



# О СПЕКТРАХ ШУМА ВЕНТИЛЯТОРА

*В.Г. Караджи, к.т.н., начальник НТЦ ООО «Инновент»  
Ю.Г. Московко, начальник НИО ООО «Инновент»*

Вентилятор, как потенциальный источник шума, изучается уже много десятков лет как в нашей стране, так и за рубежом. Последние несколько лет наиболее активно на эту тему публикуются статьи НИИСФ, например, [1,2,3]. Аэродинамический шум, вызванный аэродинамическим взаимодействием вращающихся и неподвижных элементов конструкции (например, лопаток рабочего колеса с элементами конструкции корпуса вентилятора), имеет периодический характер. Аэродинамический шум, вызванный турбулентностью и отрывными явлениями, носит, как правило, случайный характер. Механический шум может быть связан с работой подшипников электродвигателей, подшипниковых узлов. Кроме того, могут быть вибрации рабочего колеса, связанные с недостаточной его балансировкой, или вибрации шкиво-ременных передач, обусловленные колебаниями упругой рамной конструкции под воздействием колебаний ремней. Они приводят к распространению вибраций по конструкции вентилятора и системе воздуховодов и тем самым генерируют низкочастотный шум.

Работающий вентилятор является источником шума, и этот шум пропорционален аэродинамическим параметрам вентилятора: чем больше производительность вентилятора и развиваемое им давление, тем больше генерируемый шум. Или, в других терминах, чем больше диаметр рабочего колеса и выше частота вращения, тем выше уровни излучаемого шума [4,5]. Кроме того, шум вентилятора зависит от положения рабочей точки на аэродинамической характеристике вентилятора. Для того, чтобы бороться с шумом вентилятора, надо, во-первых, иметь средства наглядного отображения аэродинамических и акустических процессов в вентиляторе. Во-вторых, надо уметь изучать, описывать эти процессы и выявлять их причины. С этой целью, например, используются узкополосные частотные спектры, в частности, шума. Для примера, на рис. 1...3 приведены узкополосные частотные спектры шума на выходе радиального вентилятора для трех различных по производительности точек на рабочей характеристике вентилятора – максимальная производительность, минимальная производительность и точка вблизи максимума к.п.д. – средняя производительность.

На рис. 1 показан пример узкополосного спектра шума на выходе вентилятора со спиральным корпусом при максимальной производительности. Это достаточно типичная картинка. Частота вращения рабочего колеса  $n$  (об./мин.),  $z$  – количество лопаток рабочего колеса; соответственно, на рисунке  $n/60$  – частота вращения (Гц),  $k*n/60$  – гармоники частоты вращения колеса ( $k=2, \dots$ );  $z*n/60$  – лопаточная частота,  $k*z*n/60$  – гармоники лопаточной частоты ( $k=2, \dots$ ). Из рисунка видно, что в области низких частот преобладают составляющие шума на частоте вращения рабочего колеса  $n/60$  и её гармониках  $k*n/60$ . Это может быть связано, во-первых, с остаточным дисбалансом

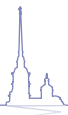
рабочего колеса. Во-вторых, с окружной неравномерностью течения в спиральном корпусе вентилятора. На средних частотах отчетливо видны дискретные составляющие на лопаточной частоте  $z*n/60$  и её гармониках  $k*z*n/60$ . Они связаны с лопаточной периодичностью течения в вентиляторе и структурой течения в межлопаточных каналах колеса. Кроме того, в спектре отчетливо видны составляющие на комбинационных частотах типа  $k*z*n/60 + k*n/60$ , например, в спектре видны составляющие  $2*z*n/60 - n/60$  и  $2*z*n/60 - 2*n/60$ . Они связаны с взаимодействием лопаточной и окружной неравномерностей течения в вентиляторе. В более высокочастотной части спектра основную роль играет широкополосный случайный шум, связанный с турбулентностью течения воздуха в вентиляторе.

На рис. 2 тот же спектр (показан красным цветом в фоновом режиме) приведен в сравнении со спектром шума того же вентилятора в тех же условиях на режиме средней производительности вблизи максимума к.п.д. (показан черным цветом). Из рисунка видно, что при приближении по характеристике вентилятора к режимам максимума к.п.д. (в средней части характеристики) течение в вентиляторе улучшается: снижаются уровни широкополосного шума и шума на лопаточной частоте  $z*n/60$  и некоторых её гармониках, на оборотной частоте и её гармониках  $k*n/60$ .

На рис. 3 тот же спектр приведен (показан красным цветом в фоновом режиме) в сравнении со спектром шума того же вентилятора в тех же условиях на режиме малой производительности (показан черным цветом). Из рисунка видно, что, на режимах малой производительности, дискретные составляющие на оборотной и лопаточной частотах и их гармониках сильно ослабляются. Это связано с тем, что на таких режимах в вентиляторе преобладает отрывное течение в межлопаточных каналах ра-

бочего колеса, которое характеризуется интенсивной низкочастотной турбулентностью и, соответственно, случайным шумом (под случайным понимается хаотический во времени процесс, в котором равновероятны, в разумных пределах, все частотные составляющие). Кроме того, в данном конкретном случае работа вентилятора сопровождается сильным неприятным низкочастотным гудящим шумом, который в спектре присутствует в виде пика на низкой частоте около 35 Гц. Этот шум обусловлен акустическим возбуждением системы «вентилятор + воздуховод», причиной которого является низкочастотная турбулентность в вентиляторе на этом режиме.

Рассмотренные узкополосные спектры шума вентилятора очень полезны при анализе шума вентилятора, поиске аэродинамических источников шума и методов борьбы с ними. Однако при практическом применении вентиляторов такие спектры не используются, а используются октавные спектры шума (для вентиляторов – октавные спектры звуковой мощности). На рис. 4 приведен октавный спектр звукового давления на выходе вентилятора со спиральным корпусом (показан черным цветом, соответствует узкополосному спектру на рис. 1). При этом обычно принято приводить уровни шума вентиляторов 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 вентиляторных применений (особенно это относится к осевым вентиляторам) достаточно подавлять шум в полосах частот 1000...2000 Гц, чтобы снизить суммарный шум по шкале «А». Хотя фактически, коррекция по шка-



ле «А» это формальная математическая процедура, не приводящая к реальному снижению шума.

Что возможно сделать для снижения шума вентилятора? Конечно, есть надежный способ снижения шума – надо выключить вентилятор, но это не всегда возможно. Рассмотрим, что же реально можно сделать.

Во-первых, следует качественно выполнять динамическую балансировку рабочего колеса. Нет смысла говорить о снижении шума вентилятора при наличии дисбаланса рабочего колеса. Дисбаланс проявляется на частоте вращения колеса и её гармониках. Под его воздействием возможны резонансные возбуждения различных элементов конструкции вентилятора и системы воздухопроводов. Пример узкополосного частотного спектра шума на выходе вентилятора со спиральным корпусом с некачественной балансировкой приведен на рис. 5. Черным цветом на переднем плане показан спектр шума вполне нормально сбалансированного вентилятора. Красным цветом на заднем плане показан спектр шума недостаточно сбалансированного вентилятора. Из рисунка видно, что дисбаланс проявляется, в первую очередь, на частоте вращения  $n/60$ . Это обычно достаточно низкая частота. В данном случае она была равна 24 Гц. На этой частоте повышение уровня от дисбаланса может быть очень большим (разница показана на рисунке красными столбиками). Но кроме частоты вращения дисбаланс может проявляться в повышениях уровней и других частотных составляющих, что хорошо видно из сопоставления спектров. В данном случае произошло повышение уровней нескольких гармонических составляющих частоты вращения ( $3 \cdot n/60$  и  $5 \cdot n/60$ ). Даже на лопаточной частоте  $z \cdot n/60$  может достаточно отчетливо проявляться влияние дисбаланса (в данном случае разница составляет около 1,5 дБ).

Во-вторых, желательно проверить собственные частоты корпуса вентилятора на возможные совпадения с частотой вращения и её низшими гармониками, а также совпадения с лопаточной частотой вентилятора и её низшими гармониками. Например, простое включение вентилятора и измерения вибраций на его опорах и стенках при меняющейся частоте вращения рабочего колеса сразу покажут потенциальные проблемы резонансных возбуждений элементов конструкции. На основании полученной таким образом информации можно разработать мероприятия по устранению возможных резонансных возбуждений конструкции.

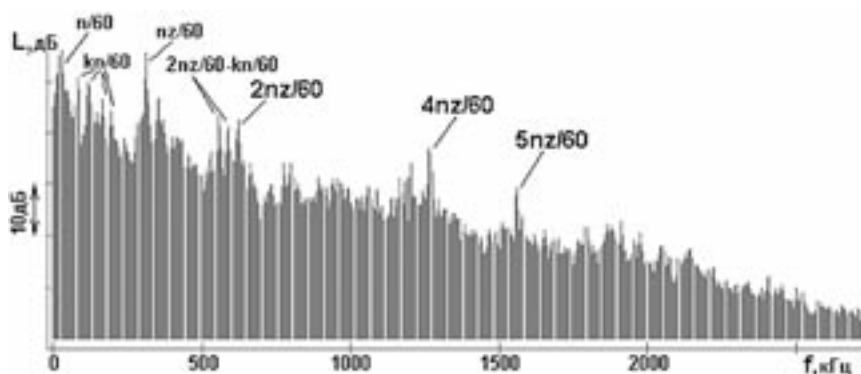


Рис. 1. Узкополосный спектр шума на выходе вентилятора со спиральным корпусом при максимальной производительности

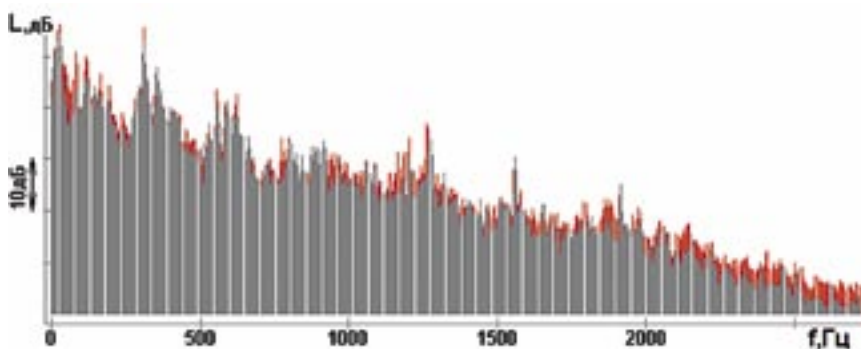


Рис. 2. Узкополосный спектр шума на выходе вентилятора со спиральным корпусом при средней производительности (показан черным цветом) в сравнении с соответствующим спектром при максимальной производительности (показан красным цветом)

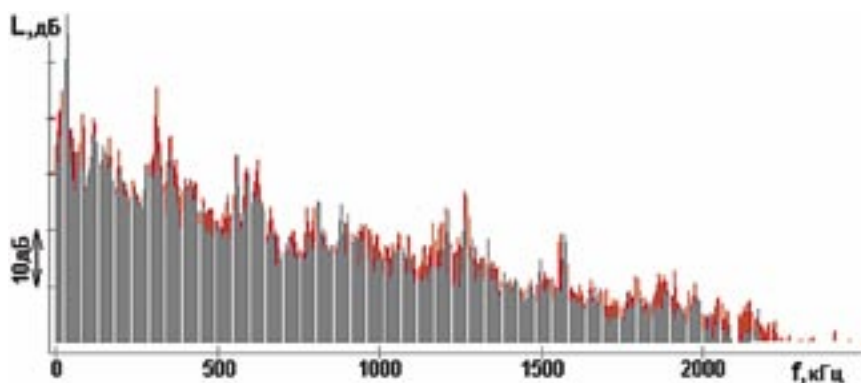


Рис. 3. Узкополосный спектр шума на выходе вентилятора со спиральным корпусом при малой производительности (показан черным цветом) в сравнении с соответствующим спектром при максимальной производительности (показан красным цветом)

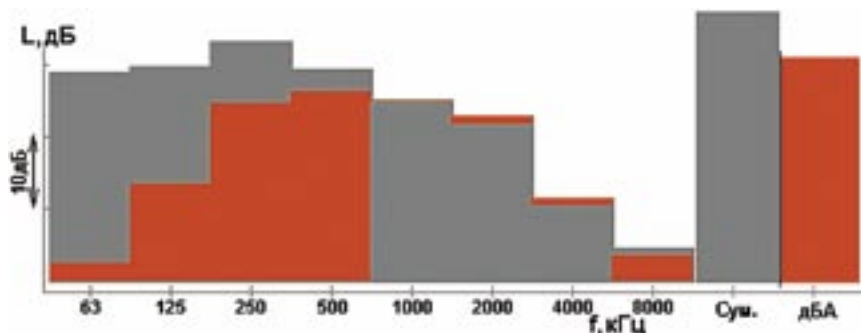


Рис. 4. Октавный спектр уровней звукового давления на выходе вентилятора со спиральным корпусом при максимальной производительности (показан черным цветом). Красным цветом показан тот же спектр, с учетом поправок по шкале «А» для каждой октавной частоты

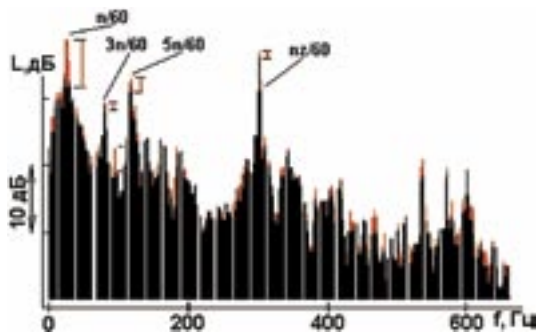


Рис. 5. Сравнение узкополосного спектра шума сбалансированного вентилятора (черный цвет) со спектром того же, но не сбалансированного вентилятора (красный цвет):  $n$  – частота вращения рабочего колеса (об./мин.)

Например, изменяя жесткость проблемного элемента или вводя необходимое вибропоглощение.

В-третьих, надо внимательно проанализировать аэродинамическую схему вентилятора и постараться понять, все ли в ней сделано правильно с точки зрения минимизации шума. Это может быть главный пункт, поскольку наиболее эффективно снижение шума в источнике. Но это же и наиболее сложная работа, поскольку она требует хорошего понимания принципов работы вентиляторов, их достоинств и недостатков в конкретных условиях.

Далее надо смотреть, какой шум надо снижать в первую очередь: шум всасывания, шум нагнетания или кор-

пусной шум. От этого существенно зависит набор необходимых мероприятий. Например, если надо снизить корпусной шум (вентилятор висит над головой), то надо оценить, возможно ли это вообще. Если возможно, то надо помещать вентилятор в звукопоглощающий корпус и присоединять непосредственно ко входу и выходу вентилятора глушители шума. Если надо снизить, в первую очередь, шум входа, то надо перед вентилятором ставить гибкую вставку и глушитель шума с необходимой эффективностью. Если надо снизить, в первую очередь, шум выхода, то надо после вентилятора ставить гибкую вставку и глушитель шума с необходимой эффективностью. При этом желательно также использо-

вать вентилятор в звукопоглощающем корпусе.

Каждая задача снижения шума вентилятора должна ставиться и решаться конкретно: надо четко представлять условия применения вентилятора и спектральные характеристики его шума. Если не известны свойства источника шума, то как можно с ним бороться? В соответствии со свойствами источника шума подбираются способы и устройства для его снижения.

### Литература

1. Гусев В.П. К вопросу об оценке характера шума вентоборудования. АВОК, №6, 2002.
2. Гусев В.П. Акустические требования и правила проектирования малозумных систем вентиляции. АВОК, №4, 2004, 32-38.
3. Гусев В.П. Средства снижения воздушного и структурного шума систем вентиляции, кондиционирования и холодоснабжения. АВОК, №4, 2005, 86-92.
4. Борьба с шумом на производстве: Справочник / Е.Я.Юдин, Л.А.Борисов, И.В.Горенштейн и др.; Под общ.ред. Е.Я.Юдина – М.: Машиностроение, 1985 – 400с.
5. Центробежные вентиляторы. Под ред. Т.С. Соломаховой. М., «Машиностроение», 1975, 416с.

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И ОТОПЛЕНИЯ

Воздухоприточные установки  
**АПК-ИННОВЕНТ**  
(центральные кондиционеры)

Канальные вентиляторы  
**УНИВЕНТ №№ 1,6...12,5**

Канальные вентиляторы  
**УНИВЕНТ-Е №№ 1,6...4**

Крышный осевой вентилятор  
**ВКО-2,5**

Малогабаритная приточная установка  
**МПК-1,6**

Крышные радиальные вентиляторы  
**ВКР-ИННОВЕНТ №№ 1,6...6,3**

Отопительные агрегаты  
**УНИТЕРМ**

Воздушно-тепловые завесы  
**ТЗК-ИННОВЕНТ**

- ВЕНТИЛЯТОРЫ РАДИАЛЬНЫЕ НИЗКОГО И СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ;
- ВЕНТИЛЯТОРЫ ДЫМОУДАЛЕНИЯ РАДИАЛЬНЫЕ, ОСЕВЫЕ, КРЫШНЫЕ;
- КЛАПАНЫ, ЗАСЛОНКИ, РЕШЕТКИ И ДРУГОЕ СЕТЕВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СИСТЕМ ОВК

WWW.INNOVENT.RU

(495)730-21-76

111394, Г. МОСКВА, УЛ. МАРТЕНОВСКАЯ, Д. 38