

СЕРИЯ ЩЕЛЕВЫХ ГЛУШИТЕЛЕЙ ШУМА

г. Тольятти, Тольяттинский государственный университет

Повышение производственной культуры предопределяет устойчивую необходимость защиты рабочих мест и селитебной территории от аэродинамического шума вентиляторов. Наиболее эффективными средствами борьбы с аэродинамическим шумом являются глушители.

Основными тенденциями в области разработки глушителей являются улучшение акустической характеристики, снижение аэродинамического сопротивления, уменьшение количества комплектующих элементов, продление срока службы, удобство обслуживания и ремонта.

Необходимые значения акустических и аэродинамических показателей глушителей шума вентиляционных систем известны. Спектр аэродинамического шума вентиляторов занимает широкую область частот, имеет сплошной с дискретными составляющими характер, зависит от типа и режима работы устройства. Требуемое снижение шума, распространяющегося по системам на рабочие места и селитебную территорию, в нормируемом диапазоне частот 31,5-8000 Гц составляет 4-30 дБ. Для глушителей необходимой акустической эффективности обязательны устойчивость характеристики в системах с аэродисперсными потоками; длина до 3 м, предупреждающая как передачу звука по конструкции, так и трудности размещения при габаритных ограничениях на магистральных участках. Потери давления, вносимые глушителем, не должны превышать 120 Па в системах общеобменной вентиляции, 300 Па – в аспирационных системах.

Известные абсорбционные, комбинированные и гибридные (объединяющие активные с пассивными абсорбционными) глушители обеспечивают требуемое снижение шума при допустимых аэродинамических показателях. Однако присутствие пыли, паров масла, продуктов сгорания ограничивает использование перечисленных устройств забиванием пор звукопоглощающего материала. Существующие решения по защите и очистке пор не всегда обеспечивают устойчивость характеристики глушителей. Для работы в аэродисперсных потоках более приемлемы реактивные глушители. В воздуховодах, характерный поперечный размер которых не превышает половины длины распространяющихся волн, широкополосное снижение шума обеспечивают устройства, составленные по фазовым характеристикам из расширительных камер или резонаторов Гельгольца. Большой характерный поперечный размер ограничивает использование камерных и резонансных отражателей многомодовым составом звукового поля. Поэтому опыт установки реактивных глушителей в воздуховодах, имеющих характерный поперечный размер более половины длины распространяющихся волн, невелик. Известны волноводные изоляторы щелевой конструкции, которые превращают нулевую моду в волну и обеспечивают ее затухание. Устройство выполняют как систему одинаковых равномерно расположенных однокоординатных резонаторов Гельгольца. Волноводные изоляторы прямоугольного поперечного сечения имеют более высокие акустические показатели, по сравнению с волноводными изоляторами круглого поперечного сечения. Однако они эффективны только в диапазоне двух октав – узком относительно нормируемого диапазона.

Анализ используемых конструкций позволил нам предположить, что, если обеспечить хотя бы по одной координате поперечного сечения реактивного глушителя условия распространения плоских волн и последовательного расположения различно настроенных отражателей, то удастся существенно ослабить ограничения в достижении широкополосной характеристики, обусловленные многомодовым составом звукового поля.

Конструктивно такой глушитель может быть реализован в виде совокупности параллельных щелевых каналов, один из размеров поперечного сечения которых не превышает четверти длины волн для наиболее высокой нормируемой частоты. По длине глушителя для этого размера щелевого канала возможно изменение, что приведет к образованию расширительных камер или резонаторов. Второй размер поперечного сечения щелевых каналов равен соответствующему размеру глушителя.

Для проверки предположения на аэроакустическом стенде исследованы модели новых щелевых конструкций масштаба 1:10:

- модель односекционного глушителя с горизонтальными щелевыми каналами;
- модель односекционного глушителя с вертикальными щелевыми каналами;

- модель двухсекционного глушителя с одинаковыми секциями;
- модель двухсекционного глушителя, содержащего секции с противоположно ориентированными щелевыми каналами.

Модель односекционного глушителя имеет стальной разборный корпус прямоугольной формы 100×150×273 мм. Внутри корпуса стальными ступенчатыми полосами образованы щелевые каналы: 13- в случае их горизонтального расположения; 10 – в случае вертикального расположения. Модель двухсекционного глушителя с одинаковыми секциями представляет собой последовательно расположенные глушители с горизонтальными щелевыми каналами. Между глушителями находится участок воздуховода. Модель глушителя, имеющего секции с противоположно ориентированными щелевыми каналами, объединяет глушитель с горизонтальными щелевыми каналами, участок воздуховода и глушитель с вертикальными щелевыми каналами. Вертикальные и горизонтальные каналы глушителей идентичны.

В экспериментах были выполнены требования геометрического подобия натуре и модели; подобия источников звука в натуре и модели; равенства критерия Гельмгольца, критерия Струхалея, числа Маха, безразмерного акустического импеданса, температуры, плотности среды для натуре и модели. Равенство числа Рейнольдса не поддерживалось, потому что исследования проведены при автомодельном течении.

Акустические характеристики получены сравнением разности уровней звукового давления в реверберационных камерах при снятой и размещенной на аэроакустическом стенде модели глушителя.

Аэродинамические характеристики определены при фиксированном расходе воздуха сравнением полного давления на входе и выходе модели глушителя.

Выполненный для исследований аэроакустический стенд состоит из двух реверберационных камер, присоединяемого через трубчатый глушитель вентилятора высокого давления с регулируемым числом оборотов двигателя, рупора на входе во вторую камеру, воздуховода, комплекса акустической и контрольно-измерительной аппаратуры. Съёмные участки воздуховода позволяют размещать на стенде одно- и двухсекционные глушители, конические элементы присоединения глушителей, бункер с дозатором пыли, пневматическую форсунку доувлажнения воздуха.

Перед началом исследований реверберационные камеры были аттестованы с учетом нормативных требований к определению шумовых характеристик. Результаты позволили считать возможности камер удовлетворительными в диапазоне частот от 500 до 20000 Гц, что соответствует диапазону от 50 до 2000 Гц для натурального эксперимента.

Согласно полученным акустическим характеристикам, щелевые глушители обеспечивают широкополосное снижение шума. Минимальная эффективность односекционного глушителя и двухсекционного глушителя, содержащего одинаковые секции, составляет 4 дБ; глушителя с секциями, имеющими противоположно ориентированные каналы – 8 дБ. Эксперименты показали, что влияние воздушного потока, движущегося со скоростью 18,5 м/с на акустические характеристики глушителей незначительно, и им можно пренебречь.

Согласно полученным аэродинамическим характеристикам, на величину потерь давления, вносимых щелевым глушителем, значительное влияние оказывает количество щелевых каналов. В односекционном глушителе уменьшение щелевых каналов с 13 до 10 ведет к снижению потерь давления на 36%. Присоединение второй секции увеличивает потери давления в 2 раза, если каналы ориентированы одинаково, и в 1,6 раза, если каналы ориентированы противоположно. Аэродинамические характеристики свидетельствуют о приемлемости конструкции, поскольку щелевые глушители, имеющие прямоугольное поперечное сечение, разделенное каналами параллельно его большей стороне, площадью в 1,5 раза больше площади поперечного сечения воздуховода, вносят такие же потери давления как и широко используемые пластинчатые глушители.

В разработанной нами математической модели щелевого глушителя рассмотрены: сам глушитель; прямоугольные каналы, соединяющие его с системой; источник и излучатель звуковых волн.

Глушитель представлен в виде щелевых каналов, связанных с соединительными каналами. Согласно электроакустической аналогии, он описан как четырехполюсник; щелевые каналы – как многомерные цепи четырехполюсников; связи – как идеальные преобразователи форм колебаний. Характеристика глушителя определяется «сшивкой» характеристик щелевых каналов, каждая из которых является произведением характеристик элементов канала – щелевых волноводов, резонаторов, внутренних участков сужения. Характеристики элементов учитывают существование по одной координате канала поперечных резонансных колебаний среды. Соединительные каналы представлены в виде многомодовых волноводов. Конические участки описаны как волноводы со ступенчато изменяющимся сечением, связанные через идеальные преобразователи форм колебаний.

Источник представлен матрицами амплитуд и внутренних коэффициентов отражения; излучатель – матрицей отражения. Состав матриц определяется условиями в конкретной системе. Эффективность щелевого глушителя определяется методом переноса источника.

Алгоритмическая модель щелевого глушителя построена инвариантной по отношению к размерам и конфигурации. Универсальность обеспечена использованием принципа модульности и автономности отдельных блоков в модулях, а также реализацией механизма управления связями с помощью обобщенной структурной матрицы.

Расчитанные акустические характеристики одно- и двухсекционного глушителей хорошо согласуются с экспериментальными, что свидетельствует об адекватности математической модели.

Анализ характеристик щелевого канала, составленного из последовательно чередующихся участков сужения и расширения позволил установить соотношение длин как для участков сужения, так и для участков расширения – $2^{-0.6}$. Оно обеспечивает минимальную эффективность 9 дБ в диапазоне частот 125-2000 Гц, длину глушителя до 3 м, предупреждение резонансного взаимодействия щелевых камер, однотипность смежных каналов.

Устройство, имеющее каналы указанной геометрии, принято базовым в серии щелевых глушителей, обеспечивающих эффективное снижение шума в различных вентиляционных системах.

Для использования в запыленных газовых потоках базовый щелевой глушитель нами рекомендовано дополнить каркасом, фильтрующим материалом, боковыми поворотными стенками или поворотным дном. Каркас снабжен уголками, к которым болтами с контргайками крепятся ступенчатые полосы (при необходимости предварительно обработанные поверхностно-активным веществом). Испытания на стенде подтвердили возможность обеспыливания глушителя при включенном вентиляторе.

Для работы в газовом потоке с примесью жидкости базовый глушитель рекомендовано дополнить наклонным дном с расположенным в нижней части гидрозатвором. Испытания подтвердили возможность удаления жидкости, выделяющейся из проходящего через глушитель потока.

Дополнение участков расширения базового глушителя внутренними участками сужения позволит использовать щелевые глушители в системах с жесткими аэродинамическими ограничениями. Размещение внутренних участков на расстоянии друг от друга, обеспечивающем постоянство поперечного сечения струй в щелевых каналах, на 25 % уменьшает аэродинамическое сопротивление глушителя без существенного изменения его акустической характеристики.

В системах без аэродинамических ограничений может быть использован двухсекционный глушитель, имеющий удвоенную, по сравнению с односекционным, акустическую эффективность.

При наличии жестких габаритных ограничений широкополосное снижение шума до 7,5 дБ обеспечит щелевая конструкция поворота воздуховода. Устройство включено нами в серию, поскольку его каналы образованы полосами ступенчатой формы.

Для систем с требуемым значительным снижением низкочастотного шума нами предложена вторая секция щелевого глушителя, составленная из резонаторов Гельгольца. Компактность двухсекционного глушителя обеспечена порядком размещения резонаторов – между двумя резонаторами, настроенными на наиболее низкие частоты.

В вентиляционных системах предложенные щелевые глушители имеют экономические преимущества, благодаря исключению из конструкции звукопоглощающего материала и минимизации количества комплектующих элементов; организационно-технические преимущества, связанные с повышением производительности монтажных и планово-предупредительных ремонтных работ; социальные преимущества, проявляющиеся в улучшении условий труда при монтаже глушителя.