

## **ФАКТОРЫ УЧЁТА ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ ШУМА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МАШИН**

*Анализируются основные факторы, влияющие на формирование направленности шума машин. Приведены примеры, показывающие характеристики направленности при выборе метода акустических измерений и разработке конструктивных решений по снижению шума машин.*

*Ключевые слова: звуковая мощность, характеристики направленности.*

*A.A. Strokin*

## **FACTORS OF ACCOUNT OF CHARACTERISTICS OF AN ORIENTATION OF NOISE DURING DEVELOPING MACHINES**

*The major factors influencing on formation of an orientation of noise of machines are analyzed. The examples showing characteristics of an orientation at the choice of a method of acoustic measurements and development of constructive decisions on reduction of noise of machines, are given.*

*Key words: sound power, characteristics of an orientation.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 18 апреля 2017 г.

Одним из важных параметров качества окружающей среды является шум от различных энергоустановок. Количество таких установок (на транспорте и производстве) постоянно увеличивается, растут их мощности, скоростные характеристики и соответственно растёт их шум, поэтому проблема уменьшения шума от производственной среды остаётся по-прежнему актуальной.

Эта проблема требует решения двух, связанных между собою, задач: контроля шумовых характеристик машин и разработки их малошумных узлов и агрегатов. Однако следует сказать, что задача только контроля шума является уже весьма трудоёмкой, поэтому наблюдается тенденция использования более простых в измерении так называемых "интегральных" параметров оценки шума машин. К таким параметрам относятся – скорректированный уровень звуковой мощности машины  $L_{WA}$ , уровень звука  $L_{p,A}$ , а также эквивалентный уровень звука для непостоянного шума –  $L_{p,Aeq,T}$ , дБА. Использование данных параметров позволяет оценить шум машины или шум в отдельных точках её звукового поля в целом (интегрально), как правило, без выяснения причин возникновения самого шума и без изучения процессов, его порождающих. С другой стороны, эти параметры учитывают специфику восприятия звука человеком, поскольку при их измерении в процессе интегрирования объективных спектральных составляющих конкретного шума вносятся корректирующие спектральные поправки, соответствующие различной чувствительности человека к разным частотам контролируемого шума. Эти спектральные поправки образуют стан-

дартную кривую *коррекции "А"* в функции от частоты  $f, Гц$  [1], применяемую при санитарном контроле промышленных шумов. Шумомер осуществляет измерение спектральных уровней, их одновременную коррекцию и интегрирование автоматически при установке переключателя режимов работы шумомера в позицию коррекции "А". Результатом измерения является одно интегральное значение – *уровень звука*, позволяющее оценить измеряемый шум, подобно тому, как это делают органы слуха человека.

Малая трудоёмкость измерений интегральных параметров при использовании коррекции "А" и их "субъективность" обусловили широкое применение последних прежде всего для санитарного контроля шума машин и их звуковых полей [2]. Однако при относительной простоте измерений эти параметры несут слишком мало информации о связи рабочих процессов машины с шумом и с характером звуковых полей вокруг неё. Эти связи необходимо знать при разработке малошумных машин, а также при создании средств снижения шума для уже существующих машин [3]. Это вторая и по сути более важная задача комплексной проблемы снижения шумового загрязнения производственной и окружающей среды. Для этой цели необходимо иметь представление о спектральных шумовых характеристиках источника шума или, по крайней мере, на каких частотах происходит его наиболее интенсивное излучение.

Наиболее полно и объективно шум машины характеризуют уровень её звуковой мощности  $L_w = f(f), дБ$  (он характеризует "количество" шума, излучаемого машиной на различных частотах –  $f, Гц$ ) и показатель направленности излучения  $DI = f(f), дБ$  (он характеризует как бы "качество" излучения: в какую сторону пространства происходит излучение на данной частоте). Обычно стандартные измерения этих параметров проводятся в октавных (или 1/3 октавных) полосах частот, при этом стандартную полосу частот принято обозначать значением её среднегеометрической частоты:  $f_{сг}, Гц$ . Стандарты предусматривают девять октавных полос, хотя измерения и исследования проводят обычно лишь в существенном для шума машины диапазоне частот. Однако, даже при уменьшении существенных для данной машины частотных полос, подлежащих исследованию, трудоёмкость измерения спектральных шумовых характеристик значительно возрастает, по сравнению с измерением только её шумовых интегральных параметров. Поэтому задача уменьшения трудоёмкости проведения исследований при создании малошумных машин и соответствующих средств снижения шума остается по-прежнему актуальной.

Следует отметить, что снижение трудоёмкости измерений шумовых характеристик источника шума зависит от особенностей механизмов шумообразования, сопровождающих его работу, поскольку знание этих особенностей позволяет в ряде типовых случаев уменьшить необходимое число измеряемых параметров и выбрать существенно менее трудоёмкие методы измерений. Одним из важнейших параметров, влияющих на трудоёмкость и сложность измерений является показатель *направленности излучения шума* –  $DI = f(f_{сг}), дБ$ , измеренный в октавных полосах частот. Качественно он может быть измерен [3] в так называемом "свободном звуковом поле":

$$DI = L_i - L_m, дБ. \quad (1)$$

Уровни звукового давления в точках такого поля обусловлены только "прямым звуком", исходящим от источника. В этом же поле могут быть измерены и уровни звуковой мощности источника для тех же октавных частотных полос:

$$L_W = L_i + 10 \log_{10} S, \text{ дБ}, \quad (2)$$

где  $L_m = L_i - 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i}$  – среднее значение уровня звукового давления по результатам измерений уровней звукового давления  $L_i$ , дБ, проведённых в  $n$  точках на условной измерительной поверхности  $S$ ,  $\text{м}^2$ , окружающей источник.

Количество измерительных точек зависит от требуемой точности [4, 5] измерений (точные, технические, ориентировочные методы). Однако, в любом случае число точек, в которых необходимо провести измерения, достаточно велико, а если учесть, что уровни звукового давления должны быть измерены в каждой октавной полосе частот, характерной для данного источника, становится очевидным, насколько исследовательский процесс является в этом случае трудоёмким. Более того, при оценке трудоёмкости измерений в свободном звуковом поле следует учесть, что точки, в которых измерялись уровни звукового давления  $L_i$ , при нахождении звуковой мощности источника  $L_W$  по формуле (2) могут не совпадать с точками при измерении уровней звукового давления  $L_i$  для определения показателя направленности  $DI$  по формуле (1). Последний в общем случае измеряется в 3-х взаимно перпендикулярных плоскостях или хотя бы в одной плоскости, характерной для условий типовой эксплуатации машины, в полярных координатах через каждые  $15^\circ \dots 30^\circ$  (в зависимости от требуемой точности) и также в каждой октавной полосе частот.

Естественно, что это обстоятельство также существенно усложняет процесс проведения измерений и исследований в случае необходимости использования методов в свободном звуковом поле.

Следует также отметить, что наиболее качественное "свободное поле" получают в специальных "заглушенных" камерах, в которых, за счёт применения высокоэффективных звукопоглощающих материалов и конструкций из них, отсутствуют отражённые волны. Для таких камер средний коэффициент звукопоглощения

$$\alpha_m = E_{\text{погл}} / E_{\text{пад}} \rightarrow 1, \quad (3)$$

где  $E_{\text{пад}}$  – падающая от источника звуковая энергия, Дж;

$E_{\text{погл}}$  – поглощённая ограждающими поверхностями помещения звуковая энергия, Дж.

Следует отметить, что такие акустические камеры с качественным свободным звуковым полем (для которого  $\alpha_m \approx 1$ ) стоят достаточно дорого и не всегда удобны для практических работ по снижению шума энергооборудования и не только в силу трудоёмкости измерений в свободном звуковом поле,

но и вследствие того, что такая разработка подразумевает необходимость измерений [3] всего комплекса паспортных характеристик машины: её мощности, крутящих моментов, расхода топлива и т.д., а не только её акустических параметров, что в силу пожароопасности таких камер может оказаться невыполнимым.

Однако, если у разработчика средств снижения шума есть основания предполагать, что направленность излучения у исследуемого источника отсутствует или ожидаемые значения показателя направленности шума таковы, что их можно не учитывать при разработке конкретной конструкции, трудоёмкость процесса измерений может быть значительно снижена. В этом случае следует воспользоваться расчётами и измерениями, применяемыми для "реверберационных" (по другой терминологии – "отраженных" или "диффузных") полей. В таком поле имеет место хаотическая случайная картина переноса звуковой энергии по различным направлениям, при этом все звуковые "лучи" "равномощны" и прямой луч, исходящий непосредственно от источника шума, не имеет никакого "превосходства" перед любым отраженным от ограждающих поверхностей лучом. Такие поля занимают значительный объём в так называемых "гулких" или в специальных реверберационных камерах, для которых средний коэффициент звукопоглощения  $\alpha_m$  (в отличие от "заглушенных" камер) стремится к нулю.

Для реверберационного поля, близкого к идеальному (для которого  $\alpha_m \approx 0$ ), уровень звуковой мощности  $L_W = f(f_{сг})$ , найдется из выражения:

$$L_W = L_i + 10 \log_{10} A - 6, \text{ дБ}, \quad (4)$$

где  $L_i$  – уровень звукового давления, измеренный в какой-либо точке реверберационного поля, дБ;

$A$  – общее звукопоглощение помещения,  $m^2$ , величина постоянная для данного помещения для каждой частоты, на которой проводятся измерения ( $A = \alpha_m S_{огр\sigma}$ , где  $S_{огр\sigma}$  – суммарная площадь всех ограждающих поверхностей в помещении,  $m^2$ ).

Таким образом, из анализа формулы (4) следует, что измеряя уровень звукового давления в характерной точке реверберационного поля, мы с точностью до постоянных знаем важнейший параметр, объективно характеризующий шум источника – уровень его звуковой мощности. Иными словами, эффект снижения шума от какого-либо конструктивного решения, зафиксированный в данной точке, "объективно" проявится и в любой другой реальной для эксплуатации акустической обстановке (в свободном звуковом поле, в помещении с иным звукопоглощением и т.д.). При этом достаточно просто сравнительных измерений с новым устройством, с новым технологическим рабочим процессом и измерений в той же точке со старым устройством, процессом и т.д.

Следует отметить, что для проведения работ по снижению шума машин в производственных условиях по методу "реверберационного поля" можно в большинстве случаев использовать уже имеющиеся как правило на производстве боксы и помещения, предназначенные для стендовых испытаний. Обычно на таких стендах осуществляется доводка проектируемой машины с целью по-

лучения для нее наилучших эксплуатационных показателей (КПД, крутящих моментов, мощности, расхода топлива и т.д.). Такой стенд несложно преобразовать также и для качественных акустических измерений, облицевав его поверхности материалами с хорошим звукоотражением. В качестве таких материалов можно использовать кафельную плитку, зеркала, витринное стекло. С целью получения более качественного реверберационного поля по углам испытательного помещения устанавливают звукорассеивающие щиты. В результате такой, в общем недорогой, обработки поверхностей помещения оно становится более гулким и пригодным для измерения как эксплуатационных параметров разрабатываемой машины, так и для определения её акустических характеристик.

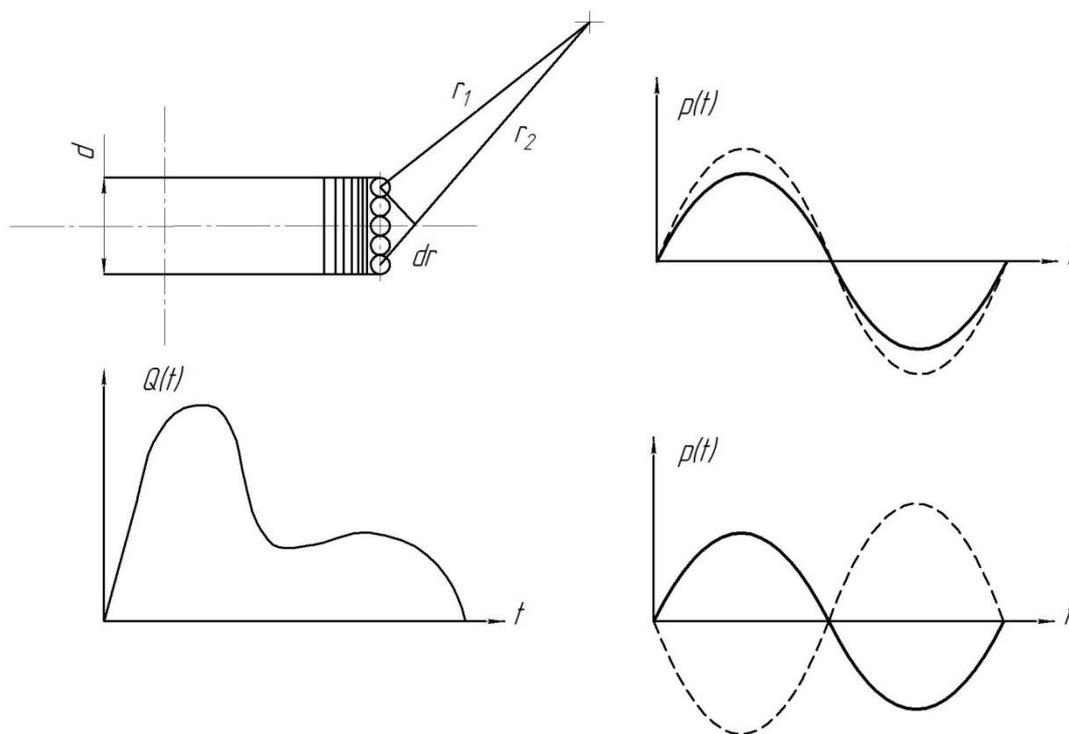
В гулком помещении реверберационное поле занимает значительный объём. Обнаружить его границы можно, измеряя неравномерность  $\Delta L$  уровней звукового давления в поле вокруг машины. Приемлемой можно считать неравномерность в 2...3 дБ. При этом средний коэффициент звукопоглощения  $\alpha_m$  может лежать в пределах 0,2...0,3. Таким образом использование реверберационного поля помещений, предназначенных для испытаний и доводки машин, позволяет проводить качественные комплексные измерения как обычных паспортных эксплуатационных параметров машины, так и одновременно её акустических характеристик. При этом малая трудоёмкость акустических измерений ускоряет доводку и оптимизацию по всему комплексу параметров машины и позволяет с меньшими трудовыми и временными затратами находить приемлемые конструктивные решения, снижающие шум машины без ухудшения её эксплуатационных характеристик.

Однако если источник шума обладает существенной направленностью, то результаты акустических измерений по данному методу могут давать значительные ошибки. С другой стороны, далеко не всякий источник шума обладает направленностью излучения. На практике источник с  $DI \leq 4$  дБ можно считать ненаправленным. Именно для таких источников описанный метод комплексных измерений может оказаться весьма продуктивным при разработке малозумных машин с высокими эксплуатационными характеристиками.

Рассмотрим основные факторы, влияющие на появление направленности у различных источников шума.

Прежде всего, следует отметить, что направленность излучения формирует интерференция звуковых волн, излучаемых источником шума. В качестве примера рассмотрим формирование направленности звука двигателем внутреннего сгорания. Наиболее направленный звук создают впускная и особенно выпускная системы двигателя.

На рис. 1 изображён выхлопной патрубок двигателя, поперечный размер которого равен  $d$ ,  $Q(t)$  – объёмная скорость импульса выхлопных газов, изменяющаяся во времени  $t$ ,  $c$ ;  $p(t)$  – звуковое давление в контрольной точке.



**Рис. 1.** Схема процесса генерации шума выхлопом ДВС

Газовый импульс создаёт начальное возмущение в спокойной атмосфере, которое затем, распространяясь в виде звуковой волны, попадает в произвольную точку пространства и воспринимается в этой точке как шум. Если разбить послойно "газовый поршень" на конце патрубка, выталкивающий выхлопные газы в невозмущённую атмосферу, и при этом очередной слой на срезе патрубка представить в виде набора элементарных излучателей звука, синхронно по отношению друг к другу излучающих звук в окружающую среду, то получим когерентные источники, между которыми при достижении звуковыми лучами какой либо точки пространства возникает разность хода лучей  $\Delta r$ , что даст в итоге интерференционную картину звукового поля вокруг макроизлучателя.

Более того, если даже есть когерентные источники (и, следовательно, следует ожидать направленности звука), но машина излучает шум в низком и среднем диапазоне частот, то величина показателя направленности  $DI$ ,  $\Delta B$  может оказаться такой, что её в приближенных расчётах можно не учитывать. Кроме того средства снижения шума гораздо эффективнее работают на высоких частотах, что позволяет при наличии этих средств (например, если поставить на патрубок ДВС глушитель шума выхлопа), также не учитывать в приближенных расчётах и предварительных измерениях показатель  $DI$  и на более высоких частотах. Это также существенно расширяет возможности применения вышеизложенного эффективного (и малоопасного с точки зрения пожарной безопасности) метода практической разработки малозумных машин и оборудования.

## Литература

1. ГОСТ 17187 2010 (IEC 61672 1:2002). Шумомеры. Часть 1. Технические требования, 2002. 36 с.
2. СанПиН 2.2.4.3359 16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. М.: Минздрав РФ, 2016. 72 с.
3. Строкин А.А. К вопросу о выборе метода измерения шумовых характеристик при проведении НИОКР по разработке мал шумного оборудования в производственных условиях // Грузовик. 2015. № 3. С. 41-45.
4. ГОСТ 23941 2002. Шум машин. Методы определения шумовых характеристик. Общие требования, 2002. 7 с.
5. ГОСТ 31252 2004 (ИСО 3740:2000). Шум машин. Руководство по выбору метода определения уровней звуковой мощности, 2004. 32 с.

## References

1. GOST 17187 2010 (IEC 61672 1:2002). Shumomery. Chast 1. Tekhnicheskie trebovaniia (Sound level meter. Part 1. Specifications), 2002. 36 p.
2. SanPiN 2.2.4.3359 16. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniia k fizicheskim faktoram na rabochikh mestakh (Sanitary and epidemiological requirements for physical factors in the workplace). M.: Minzdrav RF, 2016. 72 p.
3. Strokin A.A. K voprosu o vybore metoda izmereniia shumovykh kharakteristik pri provedenii NIOKR po razrabotke maloshumnogo oborudovaniia v proizvodstvennykh usloviakh (To the question of choosing a method of measurement of noise characteristics when conducting the research and development of low noise equipment in a production environment) // Gruzovik. 2015. № 3. Pp. 41-45.
4. GOST 23941 2002. Shum mashin. Metody opredeleniia shumovykh kharakteristik. Obshchie trebovaniia (The noise of the cars. Methods for determining noise characteristics. General requirements), 2002. 7 p.
5. GOST 31252 2004 (ISO 3740:2000). Shum mashin. Rukovodstvo po vyboru metoda opredeleniia urovnei zvukovoi moshchnosti (The noise of the cars. Guide to choosing a method for determining sound power levels), 2004. 32 p.