**Министерство образования и науки Российской Федерации**

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего профессионального образования**

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

**Отчет о научно-исследовательской работе магистранта в семестре**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | | |
| Фамилия И.О. магистранта |  | Кобзарь Д.Д. | | | | |
| Тема магистерской диссертации |  | Улучшение акустических параметров вентиляционного канального глушителя с цилиндрической звукопоглощающей вставкой. | | | | |
| Факультет  Кафедра |  | О «Естественнонаучный»  О1 «Экология и безопасность жизнедеятельности» | | | | |
| Шифр и наименование направления |  | Техносферная безопасность 20.04.01 | | | | |
| Наименование магистерской программы |  | Инженерная защита окружающей среды | | | | |
| Руководитель магистерской программы |  | Иванов Н.И. | | | | |
| Научный руководитель магистранта |  | Олейников А.Ю. | | | | |
| Дата зачисления |  |  |  | Группа |  | О1М31 |

**Список сокращений:**

СНиП – Строительные нормы и правила;

CSA – Шумоглушители для круглых воздуховодов с цилиндрическим корпусом;

CSR – Шумоглушители для круглых воздуховодов **с** прямоугольным корпусом;

CSI – Шумоглушители для круглых воздуховодов с прямоугольным корпусоми дополнительной звукопоглощающей пластиной;

CSD – Шумоглушители для круглых воздуховодов с цилиндрическим корпусоми дополнительной звукопоглощающей пластиной;

RSA – Шумоглушители для прямоугольных воздуховодов с прямоугольным корпусоми дополнительными звукопоглощающими пластинами;

CSU – Угловые шумоглушители для круглых воздуховодов с цилиндрическим корпусом;

CSV – Угловые шумоглушители для круглых воздуховодов с прямоугольным корпусом присоединительные патрубки расположены перпендикулярно друг другу в вертикальной плоскости.

CSH – Угловые шумоглушители для круглых воздуховодов с прямоугольным корпусом присоединительные патрубки расположены перпендикулярно друг другу в горизонтальной плоскости.

# Введение

Шум систем вентиляции и кондиционирования в местах постоянного пребывания людей может превышать допустимый уровень. И это, в свою очередь, не позволяет человеку чувствовать себя комфортно в помещении, что напрочь перечёркивает предназначение систем вентиляции. Чтобы обеспечить комфортные условия микроклимата и в то же время не мешать работе или отдыху людей, необходимо обеспечить уровень шума вентиляции не больше рекомендованного.

Источниками шума являются вентиляторы, воздуховоды, клапаны и заслонки, т.е. почти всё вентиляционное оборудование.

Во избежание дополнительной генерации шума следует использовать элементы, приводящие к снижению шума: плавные повороты и их облицовка, установка шумоглушителей, плавные изменения сечения воздуховодов и т.д.

Цель данной выпускной квалификационной работы: разработать проект вентиляционного канального глушителя с цилиндрической центральной вставкой, который позволит увеличить эффективность шумоглушения за счет своей конструкции.

# Глава 1. Устройство шумоглушения в системах вентиляции.

## Системы вентиляции.

Вентиляцией называется совокупность мероприятий и устройств, используемых при организации воздухообмена для обеспечения заданного состояния воздушной среды в помещениях и на рабочих местах в соответствии со СНиП.

Системы вентиляции обеспечивают поддержание допустимых метеорологических параметров в помещениях различного назначения.

При всём многообразии систем вентиляции, обусловленном назначением помещений, характером технологического процесса, видом вредных выделений и т.п., их можно классифицировать по следующим характерным признакам:

1. **По способу создания давления для перемещения воздуха:** с естественным и искусственным (механическим) побуждением.
2. **По назначению:** приточные и вытяжные.
3. **По зоне обслуживания:** местные и общеобменные.
4. **По конструктивному исполнению:** канальные и бесканальные.

*Естественная вентиляция*

Перемещение воздуха в системах естественной вентиляции происходит:

* вследствие разности температур наружного (атмосферного) воздуха и воздуха в помещении, так называемой аэрации;
* вследствие разности давлений «воздушного столба» между нижним уровнем (обслуживаемым помещением) и верхним уровнем – вытяжным устройством (дефлектором), установленным на кровле здания;
* в результате воздействия так называемого ветрового давления.

Системы естественной вентиляции просты и не требуют сложного дорогостоящего оборудования и расхода электрической энергии. Однако зависимость эффективности этих схем от переменных факторов (температуры воздуха, направления и скорости ветра), а также небольшое располагаемое давление не позволяют решать с их помощью все сложные и многообразные задачи в области вентиляции.

*Механическая вентиляция*

В механических системах вентиляции используются оборудование и приборы (вентиляторы, электродвигатели, воздухонагреватели, пылеуловители, автоматика и др.), позволяющие перемещать воздух на значительные расстояния. Затраты электроэнергии на их работу могут быть довольно большими. Такие системы могут подавать и удалять воздух из локальных зон помещения в требуемом количестве, независимо от изменяющихся условий окружающей воздушной среды. При необходимости воздух подвергают различным видам обработки (очистке, нагреванию, увлажнению и т.д.), что практически невозможно в системах с естественным побуждением.

Следует отметить, что в практике часто предусматривают так называемую смешанную вентиляцию, т.е. одновременно естественную и механическую вентиляцию.

В каждом конкретном проекте определяется, какой тип вентиляции является наилучшим в санитарно-гигиеническом отношении, а так же экономически и технически более рациональным.

*Приточная вентиляция*

Приточные системы служат для подачи в вентилируемые помещения чистого воздуха взамен удалённого. Приточный воздух в необходимых случаях подвергается специальной обработке (очистке, нагреванию, увлажнению и т.д.)

*Вытяжная вентиляция*

Вытяжная вентиляция удаляет из помещения (цеха, корпуса) загрязнённый или нагретый отработанный воздух.

В общем случае в помещении предусматриваются как приточные, так и вытяжные системы. Их производительность должна быть сбалансирована с учётом возможности поступления воздуха в смежные помещения или из смежных помещений. В помещениях может быть также предусмотрена только вытяжная или только приточная система. В этом случае воздух поступает в данное помещение снаружи или из смежных помещений через специальные проёмы или удаляется из данного помещения наружу, или перетекает в смежные помещения.

Как приточная, так и вытяжная вентиляция может устраиваться на рабочем месте (местная) или для всего помещения (общеобменная).

*Местная вентиляция*

Местной вентиляцией называется такая, при которой воздух подают на определённые места (местная приточная вентиляция) и загрязнённый воздух удаляют только от мест образования вредных выделений (местная вытяжная вентиляция).

*Общеобменные системы вентиляции* – как приточные, так и вытяжные, предназначены для осуществления вентиляции в помещении в целом или в значительной его части.

Общеобменные вытяжные системы относительно равномерно удаляют воздух из всего обслуживаемого помещения, а общеобменные приточные системы подают воздух и распределяют его по всему объёму вентилируемого помещения.

*Общеобменная приточная вентиляция*

Общеобменная приточная вентиляция устраивается для ассимиляции избыточного тепла и влаги, разбавления вредных концентрация паров и газов, не удалённых местной и общеобменной вытяжной вентиляцией, а также для обеспечения расчётных санитарно-гигиенических норм и свободного дыхания человека в рабочей зоне.

При отрицательном тепловом балансе, т.е. при недостатке тепла, общеобменную приточную вентиляцию устраивают с механическим побуждением и с подогревом всего объёма приточного воздуха. Как правило, перед подачей воздух очищают от пыли.

При поступлении вредных выделений в воздух цеха количество приточного воздуха должно полностью компенсировать общеобменную и местную вытяжную вентиляцию.

*Общеобменная вытяжная вентиляция*

Простейшим типом общеобенной вытяжной вентиляции является отдельный вентилятор (обычного осевого типа) с электродвигателем на одной оси (рис.1), расположенный в окне или в отверстии стены. Такая установка удаляет воздух из ближайшей к вентилятору зоны помещения, осуществляя лишь общий воздухообмен.

В некоторых случаях установка имеет протяжённый вытяжной воздуховод. Если длина вытяжного воздуховода превышает 30-40 м и, соответственно, потери давления в сети составляют более 30-40 кг/м2, то вместо осевого вентилятора устанавливается вентилятор центробежного типа.

Когда вредными выделениями в цехе являются тяжёлые газы или пыль и нет тепловыделений от оборудования, вытяжные воздуховоды прокладывают по полу цеха или выполняют в виде подпольных каналов.

В промышленных зданиях, где имеются разнородные вредные выделения (теплота, влага, газы, пары, пыль и т.п.) и их поступление в помещение происходит в различных условиях (сосредоточенно, рассредоточенно, на различных уровнях и т.п.), часто невозможно обойтись без какой-либо одной системой, например, местной или общеобменной.

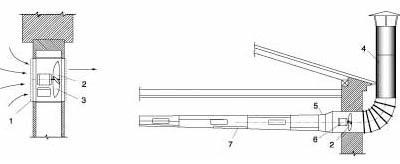


Рис.1 – Простейшие схемы вытяжной вентиляции:

1 **-** утеплённый клапан; 2 **–** вентилятор; 3 – лопасти вентилятора;

4 – вытяжная шахта; 5 – шибер; 6 – электродвигатель; 7 – вытяжная сеть.

В таких помещениях для удаления вредных выделений, которые не могут быть локализованы и поступают в воздух помещения, применяют общеобменные вытяжные системы.

*Канальная и бесканальная вентиляция*

Системы вентиляции имеют либо разветвлённую сеть воздуховодов для перемещения воздуха (канальные системы), либо каналы (воздуховоды) могут отсутствовать, например, при установке вентиляторов в стене, в перекрытии, при естественной вентиляции и т.д. (бесканальные системы).

Таким образом, любая система вентиляции может быть охарактеризована по указанным выше четырём признакам: по назначению, зоне обслуживания, способу перемещения воздуха и конструктивному исполнению.

## Шумоглушители систем вентиляции и кондиционирования.

Методика расчёта вентиляционных шумов в настоящее время достаточно хорошо разработана. Для каждого конкретного объекта с учётом числа рабочих мест и тепло-, влаго-, пыле- и газовыделений определяют требуемый воздухообмен. На основе этих данных находят параметры вентиляционной системы, типоразмер, давление, частоту вращения рабочего колеса вентилятора. После этого с учётом конкретной конфигурации системы выбирают глушители шума, обеспечивающие снижение шума вентсистем до требуемого уровня. Обычно требуется минимально две группы глушителей: **магистральные** – на нагнетательных, а иногда и на всасывающих патрубках вентиляторов и **секционные** (местные) – перед входом воздуха в помещение, совмещаемые с воздухораспределителями.

Расчёты по методикам хотя и весьма громоздки, но позволяют достаточно точно определить требования к типу и конструкции глушителей, обеспечивающих требуемое снижение шума. Весьма важно, что при производстве работ не проводились произвольные изменения параметров системы.

Допустимую скорость воздуха в глушителе как в элементе системы вентиляции следует выбирать в зависимости от возможных потерь давления и допустимого уровня звуковой мощности, генерируемой в воздуховод. Когда глушитель устанавливают на конечном участке воздуховода (перед входом в помещение), то ограничение скорости воздуха может быть связано с допустимыми уровнями звукового давления в обслуживаемых системами помещениях. Для помещений жилых, общественных, административных и производственных зданий эту связь демонстрирует такой факт, что при обслуживании, например, зала музыкального театра скорость в концевом глушителе не должна превышать 4м/с, а офиса – 6м/с. В свободном сечение центральных глушителей вентиляционных установок скорость должна быть не более некоторой, например 10-15 м/с, чтобы избежать эрозии из них звукопоглощающего материала.

Нормы проектирования СНиП 23-03-2003 рекомендуют:

*«11.5. В качестве глушителей шума систем вентиляции могут применяться трубчатые, пластинчатые, цилиндрические и камерные, а также облицованные изнутри звукопоглощающими материалами воздуховоды и их повороты.*

*Конструкцию глушителя следует подбирать в зависимости от размера воздуховода, требуемого снижения шума, допустимой скорости воздуха на основании расчёта по соответствующему своду правил».*

По принципу действия глушители принято разделять на **диссипативные** (абсорбционные) и реактивные. В диссипативных глушителях снижение шума достигается за счет потерь акустической энергии на трение в звукопоглощающих материалах (волокнистых или пористых поглотителях, сетках, перфорированных листах и т.п.), расположенных на пути распространения звука. В реактивных глушителях снижение шума обеспечивается за счёт отражение части звуковой энергии обпатно к источнику. Звуковые волны, попадя в полость реактивного глушителя, возбуждают в нём собственные колебания, поэтому в одних частотных областях происходит ослабление звука, в других – усиление.

Наряду с этим применяются также и **комбинированные глушители, содержащие в себе как реактивные, так и диссипативные элементы.** Строго говоря, любой глушитель является комбинированным, так как диссипативные элементы глушителей частично отражают волны, а в реактивных энергия колебаний после отражений переходит в тепловую.

**При конструировании глушителей желательно достичь трёх основных целей:**

* **высокой степени заглушения (акустической эффективности)** , дБ, в широком диапазоне частот;
* **малых потерь давления (сопротивления)** , Па при прохождении воздуха по аэродинамическому тракту, снабжённому глушителем;
* **конструктивной и, следовательно, технологической простоты и малой занимаемой площади и объёма.**

На практике обычно выполняется следующее правило конструирования глушителей – **«из трёх основных целей можно достичь только двух».** Конструктивно простой глушитель с высокой акустической эффективностью обычно обладает большим сопротивлением. Глушитель должен оказывать минимальное сопротивление постоянной составляющей и максимальное переменным составляющим пульсирующего воздушного потока.

Остановимся поподробнее на классификации диссипативных глушителей шума.

В рассмотренных глушителях в качестве облицовок используются волокнистые материалы (базальтовое и стекловолокно), потому что они обладают наилучшими звукопоглощающими свойствами. Глушители данного вида получили широкое распространение в системах вентиляции, так как имеют широкополосную характеристику шумоглушения, а современные вентиляторы излучают шум в достаточно широкой полосе частот. При выборе глушителя следует ориентироваться на конструкцию, обеспечивающую не максимально возможную, а необходимую для конкретных условий эффективность шумоглушения. При этом следует обращать внимание не только на характеристики акустической эффективности глушителя, но и на иные параметры, которые оказывают влияние на проектирование всей вентиляционной сети, такие, как величина аэродинамического сопротивления, генерация потокового шума, габариты и т.д. Если глушитель установлен непосредственно перед вентилятором или сразу за ним, то необходимо учитывать структурный шум, возбуждаемый вентилятором в корпусе глушителя. Сильный структурный шум в корпусе глушителя может вызвать излучение звука в канал. При этом характеристики эффективности глушителя будут ограничены побочной передачей звука.

Поскольку вид требуемой частотной характеристики заглушения редко совпадает с характеристикой затухания конкретного глушителя для какого-либо одного геометрического размера канала, то в этих случаях целесообразно использовать секционный принцип построения глушителей, то есть использовать несколько глушителей, имеющих разные частотные характеристики затухания. Также при установке подряд нескольких глушителей следует помнить, что расстояние между ними должно быть не менее 4-5 калибров.

*Канальные глушители*

Канальный глушитель представляет собой прямую трубу со звукопоглощающей облицовкой круглого поперечного сечения без каких-либо соединений. Звукопоглощающий элемент представляет собой один или несколько слоев звукопоглощающего материала и звукопроницаемого покрытия (нетканый материал и перфорированный экран). Затухание в глушителе зависит от длины активной части, периметра проходного сечения, равного периметру воздуховода, толщины слоя звукопоглощающего материала (ЗПМ) и коэффициента звукопоглощения ЗПМ, зависящего от его физико-механических свойств. У канальных глушителей эффективность на средних и высоких частотах снижается с увеличением площади поперечного сечения. Поэтому не рекомендуется применение таких глушителей при диаметре канала более 400 или 500 мм.



Рис.2 – Канальные глушители шума CSA и CSR.

Глушители CSA и CSR характеризуются очень малым (практически нулевым) аэродинамическим сопротивлением и отсутствием генерации собственного шума (потоковый шум). Глушители CSA имеют цилиндрическую форму наружного корпуса, а глушители CSR – прямоугольную. Глушители CSR с диаметром входного патрубка до 200 мм имеют более высокие значения эффективности по сравнению с глушителями CSA во всем нормируемом диапазоне частот. Глушители CSR имеют меньшие размеры по высоте по сравнению с глушителями CSA, что может иметь значение при монтаже в случае ограниченных размеров подшивного пространства. Глушители CSA и CSR небольших диаметров рекомендуется устанавливать на конечных участках воздуховодов при подаче воздуха в «тихие» помещения, то есть в помещения с жесткими нормативными требованиями по шуму (при этом, разумеется, следует уделить внимание и выбору малошумного воздухораспределительного устройства). Глушители CSA и CSR больших диаметров могут устанавливаться непосредственно сразу за вентилятором или на других участках вентиляционной сети, когда нет необходимости в большой величине шумоглушения, но в то же время существуют определенные ограничения, связанные с величиной аэродинамического сопротивления.

*Пластинчатые глушители шума*

Пластинчатый глушитель представляет собой набор параллельных щитов из звукопоглощающего материала, разбивающих воздуховод на ряд параллельных каналов. Боковые стенки щитов покрыты защитным материалом (кашированы), прозрачным для звуковых волн. Это сделано для предупреждения выдувания звукопоглощающего материала воздушным потоком. Толщина пластин и расстояние между ними одинаково по всему сечению канала. Исключение составляет расстояние между крайними пластинами и корпусом глушителя, которое равно половине расстояния между другими пластинами. В некоторых случаях используют схему глушителя с расположением крайних пластин вплотную к стенкам корпуса, но при этом толщина пластин должна быть равной половине толщины других пластин. Такие условия на геометрические размеры пластинчатого глушителя накладываются исходя из требования обеспечения одинаковой эффективности снижения шума в каждом канале глушителя. Эффективность пластинчатого глушителя зависит от акустических характеристик звукопоглощающего материала, длины и толщины слоя звукопоглощающего материала, расстояния между поглощающими поверхностями. В то же время она практически не зависит от количества пластин (каналов для воздуха), а также от высоты пластин и от схемы компоновки глушителя. Не рекомендуется устанавливать пластинчатые глушители сразу за изменениями сечения или поворотами канала. Глушители RSA имеют достаточно широкополосную характеристику затухания с максимумом шумопоглощения в области средних и высоких частот. Что важно, их эффективность, в отличие от канальных глушителей (CSA и CSR), не зависит от площади входного патрубка глушителя, поэтому их применение в воздуховодах с большой площадью поперечного сечения дает больший эффект шумоглушения в средне и высокочастотной области, по сравнению с обычными канальными глушителями. В то же время следует учитывать, что глушители RSA имеют коэффициент живого сечения равный 0,5 и, при высоких скоростях воздушного потока могут создавать значительное аэродинамическое сопротивление. Работа глушителей RSA также сопровождается генерацией потокового (собственного) шума, уровень которого зависит от скорости воздушного потока в воздуховоде. Для снижения аэродинамического сопротивления глушителя и, соответственно, генерации потокового шума, на торцах звукопоглощающих пластин, на входе и выходе из глушителя установлены обтекатели. При наличии высокой скорости воздуха в воздуховоде рекомендуется использовать глушитель большего, чем воздуховод, типоразмера.



Рис.3 – Пластинчатые глушители RSA.

*Глушители с центральной звукопоглощающей вставкой*

Канальные глушители шума (CSI и CSD) с центральной плоской звукопоглощающей вставкой применяются для снижения шума распространяющегося по вентиляционной сети в тех случаях, когда требуется повышенная эффективность шумоглушения по сравнению с обычными канальными глушителями (типа CSR или CSA). Дополнительное снижение шума во всем нормируемом диапазоне частот обеспечивается за счет увеличения поверхности звукопоглощающего материала. Наибольший дополнительный эффект наблюдается в области высоких частот. Глушители CSI и CSD отличаются повышенным аэродинамическим сопротивлением по сравнению с глушителями CSR или CSA и, соответственно, возможной генерацией потокового шума. Для снижения аэродинамического сопротивления на торцах вставки установлены обтекатели в виде цилиндрического сегмента. Глушители с центральной вставкой рекомендуются для установки в воздуховоды больших диаметров, когда требуется более высокая эффективность шумоглушения, особенно в области средних и высоких частот, чем та, которую могут обеспечить обычные канальные глушители (CSA и CSR).



Рис.4 – глушитель с цилиндрической центральной звукопоглощающей вставкой CSI и CSD.

*Угловые глушители шума*

Канальные глушители (CSU, CSV и CSH) с поворотом воздушного потока на 90° устанавливаются в местах поворота вентиляционного канала на 90° в горизонтальной или вертикальной плоскости, обеспечивая за счет облицовки поворота звукопоглощающим материалом увеличение эффективности шумоглушения в области высоких частот по сравнению с обычным канальным глушителем (типа CSR или CSA).



Рис.5 – Угловые глушители CSU.

Затухание вследствие изгиба канала вызывается отражением части звуковой энергии в ту часть канала, которая находится перед изгибом, а также дополнительным звукопоглощением в результате падения звука на облицованную стенку в месте изгиба канала. На низких частотах, когда диаметр поперечного сечения мал по сравнению с длиной волны звука, изгибы в канале не влияют на ослабление звука. Затухание на изгибе значительно, прежде всего, на очень высоких частотах. Поскольку эффективность звукопоглощающей облицовки прямых участков канала на этих частотах, как правило, снижается, использование угловых глушителей является подчас самым простым и достаточно эффективным средством ослабления высокочастотных составляющих шума.

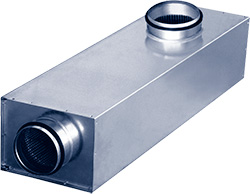


Рис. 6 – Угловые глушители шума CSV и CSH.

Глушители CSV и CSH имеют несколько большую величину аэродинамического сопротивления и уровень собственного (потокового) шума по сравнению с глушителями CSU. Поэтому, если имеется такая возможность, то глушители CSV и CSH рекомендуется устанавливать в воздуховод таким образом, чтобы активная часть глушителя располагалась после поворота канала, с целью компенсации этого шума. Глушители CSV и CSH имеют постоянную длину активной части на всех типоразмерах, у глушителей CSU длина активной части зависит от диаметра входного патрубка. Соответственно, при малых диаметрах входного патрубка глушители CSV и CSH характеризуются более высокими значениями эффективности, особенно в области высоких частот.

## Аналитический обзор шумоглушителей с цилиндрической центральной вставкой.

Канальные глушители с различной формой поперечного сечения канала широко используются в системах вентиляции и кондиционирования воздуха для снижения аэродинамического шума. Для качественной оценки эффективности (ΔL) таких глушителей может быть использовано отношение Пейнинга:

ΔL ~ ά (1)

где u – длина периметра канала, облицованного изнутри звукопоглощающим материалом, м;

s – площадь поперечного сечения канала, м2;

– длина шумоглушителя, м;

ά – коэффициент поглощения звукопоглощающего материала.

Чем больше отношение площади поверхности поглотителя «ul» (l - длина канала) к площади поперечного сечения канала «s» и выше коэффициент поглощения облицовки глушителя «ά», тем выше эффективность диссипативного глушителя.

Следует учитывать, что формула (1) справедлива не для всего частотного диапазона. Когда ширина канала становится значительно меньше половины длины волны (то есть при каналах малого диаметра на низких частотах), то пропорциональность, следующая из (1) нарушается. Выражение (1) также неприменимо на высоких частотах (при относительно большом поперечном сечении канала) вследствие наличия «лучевого эффекта». На высоких частотах длина волн много меньше поперечных размеров глушителя и концентрированный пучек звуковых волн проходит в центре глушителя без поглощения на более или менее длительном расстоянии («лучевой эффект»), причем влияние лучевого эффекта тем больше, чем выше коэффициент поглощения облицовки. Высокие значения коэффициента звукопоглощения, возможны при условии, что толщина звукопоглощающей облицовки составляет не менее одной восьмой длины звуковой волны. То есть для снижения низкочастотного звука требуется достаточно толстый слой звукопоглотителя. Зарубежные производители (например, фирма «Lindab») в зависимости от предъявляемых требований к эффективности глушителя предлагают глушители (при прочих равных условиях) с различной толщиной (50 мм, 100 мм и 150 мм) и типом (синтетическое или минеральное волокно) звукопоглощающего материала.

Как это следует из выражения (1) и отмечено на практике, у канальных глушителей эффективность падает с увеличением площади поперечного сечения. Поэтому в методической литературе не рекомендуется применение таких глушителей при диаметре канала более 400 или 500 мм. В этих случаях рекомендуется применение пластинчатых глушителей. Другим вариантом решения задачи снижения шума в каналах с большой площадью поперечного сечения является использование канальных глушителей с центральной звукопоглощающей вставкой, которые в последнее время находят все большее применение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. И хотя глушители с центральной вставкой также отличаются достаточно высоким аэродинамическим сопротивлением, установка на торцах вставки обтекателя в виде сферического или цилиндрического сегмента, обеспечивает более постепенное изменение скорости воздушного потока, по сравнению с изменением скорости при резком изменении поперечного сечения и, соответственно, уменьшает величину аэродинамического сопротивления.

Следует отметить, что глушители с центральной цилиндрической вставкой используются достаточно давно (с 50-60 г.г. прошлого века) как в отечественной промышленности, так и за рубежом. Правда, что касается отечественной практики использования таких глушителей, то она имеет достаточно специфический характер. Такие глушители использовались для глушения шума выхлопа различных газодинамических установок, и в частности турбореактивных двигателей, что обуславливало специфику выбора звукопоглощающего материала (керамзит, фракция 3-6 мм), высокую скорость газовоздушной смеси (до 40 м/с) и достаточно большие габариты самих глушителей (внутренний диаметр до 7,5 м и длина более 10 м). И, как правило, в наличии имелась не одна, а несколько цилиндрических вставок.

В настоящее время из известных европейских фирм глушители с плоской вставкой выпускают: Lindab, Flakt Woods, Systemair, F2A, Alnor, Airmatic, Арктика Групп и Арктос, а глушители с цилиндрической вставкой: Lindab, F2A, Systemair, Trox, Price и Hidria. Помимо европейских фирм глушители с цилиндрической вставкой выпускают также Caryaire Equipments (Индия), Barclay Engineering (Австралия), Luft Industries Natal (Южная Африка), [Fantech](http://www.fantech.com.au/Content.aspx?ContentID=A1&About%20Fantech) (Австралия), Rosenberg (Сингапур), Air Master Equipments (Эмираты).

Основной сравнительный анализ глушителей с различным типом звукопоглощающей вставки проведем на основании изделий, выпускаемых фирмой Lindab. Фирма имеет прекрасный стенд для испытаний глушителей, испытания проводит в соответствии со стандартом ISO 7235, и результаты акустических испытаний, проводимых этой фирмой, всегда вызывали большое доверие. Сравнительный анализ изделий фирмы Systemair, к сожалению, можно провести на примере только одного типоразмера глушителя, так как все выпускаемые фирмой глушители с плоской вставкой (LDC-B) имеют фиксированную длину – 1200мм, а длина глушителей с цилиндрической вставкой пропорциональна диаметру подводящего патрубка (1 или 2 калибра). Кстати такой подход к выбору длины глушителя с цилиндрической вставкой в зависимости от диаметра подводящего патрубка (1, 1,5 и 2 калибра) характерен и для большинства других производителей. Фирма Lindab выпускает три марки глушителей с цилиндрической вставкой: PVDP, PVAP и SLGPU.



Рис.7 - PVDP 100 и SLGPU 100.

В глушителях PVAP и SLGPU в качестве звукопоглотителя используется минеральная шерсть (по видимому, базальтовое волокно), в глушителе PVDP синтетическое волокно «Acutec». У глушителей PVDP и PVAP гладкий цилиндрический наружный корпус, у глушителя SLGPU – ребристый. Толщина слоя материала по окружности у глушителя SLGPU – 100 мм, у глушителей PVDP и PVAP - 50 мм, 100 мм и 150 мм. Глушители PVAP и SLGPU имеют одинаковые характеристики акустической эффективности. У глушителей PVDP эффективность, естественно, несколько ниже. Все три марки глушителей имеют одинаковое аэродинамическое сопротивление, которое при одном и том же диаметре глушителя очень незначительно зависит от его длины. Глушители PVDP и PVAP выпускаются с внутренним диаметром от 250 мм до 1600 мм и длиной от 600 мм до 3200 мм. Глушитель одного диаметра выпускается в 3-6 вариантах длины. (Максимальное количество типоразмеров выпускается с толщиной облицовки 100 мм). Глушитель SLGPU выпускается с внутренним диаметром от 315 мм до 1250 мм и имеет меньше (от 2 до 4) вариантов по длине. К сожалению, ничего неизвестно об одном из основных параметров таких глушителей – диаметре цилиндрической вставки и, соответственно, Кж.с. глушителя, и как этот параметр зависит от типоразмера глушителя.

Глушители с плоской звукопоглощающей вставкой фирма Lindab выпускает в четырех модификациях: SLBU, SLCBU, SLBGU и LRBCB. У всех глушителей звукопоглощающая вставка имеет толщину 100 мм. Глушитель LRBCB имеет прямоугольную форму наружного корпуса, глушители SLBU, SLCBU и SLBGU цилиндрическую ребристую форму. (Вообще, судя по каталогу, глушители SLBU, SLCBU и SLBGU внешне никак не отличаются.) У глушителей SLBU, SLCBU и SLBGU толщина наружного слоя звукопоглотителя составляет 100 мм. У глушителя LRBCB она зависит от типоразмера и изменяется от 30 до 40 мм по горизонтальным стенкам, и от 70 до 100 мм по вертикальным стенкам корпуса. Марка и тип звукопоглощающего материала не приводятся. Но судя по тому, что глушители при одинаковом конструктивном исполнении (SLBU, SLCBU и SLBGU) имеют значительно отличающиеся частотные характеристики эффективности шумоглушения, в разных модификациях используется различный звукопоглощающий материал. В целом, как нам представляется, наиболее оптимальные характеристики шумоглушения среди глушителей с плоской вставкой имеет глушитель SLBGU. Глушители SLBU, SLCBU и SLBGU характеризуются одинаковой величиной аэродинамического сопротивления, которая на 10%-20% меньше, чем у глушителя LRBCB.

Теперь сравним между собой глушители с цилиндрической вставкой SLGPU 100 и плоской вставкой SLBGU 100, как имеющие лучшие акустические характеристики в своем классе. У обоих глушителей толщина наружного слоя звукопоглотителя 100 мм. Будем сравнивать типоразмеры с диаметром соединительного патрубка 315, 500 и 800 мм и длиной, соответственно 1200 мм, 1500 мм и 1500 мм.



Рис.8 - SLBGU 100 и SLGPU 100

Сравнение акустических характеристик этих глушителей приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Эффективность шумоглушения глушителей шума SLBGU 100 и SLGPU 100 фирмы Lindab.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Типоразмер глушителя | Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц | | | | | | | |
| 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Эффективность шумоглушения, Δl1, дБ | | | | | | | |
| SLGPU-315-1200 100  (с цилиндрической вставкой) | 3 | 8 | 19 | 36 | 46 | 50 | 39 | 26 |
| SLBGU-315-1200 100  (с плоской вставкой) | 7 | 12 | 27 | 39 | 50 | 50 | 45 | 27 |
| SLGPU-500-1500 100  (с цилиндрической вставкой) | 3 | 7 | 20 | 35 | 39 | 43 | 31 | 20 |
| SLBGU-500-1500 100  (с плоской вставкой) | 4 | 9 | 25 | 31 | 33 | 33 | 20 | 18 |
| SLGPU-800-1500 100  (с цилиндрической вставкой) | 4 | 8 | 19 | 31 | 37 | 27 | 19 | 15 |
| SLBGU-800-1500 100  (с плоской вставкой) | 2 | 5 | 15 | 17 | 16 | 14 | 10 | 9 |

Глушитель SLGPU-315-1200-100 (с цилиндрической вставкой) имеет на 3-8 дБ более низкую эффективность по сравнению с глушителем SLBGU-315-1200-100 во всем нормируемом диапазоне частот. Но при этом он характеризуется в два раза меньшей величиной аэродинамического сопротивления (при объемном расходе 1800 м3/ч перепад давления составляет 20 Па и 40 Па соответственно).

Глушитель SLGPU-500-1500-100 (с цилиндрической вставкой) по сравнению с глушителем SLBGU-500-1500-100 имеет на 5-10 дБ более высокие значения эффективности шумоглушения в области высоких частот, хотя и несколько (на 1-5 дБ) уступает ему в эффективности на низких частотах. Оба глушителя характеризуются примерно одинаковой величиной аэродинамического сопротивления (при объемном расходе 7200 м3/ч перепад давления составляет у SLGPU-500-1500-100 35 Па, а у SLBGU-500-1500-100 37 Па).

Глушитель SLGPU-800-1500-100 (с цилиндрической вставкой) имеет на 2-20 дБ более высокие значения эффективности во всем частотном диапазоне по сравнению с глушителем SLBGU-800-1500-100, но при этом характеризуется и большей величиной аэродинамического сопротивления (при объемном расходе 18000 м3/ч перепад давления составляет 25 Па и 15 Па соответственно).

Таким образом, можно сделать вывод об отсутствии однозначного преимущества у какого-то типа глушителя. На малых диаметрах глушители с цилиндрической вставкой имеют меньшую величину аэродинамического сопротивления, но при этом характеризуются и более низкими значениями эффективности по сравнению с глушителями с плоской вставкой. При больших диаметрах входного патрубка картина меняется на противоположную. При этом следует учитывать, что при малых диаметрах входного патрубка, хотя глушители с цилиндрической вставкой имеют и меньшие значения эффективности по сравнению с глушителями с плоской вставкой, но сами эти значения, особенно на высоких частотах, имеют достаточно большую величину, достаточную для практических целей шумоглушения. Следует также помнить, что эффект шумоглушения лимитируется, как собственным шумообразованием при прохождении потока воздуха через глушитель со вставкой, так и наличием обходных путей передачи звука, например по кожуху и перфорированной трубе. (То есть чрезмерно высокие значения эффективности не могут быть реализованы на практике). Необходимо также помнить, что установка глушителей с цилиндрической вставкой в непосредственной близости от осевого вентилятора позволяет несколько уменьшить потери давления.

Фирма Systemair выпускает один тип глушителей с плоской вставкой - LDC-B (4 типоразмера) и один тип глушителей с цилиндрической вставкой – HP (30 типоразмеров). Сравнивать будем глушители LDC-B 400-120 и HP 630 2D c диаметром входного патрубка 630 мм и длиной 1200 и 1260 мм соответственно. Результаты такого сравнения акустической эффективности приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Эффективность шумоглушения глушителей шума HP 630 2D и LDC-B 400-120 фирмы Systemair.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Типоразмер глушителя | Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц | | | | | | | |
| 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Эффективность шумоглушения, Δl1, дБ | | | | | | | |
| HP 630 2D  (с цилиндрической вставкой) | 5 | 6 | 10 | 19 | 29 | 25 | 21 | 20 |
| LDC-B 400-120  (с плоской вставкой) | 3 | 8 | 10 | 13 | 18 | 18 | 12 | 12 |

Из таблицы 3 видно, что для данного типоразмера глушитель с цилиндрической вставкой имеет лучшие характеристики эффективности практически во всем частотном диапазоне. К сожалению характеристики аэродинамического сопротивления для глушителя HP 630 2D фирма не приводит.

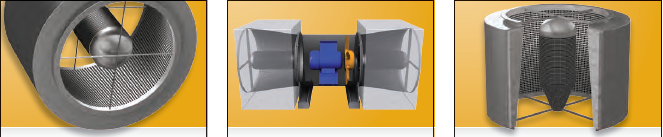
Варьировать акустические и аэродинамические характеристики глушителя с цилиндрической вставкой, добиваясь оптимального сочетания этих параметров, можно изменяя диаметр вставки. Как уже было ранее отмечено, фирма Lindab не приводит в своей документации значений диаметра цилиндрической вставки у различных типоразмеров глушителей. Такие данные мы обнаружили только у фирмы Hidria. Отношение между диаметром цилиндрической вставки и диаметром присоединительного патрубка составляет 0,63, Кж.с. ≈ 0,6. Отношение длины глушителя к диаметру патрубка ≈ 1,5. Ниже в таблице 2 приведены сравнительные характеристики глушителей с цилиндрической вставкой фирмы Lindab и фирмы Hidria. При этом следует учитывать, что глушители с одинаковым диаметром патрубка несколько отличаются по длине.

Таблица 4 – Эффективность шумоглушения глушителей шума с цилиндрической вставкой фирмы Lindab и фирмы Hidria.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Типоразмер глушителя и фирма производитель | Длина глушителя, мм | Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц | | | | | | | |
| 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Эффективность глушителя, дБ | | | | | | | |
| SLGPU-400-600 100  Lindab | 600 | 2 | 4 | 11 | 21 | 28 | 31 | 23 | 15 |
| ODZ-1 400  Hidria | 630 | 3 | 5 | 11 | 18 | 27 | 29 | 20 | 11 |
| SLGPU-800-1200 100  Lindab | 1200 | 3 | 7 | 15 | 25 | 31 | 22 | 17 | 13 |
| ODZ-1 800  Hidria | 1250 | 3 | 7 | 14 | 22 | 28 | 30 | 20 | 13 |
| SLGPU-1250-1800 100  Lindab | 1800 | 3 | 7 | 18 | 30 | 25 | 18 | 13 | 11 |
| ODZ-1 1250  Hidria | 1930 | 4 | 8 | 17 | 25 | 31 | 31 | 22 | 14 |

При этом глушители фирмы Lindab и фирмы Hidria имеют достаточно близкие значения аэродинамического сопротивления (при диаметре входного патрубка 400 мм и объемном расходе 3600 м3/ч перепад давления составляет 17Па и 21Па соответственно, при диаметре патрубка 800 мм и расходе 18000 м3/ч - 25Па и 38Па и при диаметре 1250 мм у обоих глушителей 20Па). Также необходимо отметить, что у глушителей фирмы Hidria наличие обтекателя на цилиндрической вставке является дополнительной опцией, которую необходимо указывать при заказе.

Проведенный по литературным источникам анализ конструкций глушителей с цилиндрической звукопоглощающей вставкой позволяет сделать следующие выводы. Глушители данного типа по сравнению с другими типами глушителей имеют самый большой типоразмерный ряд. Так диаметр входного патрубка у различных производителей изменяется в диапазоне от 200 мм до 2000 мм, а длина глушителя от 300 мм до 3300 мм. Большинство производителей выпускает глушители, длина которых пропорциональна диаметру входного патрубка. (1, 1,5 и 2 калибра). Толщина звукопоглощающей облицовки колеблется от 50 до 150 мм. Большинство моделей глушителей выпускается с толщиной облицовки 100 мм. (У некоторых производителей толщина облицовки зависит от выпускаемого типоразмера). Глушители с цилиндрической вставкой, по видимому, имеют большую величину Кж.с. по сравнению с большинством выпускаемых пластинчатых глушителей, и при сравнимой или большей акустической эффективности, должны характеризоваться меньшей величиной аэродинамического сопротивления. (Краткий сравнительный анализ подтверждает это). Большинство рассмотренных конструкций глушителей с цилиндрической вставкой имеет цилиндрическую наружную форму корпуса. Но две из рассмотренных конструкций при цилиндрической форме внутреннего канала имеют прямоугольную форму наружного корпуса с поперечным сечением в форме квадрата. Это глушители, выпускаемые фирмами Price (рис.8) и Caryaire Equipments (рис.9).



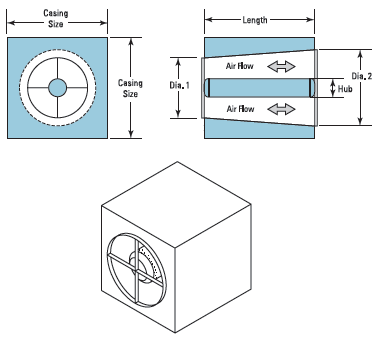


Рис.8 - Глушитель с цилиндрической вставкой и прямоугольной формой наружного корпуса серии AFS производства фирмы Price.

На конструкции фирмы Price хотелось бы остановиться поподробнее. У глушителей фирмы Price внутренний канал имеет не цилиндрическую, а форму усеченного конуса, и соответственно разные значения диаметров входного (подсоединяемого к вентилятору) и выходного (присоединяемого к воздуховоду) патрубка, соотношение между диаметрами которых подчиняется определенной зависимости (угол раскрытия конуса составляет 15°). Соответственно, и толщина слоя звукопоглощающего материала на концах глушителя имеет разную величину (75 и 140 мм). Также имеются 2 типа цилиндрических звукопоглощающих вставок (у глушителей большого диаметра 3 типа), цилиндрической и каплевидной формы, которые характеризуются различной эффективностью звукопоглощения и разной величиной аэродинамического сопротивления. Глушитель даже при сравнительно небольшой длине характеризуется достаточно высокими значениями эффективности в области низких и средних частот. Причем фирмой приводятся характеристики эффективности глушителя, определенные, как при статических, так и при динамических испытаниях. Надо отметить, что существующие стандарты определения характеристик эффективности глушителей рассматривают только статические методы испытаний (при отсутствии воздушного потока). Большинство фирм имеют акустические стенды для определения характеристик глушителей в статическом режиме испытаний, и, соответственно, приводят характеристики эффективности, определенные данным методом. Считается, что при скоростях воздушного потока до 20 м/с, он практически не влияет на эффективность шумоглушения. А вообще влияние воздушного потока (при больших скоростях) заключается в уменьшении эффективности глушителя. Но в данном случае наличие воздушного потока приводит к возрастанию эффективности глушителя в области низких и средних частот на 1-5 дБ, которая достигает на частотах 63 и 125 Гц величины 12 дБ и 20 дБ соответственно. (В данном случае рассматривается глушитель с диаметром входного патрубка 450 мм и длиной 900 мм). Возрастание эффективности зависит от типа используемой звукопоглощающей вставки. То есть можно предположить, что установка такого глушителя позволяет не только снизить шум, излучаемый вентилятором, но и уменьшить уровень звукоизлучения самого вентилятора. При этом данный тип глушителя характеризуется достаточно низкой величиной аэродинамического сопротивления. Так при объемном расходе 5800 м3/ч перепад давления составляет 15 Па. (Для сравнения перепад давления на глушителе RSA 500х300 с примерно такой же площадью поперечного сечения и при таком же объемном расходе около 200 Па).

У фирмы Caryaire Equipments, выпускающей глушители, как с круглой (CAF-R), так и с прямоугольной (CAF-S) (рис.4) формой наружного корпуса, если судить по характеристикам приведенным в ее каталоге, более высокую акустическую эффективность демонстрируют глушители с круглой формой наружного корпуса.

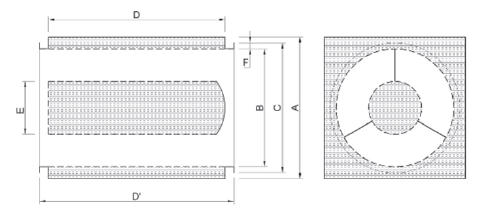


Рис. 9 - Глушитель с цилиндрической вставкой и прямоугольной формой наружного корпуса серии CAF-S фирмы Caryaire Equipments.

Ниже в таблице 5 приведены сравнительные характеристики глушителей этой фирмы с различной формой наружного корпуса длиной 2 калибра. (Фирма выпускает еще глушители длиной 1 и 1,5 калибра и там наблюдается примерно такая же картина).

Таблица 5 - Эффективность шумоглушения глушителей шума фирмы Caryaire с круглой (CAF-R) и прямоугольной (CAF-S) формой наружного корпуса.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Типоразмер глушителя | Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц | | | | | |
| 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Эффективность глушителя, дБ | | | | | |
| CAF-R-315 | 6 | 7 | 17 | 32 | 33 | 22 |
| CAF-S-315 | 6 | 6 | 16 | 26 | 17 | 13 |
| CAF-R-355 | 2 | 8 | 19 | 40 | 39 | 27 |
| CAF-S-355 | 2 | 6 | 15 | 25 | 16 | 12 |
| CAF-R-400 | 2 | 9 | 20 | 37 | 35 | 23 |
| CAF-S-400 | 2 | 7 | 18 | 24 | 15 | 12 |
| CAF-R-450 | 3 | 10 | 23 | 39 | 36 | 21 |
| CAF-S-450 | 1 | 7 | 21 | 21 | 15 | 10 |
| CAF-R-500 | 3 | 10 | 24 | 38 | 32 | 18 |
| CAF-S-500 | 2 | 8 | 23 | 21 | 14 | 11 |
| CAF-R-560 | 2 | 12 | 27 | 41 | 35 | 18 |
| CAF-S-560 | 1 | 9 | 24 | 19 | 14 | 10 |
| CAF-R-630 | 3 | 11 | 27 | 37 | 29 | 15 |
| CAF-S-630 | 2 | 9 | 25 | 17 | 14 | 10 |
| CAF-R-710 | 5 | 14 | 29 | 41 | 32 | 18 |
| CAF-S-710 | 4 | 9 | 24 | 14 | 11 | 8 |
| CAF-R-800 | 6 | 16 | 29 | 35 | 26 | 15 |
| CAF-S-800 | 6 | 13 | 22 | 14 | 10 | 9 |
| CAF-R-900 | 7 | 17 | 30 | 34 | 20 | 12 |
| CAF-S-900 | 6 | 14 | 23 | 13 | 9 | 7 |
| CAF-R-1000 | 13 | 28 | 39 | 47 | 38 | 19 |
| CAF-S-1000 | 6 | 16 | 23 | 12 | 7 | 7 |
| CAF-R-1120 | 14 | 26 | 36 | 42 | 24 | 13 |
| CAF-S-1120 | 6 | 15 | 23 | 10 | 7 | 6 |
| CAF-R-1250 | 13 | 25 | 35 | 37 | 17 | 11 |
| CAF-S-1250 | 8 | 17 | 22 | 10 | 6 | 6 |
| CAF-R-1400 | 14 | 25 | 33 | 38 | 18 | 10 |
| CAF-S-1400 | 7 | 16 | 22 | 11 | 5 | 6 |
| CAF-R-1600 | 13 | 24 | 34 | 20 | 16 | 9 |
| CAF-S-1600 | 8 | 16 | 23 | 10 | 6 | 5 |

Как можно заметить из таблицы 5 глушители с круглой формой наружного корпуса имеют значительное преимущество в акустической эффективности, особенно в области высоких частот. Такое преимущество (до 35 дБ на 1000 Гц) при одинаковом диаметре цилиндрической вставки и использовании одинакового звукопоглощающего материала необъяснимо с точки зрения акустики. Поэтому приведенные в каталоге фирмы характеристики эффективности глушителей, особенно с цилиндрической формой наружного корпуса, при внимательном анализе вызывают определенное недоверие. Вообще сравнение характеристик глушителей, особенно различных производителей, не имеет большого смысла, так как зачастую они получены в разных условиях (статический и динамический режим испытаний) по разным методикам на разных испытательных стендах и даже поверхностный анализ показывает, что они имеют различную достоверность.

В заключение, хотелось бы отметить, что, с нашей точки зрения, возможно более целесообразно создание конструкции глушителя с цилиндрической центральной вставкой не аналогичной выпускаемым фирмами Lindab, Trox, Systemair и Hidria, а имеющей прямоугольную форму наружного корпуса (с прямоугольной, а не квадратной формой поперечного сечения), что, возможно, позволило бы увеличить эффективность шумоглушения в области низких частот, а в высокочастотной области глушители с цилиндрической вставкой и так имеют достаточно высокую для практических целей эффективность. Следует также провести испытания таких глушителей при различной форме центральной вставки с целью выбора оптимального варианта. Диаметр центральной вставки следует выбирать из условия обеспечения Кж.с.в пределах 0,6-0,7.

**Список источников**

1. А. Г. Сотников. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции./Теория, техника и проектирование на рубеже столетий/В двух томах. Том II, 4.2, С.-Петербург, 2007 г., 512 стр. с илл.
2. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».
3. Каталог продукции. Канальное оборудование завода «Арктос», 2017 г.
4. Защита от шума и вибраций в системах ОВК. Практическое руководство / Марк Шаффер; [пер. с англ.].-М.:АВОК-ПРЕСС, 2009.-215с. – 3000 экз.
5. [Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 1,2 Под редакцией Н.Н.Павлова и Ю.И.Шиллера. М. Стройиздат 1992](http://forum.abok.ru/index.php?showtopic=55124).