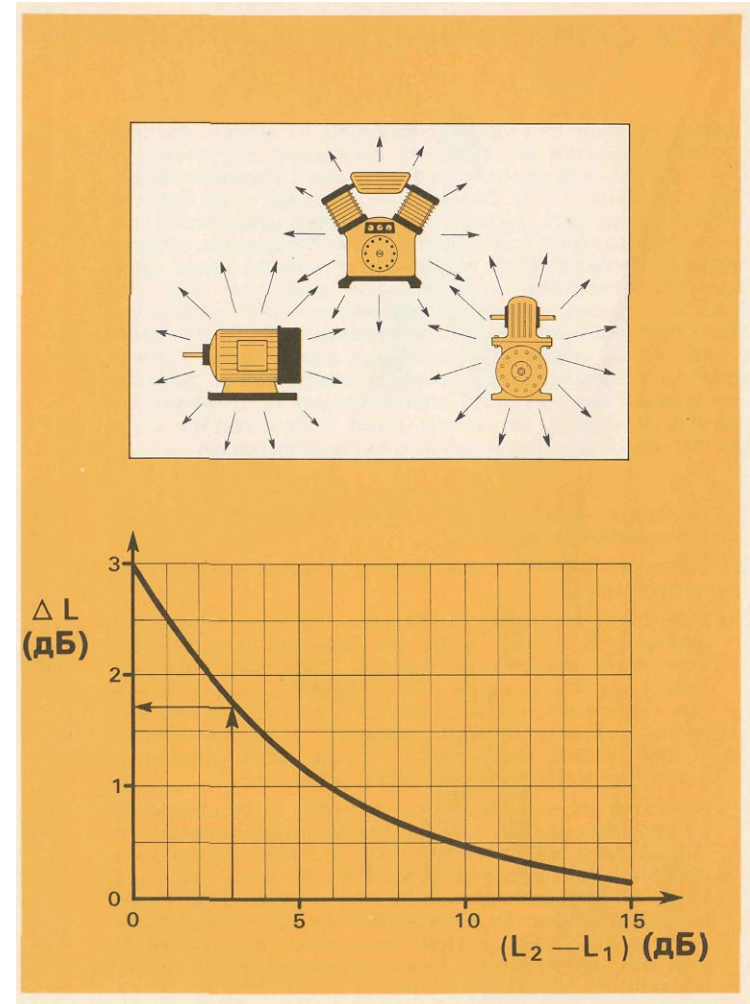
В случае если индивидуально измерены уровни излучаемого двумя источниками звука или шума и нужно определение общего уровня звука или шума при одновременной работе обоих этих источников, необходимо сложение соответствующих уровней. Однако применение логарифмической шкалы и дБ исключает возможность непосредственного сложения уровней звука или шума. Сложение осуществляется путем внесения соответствующей поправки, определяемой или путем вычисления, или на основе номограммы, например, приведенной на рисунке справа номограммы.

Рабочая методика следующая:

1. Измерить индивидуально уровни звука или шума обоих источников, например, машин 1 и 2.
2. Вычислить разность результатов описанных выше измерений.
3. Найти на горизонтальной оси номограммы точку, соответствующую вычисленной в п. 3 разности уровней. Вести из этой точки вертикальную линию так, чтобы определить точку ее пересечения жирной кривой. Горизонтальная линия из этой точки к вертикальной оси номограммы определяет новую точку пересечения и соответствующее ей значение ΔL в дБ.
4. Прибавить определенное по вертикальной оси номограммы (см. п. 3 выше) значение к большему уровню, определенному в п. 1. Результатом этой операции является искомый общий уровень, т.е. сумма уровней, генерируемого двумя источниками звука или шума.

Пример:

1. Источник 1 - 85 дБ Источник 2 = 82 дБ
2. Разность уровней = 3 дБ
3. Определенная на основе номограммы поправка -1,7 дБ
4. Искомый общий уровень - $85 + 1,7 = 86,7$ дБ



Влияние условий окружающей среды

Ветер

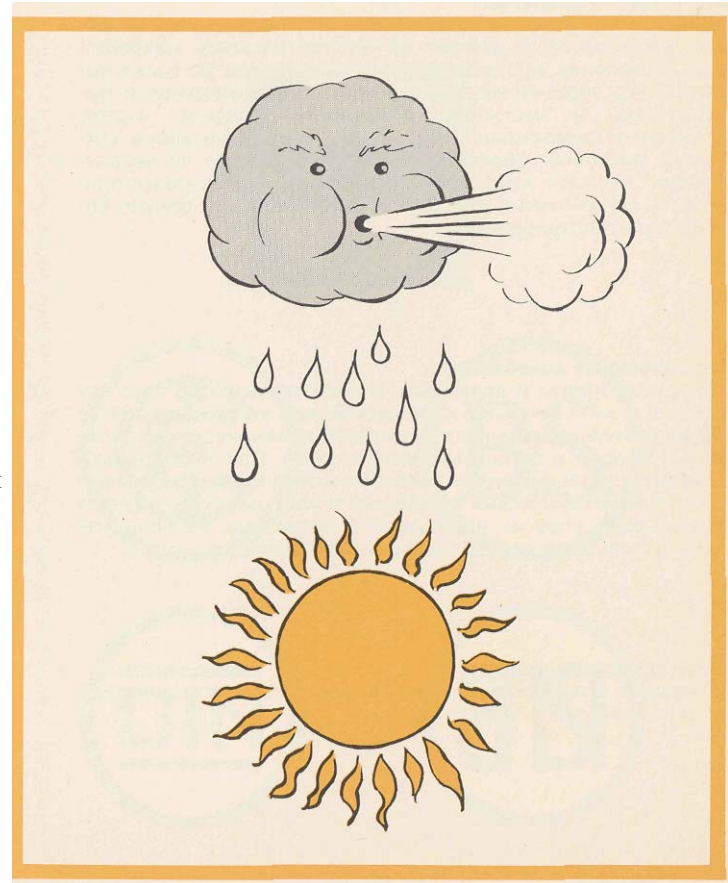
Присутствие ветра воспринимается микрофоном звукоизмерительной аппаратуры как шум, подобный слышимому человеческим слухом при дутии ветра шуму. Для уменьшения создаваемого ветром шума предназначены специальные ветрозащитные колпаки, имеющие вид шара из пористого и пенистого полиуретана и защищающие микрофон также от пыли, грязи и других нечистот. Следует подчеркнуть необходимость применения ветрозащитного колпака при эксплуатации микрофона на открытом воздухе.

Влажность

Влажность внешней среды влияет мало на качественные звукоизмерительные приборы и микрофоны, так что влиянием относительной влажности до 90% можно практически пренебречь. Однако измерительную аппаратуру необходимо защищать от дождя, снега и т.д. При эксплуатации на открытом воздухе необходимо применение ветрозащитного колпака. Отметим, что погрешность измерений остается практически неизменной даже при сильном увлажнении надетого на микрофоне ветрозащитного колпака. Для стационарного применения в условиях высокой относительной влажности предназначены специальные микрофоны, противодождевые колпаки и осушители.

Температура

Изготавливаемая и выпускаемая фирмой Брюль и Кьер Звукоизмерительная аппаратура рассчитана на высокоточную и надежную работу в температурном диапазоне от -10 до $+50^{\circ}\text{C}$., Однако, особое внимание нужно уделять быстрым измерениям температуры, так как они могут обуславливать конденсацию влаги внутри микрофонов.



Влияние условий окружающей среды

Статическое давление

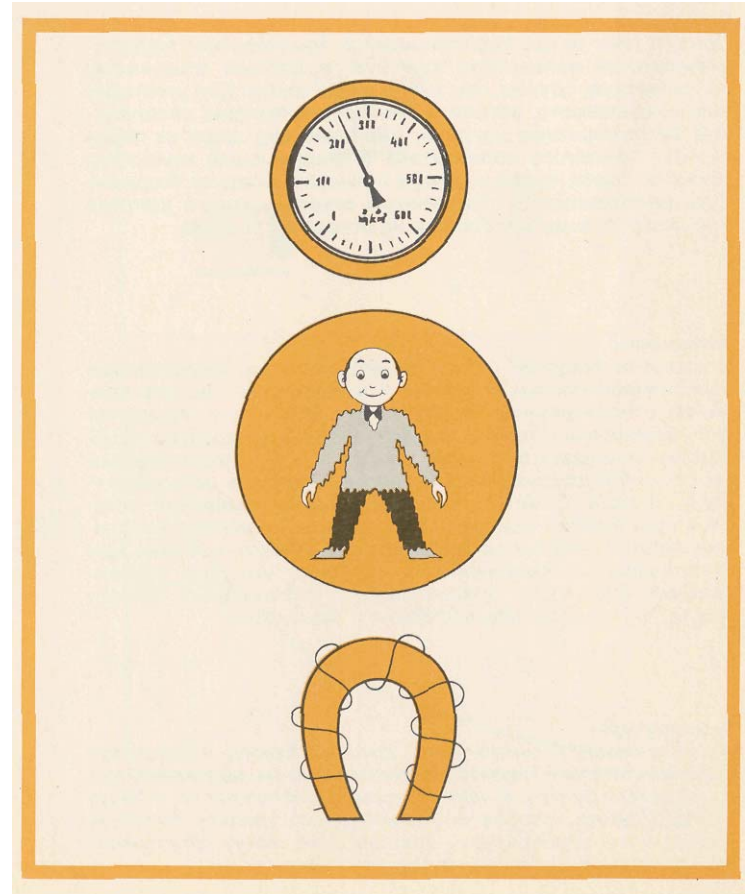
Изменения статического (атмосферного) давления в пределах $\pm 10\%$ почти не влияют на чувствительность микрофонов (изменения $\pm 0,2$ дБ). Однако, на слишком больших высотах над уровнем моря изменения чувствительности микрофонов, в частности в области высоких частот, становятся заметными, так что их нужно учитывать согласно указаниям соответствующей инструкции по эксплуатации. Местное атмосферное давление нужно также принимать во внимание уже при акустической калибровке аппаратуры пистонфоном.

Механические колебания

Хотя микрофоны и шумомеры относительно мало чувствительны к механическим колебаниям, все же рекомендуется их надежная изоляция относительно механических колебаний и ударов с большими амплитудами. При необходимости эксплуатации звукоизмерительной аппаратуры в присутствии механических колебаний и ударов рекомендуется применение упругих подушек или прокладок из пенистой резины или другого подходящего материала.

Электромагнитные поля

Влиянием электростатических и электромагнитных полей на шумомеры можно пренебречь.



Рекомендации и стандарты, относящиеся к акустическим измерениям

При планировании и подготовке акустических измерений рекомендуется принимать во внимание указания соответствующих международных и национальных рекомендаций и стандартов. Эти рекомендации и стандарты устанавливают как методы и технику измерений, так и требования к измерительной аппаратуре. Следовательно, рекомендации и стандарты являются солидной основой точных, надежных и воспроизводимых акустических измерений.

Рекомендация 2204 Международной организации по стандартизации ИСО, несущая название «Акустика - Руководство по методам измерения акустического шума и его воздействия на человека», особенно важна, в частности для необладающих достаточным опытом лиц, поскольку она содержит определение и объяснение основных терминов, описание методов измерений и список соответствующих рекомендаций и стандартов.

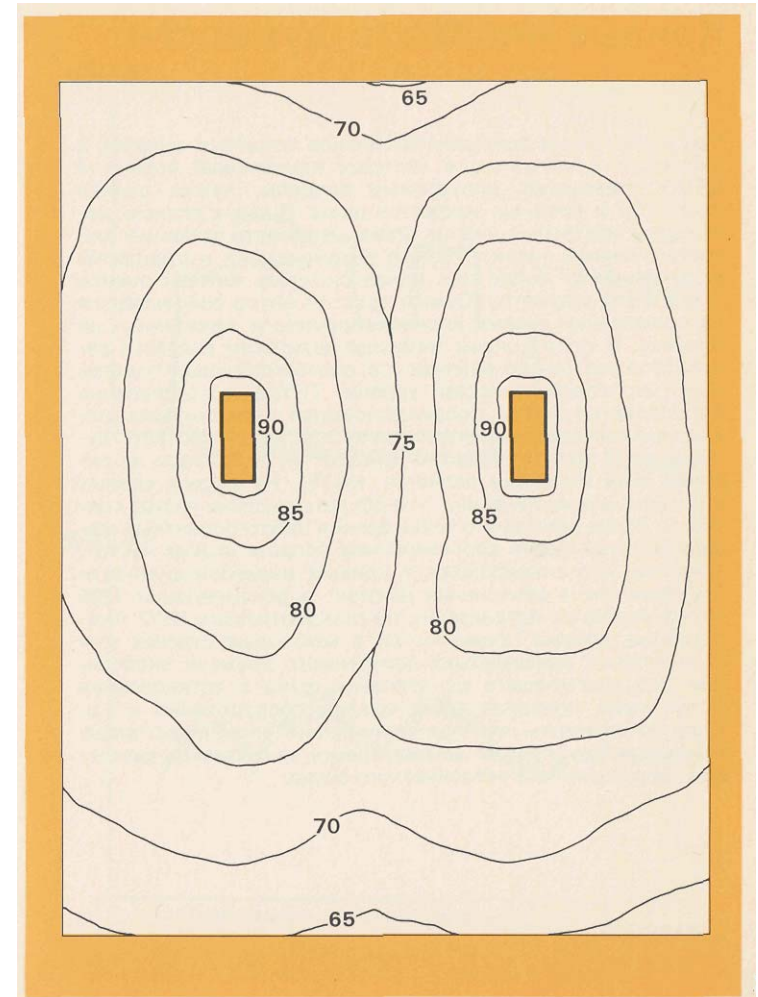
Рекомендации 123 и 179 Международной электротехнической комиссии МЭК устанавливают требования, предъявляемые к шумомерам разных классов точности. Отметим, что изготовляемая и выпускаемая фирмой Брюль и Кьер звукоизмерительная аппаратура удовлетворяет требованиям этих рекомендаций и также других стандартов. В США широко применяются национальные стандарты (ANSI). Шумомеры фирмы Брюль и Кьер, снабженные гибким удлинительным стержнем, также удовлетворяют требованиям соответствующих американских стандартов.

Обзор и список относящихся к акустическим измерениям рекомендаций и стандартов можно получить у местного представителя фирмы Брюль и Кьер.



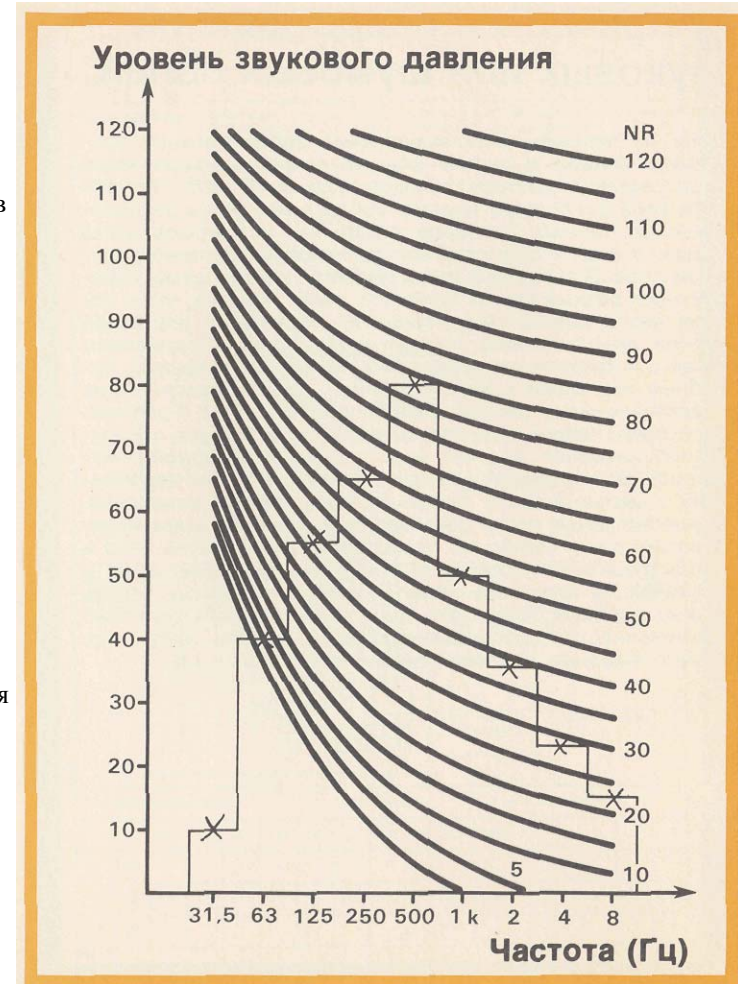
Графическое представление звуковых или шумовых полей

Один из первых шагов выполнения более сложной программы борьбы с шумом обычно является графическое представление соответствующего шумового поля, т.е. составление достаточно точного эскиза с указанием расположения и главных размеров отдельных источников шума (машин и т.д.) и других объектов, находящихся в исследуемом поле. В этот эскиз затем вносятся уровни шума, измеренные в разных точках шумового поля. Понятно, что с ростом числа результатов измерений получается все более точное представление исследуемого поля. Соединением точек с идентичными уровнями шума строятся кривые, подобные изогипсам в картографии и дающие графическое представление о распределении энергии шума. Графическое представление шумового поля способствует обнаружению наиболее шумных мест и служит исходной платформой планирования и подготовки акустических мероприятий с целью защиты людей от шума. Новые измерения, осуществляемые после реализации упомянутых выше мероприятий, дают наглядное представление их результатов и иллюстрацию достижений в отношении снижения шума и оптимизации шумового поля. В упомянутом выше эскизе можно красным обозначать зоны, в которых обязательно применение средств индивидуальной защиты, например, ушных тампонов, противошумовых наушников и т.д.



Кривые индексов шумности

При выполнении большинства планов борьбы с шумами, в частности в областях, в которых измеряемые уровни в дБ (А) превышают допустимые пределы, нужна оценка шумности и вредных эффектов шума. В таких случаях необходим частотный анализ шума, например, октавный или третьоктавный анализ. Разные рекомендации и стандарты устанавливают более или менее сложные методы оценки шума и его эффектов. Самый простой метод основывается на применении кривых индексов шумности, показанных на рисунке. В поле кривых индексов шумности вносятся результаты частотного анализа, т.е. соответствующие отдельным частотным полосам уровни. Путем сопоставления определяется кривая, соприкасающаяся с максимумом спектра шума и, следовательно, шуму придается соответствующий этой кривой индекс шумности NR (в примере на рисунке этим индексом является NR78). Из формы кривых индексов шумности видно, что область высоких частот считается более важной и с точки зрения неблагоприятных эффектов шума более серьезной, чем область низких частот. Отметим, что относящиеся к кривым индексам шумности определения и объяснения даются в рекомендации 1996 Международной организации по стандартизации ИСО. Аналогичные кривые применяются в некоторых странах для определения максимально допустимого времени экспозиции воздействующего на человека шума и установления допустимых пределов шума машин, оборудования т.д. Следует отметить, что при применении упомянутых выше кривых, между прочим, автоматически учитывается частотная характеристика человеческого слуха.



Доза шума

Потенциальная опасность определенного шума, в частности в отношении нарушений и повреждений слуха, определяется не только его уровнем, а также его продолжительностью. Например, вредный эффект шума с определенным уровнем, воздействующего на человека в течение 60 минут, намного больше эффекта шума с идентичным уровнем и продолжительностью лишь одной минуты. Следовательно, для оценки степени опасности необходимы измерения уровня и продолжительности шума. Такие измерения не совсем сложны в случае стационарных шумов с фиксированными уровнями, но усложняются там, где шум является нестационарным и где его уровни изменяются во времени. Усложнение обусловливается необходимостью периодических измерений уровней шума по точно определенным интервалам времени. На основе отнесенных к отдельным интервалам времени дискретных значений уровня нестационарного шума возможно вычисление одночисленного параметра, называемого эквивалентным уровнем шума ($L_{\text{экв}}$) - $L_{\text{экв}}$ является эквивалентным уровнем непрерывного шума в дБ(А), степень опасности для слуха которого идентична степени опасности шума с изменяющимися во времени уровнями. В случае если уровень исследуемого шума изменяется более или менее дискретно, эквивалентный уровень можно вычислять на основе результатов измерений с помощью шумомера и секундомера. Эквивалентный уровень шумов с флуктуирующим или случайно изменяющимся уровнем нельзя вычислять на основе нескольких результатов измерений, в таких случаях нужно применение дозиметра шума, осуществляющего автоматическое измерение и вычисление эквивалентных уровней шума. Дозиметры шума могут быть или стационарными приборами, или портативными устройствами карманного формата.

Акустические рекомендации и стандарты устанавливают два метода определения и вычисления эквивалентного уровня шума. Один из этих методов устанавливается рекомендациями 1996 и 1999 Международной организации по стандартизации ИСО, в то время как другой метод определяется принятым в США Документом безопасности труда и охраны здоровья (OSHA).



Основные методы борьбы с шумом

В случае если результаты акустических измерений сигнализируют о слишком высоких и превышающих допустимые пределы уровнях шума, необходимо принимать все соответствующие меры по их снижению. Хотя методы и средства борьбы с шумом часто сложны, ниже кратко описываются соответствующие основные мероприятия.

1. Уменьшение шума в его источнике, например, применением специальных технологических процессов, модификацией конструкции оборудования, дополнительной акустической обработкой деталей, узлов и поверхностей оборудования или применением нового и менее шумного оборудования.
2. Блокировка путей распространения звуковых волн. Этот метод, основывающийся на применении дополнительных технических средств, заключается в снабжении оборудования звукопроницаемым покрытием или акустическими экранами и его подвеске на амортизаторах вибраций. Шум на рабочих местах можно уменьшать покрытием стен, потолка и пола поглощающими звук и уменьшающими отражения звуковых волн материалами.
3. Применение средств индивидуальной защиты там, где другие методы по той или иной причине не эффективны. Однако применение этих средств нужно считать только временным решением проблемы.
4. Прекращение эксплуатации шумного оборудования является самым радикальным и последним методом, принимаемым в учет в специальных и серьезных случаях. На данном месте нужно подчеркнуть возможность сокращения времени эксплуатации шумного оборудования, перемещения шумного оборудования в другое место, выбора рационального режима труда и отдыха и сокращения времени нахождения в шумных условиях и т.д.



Основные правила акустических измерений

Заключением данной брошюры является обзор основных правил акустических измерений, осуществляемых портативным шумомером.

1. Ознакомиться с указаниями рекомендаций и стандартов, устанавливающих соответствующие методы и предъявляющих требования к используемой измерительной аппаратуре.

2. Проверить состояние внутреннего батарейного источника питания шумомера и подготовить запасный набор качественных элементов. Отметим, что при хранении шумомера на складе, в частности в течение длительного времени, необходимо устранение элементов, содержащихся нормально в батарейном источнике питания-



3. Проверить шумомер и при необходимости произвести его калибровку. Во всяком случае, рекомендуется осуществляемая по регулярным интервалам времени калибровка акустическим калибратором.

4. Определить соответствующую условиям и целям измерения схему частотной коррекции. Отметим, что в большинстве нормальных случаев используется корректирующая схема А.



5. Еще до начала действительного измерения рекомендуется снять несколько ориентировочных показаний шумомера в исследуемом звуковом поле. Определить тип и основные параметры подлежащего исследованию звукового поля и соответствующие условиям работы точки замера .

6. Снабженный микрофоном с оптимальной характеристикой в свободном звуковом поле шумомер нужно держать на расстоянии натянутой руки, причем микрофон должен быть направлен к источнику звука или шума.



7. В диффузном звуковом поле и поле со случайным падением звуковых волн важно применение микрофона и метода крепления прибора, гарантирующих всенаправленность снабженного микрофоном шумомера .

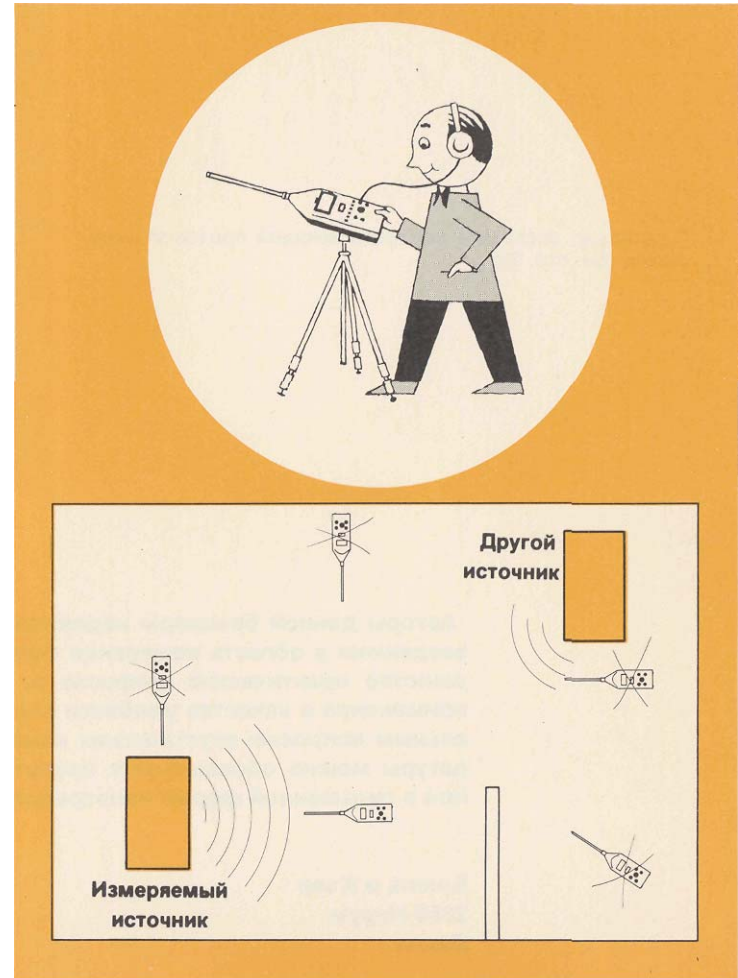
8. Определить динамическую характеристику шумомера, т.е. "быстро" или «медленно», соответствующую условиям измерения и исключающую ошибки отсчета. Отметим, что при измерении импульсных звуков нужен специальный импульсный шумомер.



9. В тех случаях, когда определение обуславливающего показание стрелочного прибора или цифрового индикатора шумомера источника звука затруднительно, соединяемые с выходом шумомера наушники могут оказаться ценным помощником. Отметим, что применение наушников возможно только в случае, если шумомер снабжен соответствующим выходным гнездом.

10. Во время измерения необходимо принимать во внимание следующее:

- а) достаточное расстояние между микрофоном шумомера и отражающими звук объектами
- б) соответствующее условиям измерения и типу звукового поля расстояние между шумомером и измеряемым источником звука или шума
- в) уровень шума фона
- г) присутствие объектов, способных блокировки распространения звуковых волн от источника к шумомеру
- д) необходимость применения ветрозащитного колпака при работе на открытом воздухе
- е) необходимость исключения результатов измерения при перегрузке шумомера или его индикатора



11. Тщательно составить соответствующий протокол измерения .



**Авторы данной брошюры надеются, что она является практическим введением в область измерения звука и шума и дает ответ на большинство практических вопросов и, следовательно, что она найдет применение в качестве удобного справочника. За советами по специальным вопросам акустических измерений и соответствующей аппаратуры можно обращаться к представителям фирмы Брюль и Кьер или в письменной форме непосредственно по адресу
Брюль и Кьер 2850 Нэрум Дания**