

Потребность в вентиляторе возникает при проектировании системы воздухообмена с принудительным перемещением воздуха. При выборе вентилятора основное внимание уделяется производительности и развиваемому им давлению, его внешнему виду. Шум вентилятора является нежелательным, но естественным результатом его работы, хотя, во многих случаях, может стать основным критерием выбора вентилятора. Чем обычно руководствуются проектировщики при выборе наименее шумного вентилятора? Оценки можно делать по приводимой в каталогах фирм-производителей информации, или по собственному предыдущему опыту (поставил вентилятор на объект и вроде с шумом не было проблем), или по опыту и рекомендациям «знающих» людей. Можно углубиться в изучение аэроакустических свойств вентиляторов (например, [1–3]) и делать более осознанный и качественный выбор. Чем же полезно и правильно руководствоваться и что полезно помнить при выборе вентилятора по такому критерию как шум?

Автор В.Г. КАРАДЖИ, к.т.н., начальник НИЦ, Ю.Г. МОСКОВКО, начальник НИО, ООО «Инновент»

## Выбор вентилятора по шуму

Принципиально важно четко понимать разницу между звуковой мощностью и звуковым давлением. Звуковой мощностью  $W$  описывают шум оборудования, соответственно, уровень звуковой мощности  $L_w = 10 \lg(W/W_0)$ , где  $W_0 = 10^{-12}$  Вт — условное пороговое значение [4]. Это мощность звуковых колебаний, исходящих от источника шума (например, вентилятора или кондиционера). Это может быть вся мощность источника, проходящая через замкнутую поверхность, охватывающую источник (рис. 1). Может быть мощность, проходящая через выбранный элемент поверхности (например, выходящая из вентиляционного отверстия в стене, или звуковая мощность на выходе/входе вентилятора). Важно помнить главное: звуковая мощность источника не зависит от условий, в которых находится источник (например, кондиционер), если, конечно, внешние условия не оказывают воздействия на саму физику процессов в источнике.

Она характеризует только источник (например, звуковая мощность на входе или выходе вентилятора), поэтому и используется для описаний источников шума.

Звуковое давление  $P$  является одной из локальных характеристик звукового поля (есть еще, например, колебательная скорость частиц воздуха и акустическая интенсивность), это силовая характеристика, соответственно, уровень звукового давления  $L_p = 20 \lg(P/P_0)$ , где  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па — условное пороговое значение звукового давления. Именно звуковые колебания давления воздействуют на мембрану уха и определяют наше восприятие. Звуковое давление напрямую не связано с источником шума. Оно является характеристикой звукового поля и зависит от окружающих условий: наличия стен, пола, потолка, мебели, присутствия человека (в частности). Без источников шума, конечно, не было бы звукового давления, но формирование поля определя-

ется окружающими условиями и характерными частотами. Например, органный орган возбуждается и звучит на определенных частотах, хотя воздействие на нее оказывается в широком диапазоне частот. В обычной комнате также возможно возбуждение звука на определенных собственных частотах (при наличии источника шума). Поэтому о звуковом давлении любого вентиляционного оборудования, в состав которого входит источник шума (например, вентилятор, или кондиционер), можно говорить только, указав на каком расстоянии от него находится измерительная точка, как она относительно его расположена в пространстве и в каких окружающих условиях находится.

Как понять, сильный шум создает оборудование или не очень? Можно ли определить это на слух? «Слухотметрически» выделить более шумное оборудование из нескольких работающих, конечно, можно. Оценить же примерный уровень звукового давления, создаваемого оборудованием в некоторой точке помещения, без большого опыта вряд ли удастся. Измерить звуковую мощность на входе/выходе вентилятора или установки на месте эксплуатации, практически, очень сложно и вряд ли реализуемо без специального оборудования и соответствующих знаний и навыков. Но нет никаких проблем с измерением уровней звукового давления в контролируемых точках и с проверкой соответствия их требованиям стандартов. Кроме того, специальный узкополосный спектральный анализ шума в таких случаях может помочь в выявлении основных источников и причин шума и в устранении проблем [5].

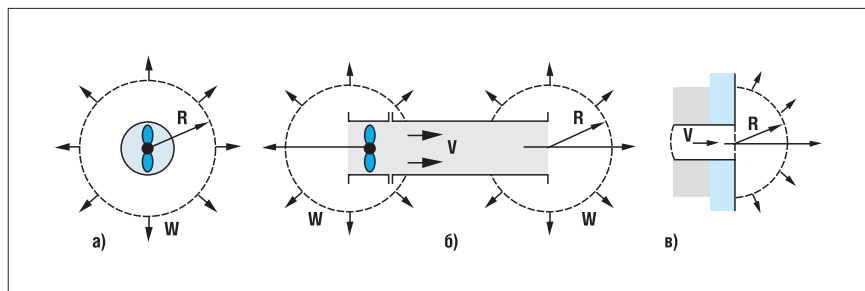


Рис. 1. Примеры определения звуковой мощности путем измерений распределения звукового давления по замкнутой сферической поверхности, охватывающей источник, в свободном звуковом поле при отсутствии внешних источников звука и отражений (R — радиус сферической поверхности; V — скорость и направление течения воздуха; W — суммарная звуковая мощность, протекающая через поверхность; а) свободно работающий вентилятор; б) вентилятор в сети; в) шум на выходе отверстия приточной вентиляции

При практическом применении вентиляторов наиболее широко используются октавные спектры шума: для вентиляторов — октавные спектры уровней звуковой мощности, в контрольной точке пространства — октавные спектры уровней звукового давления. На рис. 2 для примера приведен октавный спектр уровней звукового давления в некоторой точке свободного пространства на выходе вентилятора со спиральным корпусом (показан черным цветом). Суммарные по полосам частот уровни шума вентиляторов обычно принято приводить с учетом поправок по шкале «А». Учет поправок по шкале «А» приводит к снижению роли низкочастотных составляющих спектра (спектр с учетом поправок по шкале «А» показан на рисунке красным цветом). Справа черный столбик показывает суммарный уровень шума и красный столбик показывает суммарный уровень шума с учетом коррекции «А». Если подходить с формальных позиций, то во многих случаях суммарный уровень шума с учетом коррекции «А» может оказаться заметно ниже суммарного уровня того же вентилятора, измеренного в линейной шкале. Однако надо помнить, что, фактически, коррекция по шкале «А» это формальная математическая процедура, не приводящая к реальному снижению шума. И такой низкочастотный шум, если он реально есть, будет очень неприятно воздействовать на окружающую среду, причем, низкочастотный шум очень хорошо передается по свободному пространству и через преграды (например, стены).

Октавные спектры звукового давления или звуковой мощности, например, для вентиляционного оборудования приводят для октавных частотных полос, в некоторых случаях начиная с полосы 63 Гц или 125 Гц и выше — до октавной полосы 8000 Гц, включительно. Однако надо представлять себе, что очень сложно и дорого обеспечить акустические измерительные условия для определения уровней шума в октавной полосе 63 Гц, поскольку это соответствует длинам звуковых волн 5–6 м, и для таких длин волн сложно и дорого сделать эффективное звукопоглощение заглушенных звукомерных камер. В реверберационных же камерах измерять акустические характеристики вентиляторов не очень хорошо, поскольку спектр шума вентилятора, как правило, содержит дискретные частотные составляющие шума, да и размеры таких звукомерных камер должны быть достаточно большие для обеспечения достоверности измерений. Таким образом, к данным по шуму вентиляционного оборудования для октавной полосы 63 Гц надо относиться с некоторым умеренным скептицизмом (если неизвестно, как он получен).

Типичный спектр шума вентилятора характеризуется двумя частотами: частотой вращения рабочего колеса  $n/60$  (здесь  $n$  — частота вращения в  $\text{мин}^{-1}$ ) и частотой следования лопаток рабочего колеса  $nz/60$  (здесь  $z$  — число лопаток рабочего колеса). Если выполнена динамическая балансировка рабочего колеса и вибрации вентилятора на рабочих режимах находятся в допустимых пределах, оговоренных в технической документации на изделие, то, как правило, основная звуковая мощность вентилятора (на входе или выходе) сосредоточена в октавных полосах, начиная с содержащей частоту следования лопаток  $nz/60$  и выше. Для малых и средних типоразмеров вентиляторов, это обычно полосы 250; 500; 1000; 2000 Гц (смотри, например, рис. 2, спектр с поправкой «А»). Для больших типоразмеров вентиляторов, это могут быть полосы 125; 250; 500; 1000 Гц. ▲



#### ВОЗДУХОПРИТОННЫЕ УСТАНОВКИ (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КОНДИЦИОНЕРЫ)

##### АПК-ИННОВЕНТ

Производительность до 135 000 м<sup>3</sup>/час.  
Теплоноситель: вода, пар, электричество.  
Режимы обработки воздуха:

- охлаждение
- нагрев/охлаждение
- увлажнение
- рециркуляция
- рекуперативное/умягченное тепло



#### КОМПАКТНАЯ МОНОБЛОКОВАЯ ПРИТОННАЯ УСТАНОВКА

##### МПК-ИННОВЕНТ

Производительность 100–150 м<sup>3</sup>/час.  
Теплоноситель: вода, электричество



#### КАНАЛЬНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ

##### УНИВЕНТ №№ 1,6 ... 12,5

Производительность от 200 до 72 000 м<sup>3</sup>/час.  
Большая гамма характеристик в одном типоразмере.  
Исполнение в шумопоглощающем корпусе



#### КАНАЛЬНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ

##### УНИВЕНТ-Е №№ 1,6 ... 4

Производительность от 200 до 6200 м<sup>3</sup>/час.  
Большая гамма характеристик в одном типоразмере



#### КРЫШНЫЕ РАДИАЛЬНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ

##### ВКР-ИННОВЕНТ №№ 1,6 ... 6,3

Производительность от 200 до 24 500 м<sup>3</sup>/час.  
Увеличенная производительность по сравнению с известными аналогами



#### ВОЗДУШНО-ОТОПИТЕЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ

##### УНИТЕРМ

Тепловая мощность до 90 кВт.  
Теплоноситель: вода, пар, электричество.  
Производительность от 500 до 29 000 м<sup>3</sup>/час



#### ВОЗДУШНО-ТЕПЛОВЫЕ ЗАБЕРЫ

##### ТЗК-ИННОВЕНТ

Тепловая мощность до 200 кВт.  
Теплоноситель: вода, пар, электричество.  
Для любых типов вент с площадью проема до 36 м<sup>2</sup>.  
Производительность одного стока до 18 500 м<sup>3</sup>/час.  
Многообразие различных компоновочных решений

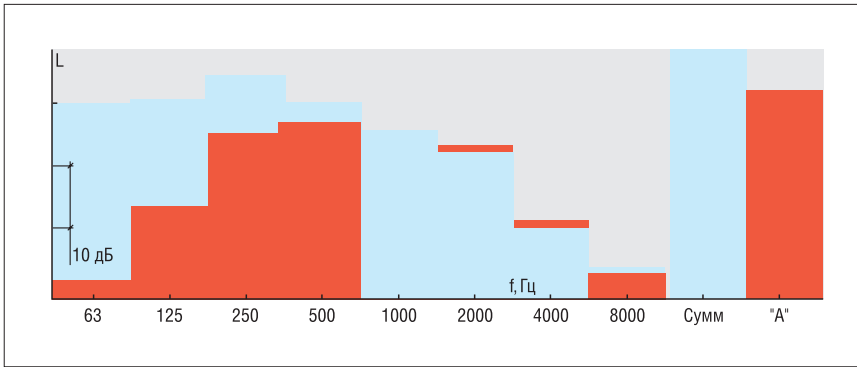
#### СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

##### ТИПА CAU

Для осуществления процессов защиты и управления параметрами воздушных установок, воздушно-тепловых завес и отопительных агрегатов

#### А ТАКЖЕ:

- вентиляторы радиальные низкого и среднего давления;
- вентиляторы для дымоудаления радиальные, осевые, крышные;
- клапаны, заслонки, решетки и другое сетевое оборудование для систем ОВК



■ Рис. 2. Октавный спектр уровней звукового давления на выходе вентилятора со спиральным корпусом (показан черным цветом, красным цветом показан тот же спектр, с учетом поправок по шкале «А» для каждой октавной частоты,  $N = 1500 \text{ мин}^{-1}$ ,  $z = 12$ )

Аэродинамические и акустические испытания вентиляторов часто проводят на специально изготовленных лабораторных образцах. Серийные вентиляторы по качеству исполнения (соблюдение размеров рабочего колеса, зазоров, углов установки лопаток и т.д.) могут не всегда соответствовать испытанным лабораторным образцам и, полученные на них шумовые характеристики могут отличаться от лабораторного образца. При этом не обязательно в лучшую сторону. Это может касаться не только отечественных, но и зарубежных изготовителей вентиляторов.

Акустические испытания часто проводят только для нескольких типоразмеров ряда вентиляторов. Для остальных типоразмеров ряда в таком случае акустические характеристики получают пересчетом с испытанного типоразмера с учетом теории подобия (смотри, например, [1, 2]). При этом могут оказаться неучтенными некоторые частотные акустические особенности объемов корпусов вентиляторов или вибрационные возбуждения элементов конструкции и возможные аэроакустические взаимодействия для конкретных типоразмеров. Это может отразиться на точности шумовых характеристик, полученных пересчетом.

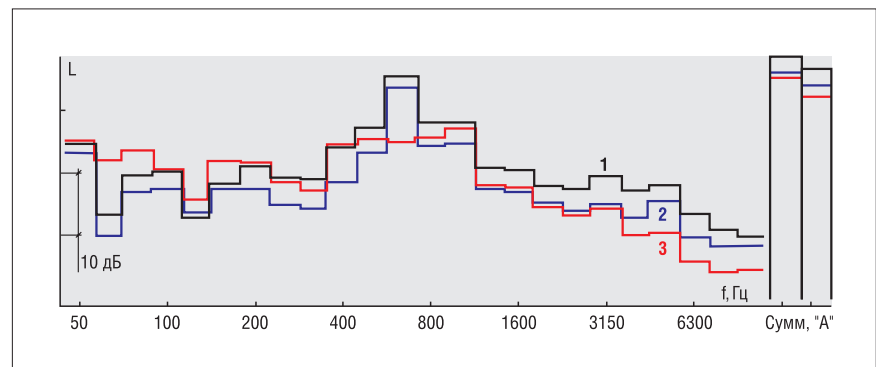
Некоторые производители вентиляторов приводят в каталогах уровни звуковой мощности на входе и выходе в октавных полосах частот, скорректированные по шкале «А», и суммарные уровни звуковой мощности, скорректированные по

шкале «А». Поэтому, надо внимательно читать в каталогах, какие именно данные по шуму приведены. Сравнивать между собой два разных вентилятора по шуму можно только при условии равных (или близких) производительностей и давлений, при этом следует использовать одинаковые акустические показатели (например, звуковые мощности на входе или выходе, звуковые давления корпусного шума на одинаковых расстояниях от корпуса в близких условиях).

При рассмотрении приведенных в каталогах данных по шуму вентиляторов следует обращать внимание на то, к какому режиму по производительности относятся данные, и как меняются уровни шума вентилятора в зависимости от изменения режима по производительности. Обычно суммарный уровень шума на входе или выходе вентилятора имеет минимум вблизи режимов максимума КПД. Если же говорить при этом о вкладе различных

октавных полос, то можно сказать, что с понижением производительности высокочастотный шум снижается. Низкочастотный шум достаточно быстро возрастает на режимах малых производительностей, т.е. форма спектра шума перестраивается в пользу низкочастотного шума, что хорошо слышно при работе вентилятора.

Пример  $1/3$ -октавных спектров звуковой мощности на входе одного из вариантов канального вентилятора приведен на рис. 3. Спектры приведены для режимов максимальной, средней и минимальной производительностей. Для этого вентилятора было  $n = 2900 \text{ мин}^{-1}$  ( $n/60 = 48,3 \text{ Гц}$ ) и  $z = 13$  ( $nz/60 = 628 \text{ Гц}$ ). В спектре хорошо выделяются оборотный пик (полоса 50 Гц) и пик на лопаточной частоте (полоса 630 Гц). Высокочастотная часть спектра снижается при уменьшении производительности. Пик на лопаточной частоте пропадает на режиме малой производительности из-за хаотического течения в рабочем колесе. На частотах ниже лопаточной видно, что режимы средних производительностей характеризуются меньшими уровнями шума. Из рассмотрения суммарных уровней шума (в линейной шкале и в шкале «А») видно, что шум на лопаточной частоте является определяющим и, если пик превышает уровни в остальных полосах на 10 дБ или более, то всем остальным, грубо говоря, можно пренебречь при оценке суммарного уровня. Суммарный уровень снижается со снижением производительности. Конечно, можно сказать, что в области низких частот, ниже 100–150 Гц результаты могут быть не очень достоверны по уровню,



■ Рис. 3.  $1/3$ -октавный спектр звуковой мощности на входе образца канального вентилятора (1 — спектр при максимальной производительности; 2 — спектр при средней производительности (вблизи максимума КПД); 3 — спектр при минимальной производительности (вблизи заглошки); «Сумм» — суммарный уровень звуковой мощности; «А» — суммарный уровень звуковой мощности с коррекцией по шкале «А»)

но они вполне позволяют производить сравнение между полученными для разных режимов спектрами, поскольку условия измерений в ходе эксперимента не менялись.

Встречаются случаи, когда производители приводят в каталогах уровни звуковой мощности, например, на входе вентилятора в октавных полосах частот и суммарный уровень звуковой мощности на входе с коррекцией по шкале «А». Для получения же уровней шума на выходе вентилятора пользователю предлагается добавить (или отнять) к этим результатам, например, 3 дБ. Это достаточно волевое решение, имеющее малое отношение к действительности и требующее практической проверки или подтверждения каким-либо другим способом.

При рассмотрении корпусного шума вентиляторов, иногда приводят уровни звуковой мощности, излучаемой через стенки корпуса вентилятора (в октавных полосах частот и суммарный уровень с коррекцией по шкале «А»). В других случаях приводят уровни звукового давления. Если приведены уровни звукового давления, обязательно должно быть указано, на каком расстоянии и от какого места корпуса вентилятора, при каких размерах и в каком месте помещения проводились испытания и его акустические свойства. Если данная информация отсутствует и по вашему запросу вам не готовы ее предоставить, то нужно задуматься о достоверности предлагаемой вам информации.

В заключение можно подчеркнуть, что выбор вентиляторного оборудования по шуму требует определенного уровня знаний, понимания конкретных условий применения и умения разобратся в приводимой в каталогах информации по шуму вентиляторного оборудования, поскольку, в большинстве случаев, выбор производится именно на основании каталогов. □

1. Борьба с шумом на производстве: Справочник. Юдин Е.Я., Борисов Л.А., Горенштейн И.В. и др.; Под общ. ред. Юдина Е.Я. — М.: «Машиностроение», 1985.
2. Центробежные вентиляторы. Под ред. Соломаховой Т.С. М.: «Машиностроение», 1975.
3. Брусиловский И.В. Аэродинамика и акустика осевых вентиляторов. Труды ЦАГИ, Выпуск 2650, ОНТИ ЦАГИ, М.: 2004.
4. ГОСТ 23941-2002. Шум машин. Методы определения шумовых характеристик. Общие требования.
5. Караджи В.Г., Московко Ю.Г. О спектрах шума вентилятора. «Инженерные системы», СПб., Северо-западный АВОК, №2/2006.