

УДК: 534.83:628.83

OECD: 01.03.AA

Звукозащитные свойства винтовой вставки в воздуховодах вентиляции

Мурзинов В.Л.^{1*}, Мурзинов П.В.², Мурзинов Ю.В.³, Халяпина С.С.⁴

¹ Д.т.н., профессор кафедры «Техносферная и пожарная безопасность»

² К.т.н., заведующий лабораторией «Исследование акустических процессов»

³ К.т.н., доцент кафедры «Электропривод, автоматика и управление
в технических системах»

⁴ Инженер кафедры «Техносферная и пожарная безопасность»

^{1,2,3,4} Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, РФ

Аннотация

В статье рассматривается задача оценки эффективности подавления аэродинамического шума винтовой вставкой в воздуховод вентиляции. Механические вентиляционные системы получили широкое распространение для обеспечения санитарно-гигиенических или технических потребностей во многих областях промышленности, бытовых условиях, местах пребывания большого числа людей. Однако механические вентиляционные системы имеют негативную сторону, они создают шум, который распространяется по вентиляционным каналам и может стать причиной ухудшения нормальных условий труда и отдыха. Доля аэродинамического шума существенно преобладает над структурным шумом. Поэтому подавление аэродинамической составляющей шума вентиляционных систем является актуальной задачей. Существуют различные средства снижения шума потоков в воздуховодах. В статье рассмотрены методы и конструкции, обеспечивающие снижение аэродинамического шума и показаны различные конструктивные решения, начиная от конструкций, представленных в нормативных документах и кончая оригинальными современными разработками. Отмечена эффективность применения в воздуховодах спиральных вставок в виде геликоидов. Применение геликоидов практически не увеличивает гидродинамического сопротивления воздуховодов. Использование звукопоглощающих материалов для облицовки воздуховодов и изготовления геликоидов, позволило получить синергетический эффект совместного подавления ими аэродинамического шума, в результате чего, получилось значительное снижение аэродинамического шума в диапазоне средних и высоких частот.

Ключевые слова: снижение шума, аэродинамический шум, вентиляция, воздуховод, геликоид, спиральная вставка, глушитель.

Sound protection properties of a screw insert in ventilation ducts

Murzinov V. L.^{1*}, Murzinov P. V.², Murzinov Yu. V.³, Halyapina S. S.⁴

¹ Doctor of technical Sciences, Professor of the Department of Technosphere and fire safety

² Candidate of technical Sciences, head of the laboratory «Research of acoustic processes»

³ Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of electric Drive, automation and control in technical systems

⁴ Engineer of the Department of Technosphere and fire safety

^{1, 2, 3, 4} Voronezh state technical University, Voronezh, Russia

Abstract

The article deals with the problem of evaluating the effectiveness of aerodynamic noise suppression by a screw insert in the ventilation duct. Mechanical ventilation systems have got widespread to provide sanitary-hygienic or technical needs in many industry areas, for living conditions, and places destined for the vast number of people. However, the mechanical ventilation systems have a negative feature as well: they make noise spreading through the ventilation ducts which can cause deterioration of normal working and resting conditions. The portion of the aerodynamic noise substantially prevails over the portion of the structural noise. Therefore, the suppression of the aerodynamic component of the noise in the ventilation systems is a relevant objective. There are various means of reducing the noise of airflows in the ducts. We have considered methods and structures that reduce aerodynamic noise and showed various design solutions starting from structures presented in regulatory documents to original modern developments. We have noted the efficiency of the application of helical inserts (helicoid type) in the ducts. The use of helicoids practically does not increase the hydrodynamic resistance of the air ducts. The use of sound-absorbing materials for the ducts finishing and helicoids production made it possible to obtain a synergistic effect of joint suppression of the aerodynamic noise resulting in a significant reduction of the aerodynamic noise in the medium and high frequency range.

Keywords: noise reduction, aerodynamic noise, ventilation, air duct, helicoid, spiral insert, muffler.

Введение

Механические вентиляционные системы получили широкое распространение для обеспечения санитарно-гигиенических или технических потребностей во многих областях промышленности, бытовых условиях, местах пребывания большого числа людей. Широкое распространение этих систем объясняется необходимостью поддержания воздуха в помещении заданного состава. Однако механические вентиляционные системы имеют негативную сторону, они являются источником аэродинамического и структурного шума, который становится причиной ухудшения нормальных условий труда и отдыха. Основной причиной возникновения шума является работа центробежных и осевых вентиляторов, их электродвигателей, наличие турбулентных пульсаций воздуха и не всегда оптимальной конфигурации воздуховодов[1].

По воздуху, заключенному в воздуховодах, распространяется аэродинамический шум, а по стенкам воздуховодов и по строительным конструкциям, где расположены элементы вентиляционной системы – структурный шум. Доля аэродинамического шума существенно преобладает над структурным шумом. Поэтому подавление аэродинамической составляющей шума вентиляционных систем является актуальной задачей[2]. При этом в воздуховодах вентиляционных систем не должно быть увеличения гидродинамического сопротивления. Воздуховоды представляют собой эффективные каналы передачи звуковых потоков от вентиляционной установки[3] в помещения, которые могут находиться довольно далеко. Кроме того, вентиляционная система

может передавать звуковой поток не только исходящий от вентилятора, но и из одного помещения в другое по воздуховодам. При этом шум попадает в помещение через вентиляционные отверстия и через стенки воздуховодов.

1. Снижение шума вентиляционных систем методами, представленными в нормативных документах

Снижение аэродинамического шума вентиляционных систем является одной из актуальных задач. В нормативном документе[4] показаны возможные конструкции глушителей, обеспечивающих подавление аэродинамической составляющей шума.

Снижение уровня шума в воздуховоде определяется его длиной, сечением и коэффициентом звукопоглощения материала, которым облицована его внутренняя поверхность. При одном и том же материале, из которого сделан воздуховод, и различных его сечениях снижение шума будет тем меньше, чем больше сечение. Следовательно, воздуховод большего сечения имеет меньшее гидравлическое сопротивление и, соответственно, меньшее снижение шума.

В случаях, когда необходимо ослабить шум в воздуховодах, применяют акустические глушители. Выбор типа глушителя определяется в основном частотным составом шума и требуемым снижением его общего уровня. При этом глушители не должны оказывать значительного сопротивления потоку воздуха. Их следует делать по возможности малогабаритными, простыми и долговечными в эксплуатации.

Простейшим глушителем является канал, облицованный звукопоглощающим материалом и с отклоненным потоком, показанном на рис. 1, а). В глушителях этого типа звук распространяется вдоль поглощающего слоя. Конструктивно такие глушители выполняют в виде ряда параллельных прямоугольных (рис. 1, б)) или круглых каналов (рис. 2, а)). Большой эффективностью по снижению шума обладает коленчатый глушитель, изображенный на рис. 2, б)). Однако изменение направления потока создает большие гидравлические сопротивления.

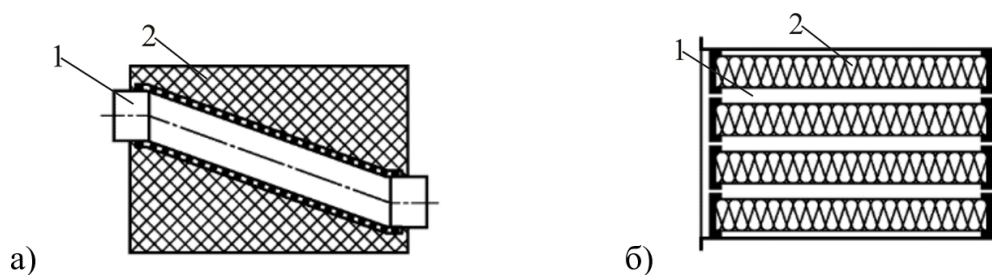


Рис. 1. Глушитель: а) с отклонение потока; б) с параллельными пластинами без промежуточных слоев. 1 – вентиляционный канал, 2 – звукопоглощающий материал.

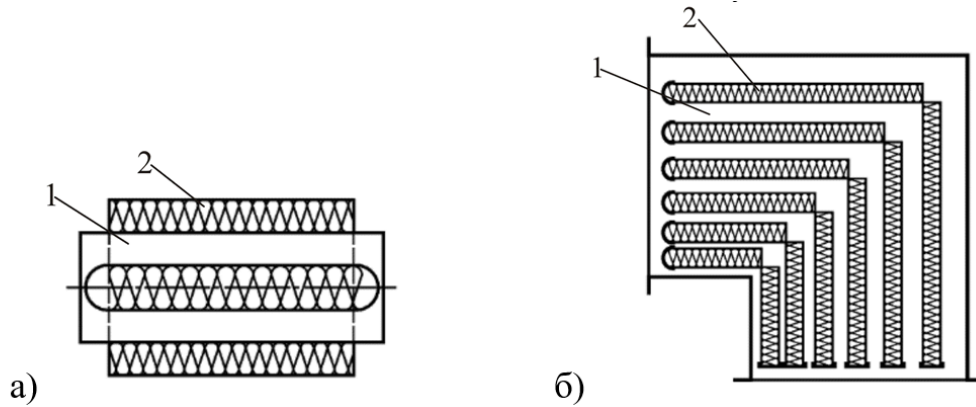


Рис. 2. Глушитель: а) круглый глушитель с концентрическим кожухом; б) коленчатый глушитель. 1 – вентиляционный канал, 2 – звукопоглощающий материал.

Часто щели пластинчатого глушителя заменяют системой каналов очень малого сечения, суммарная рабочая площадь которых равна площади воздуховода большого канала. Стенки этих каналов также покрывают звукопоглощающими материалами.

Ослабление шума, создаваемое звукопоглощающей облицовкой, зависит от ее толщины, расстояния между пластинами, длины облицованной части и коэффициента поглощения облицовки. В работе[5] рассмотрена модель глушителя для повышения эффективности снижения уровня шума в широком диапазоне частот в линейном воздуховоде. Вопросы математического моделирования глушителей шума и подавления звука в воздуховодах с поглощающими стенками показаны в работах[6, 7, 8]. Приведен сравнительный анализ различных критериев эффективности глушителей шума, указаны их преимущества и недостатки.

Практическое использование глушителей с линейным перемещением потока показывает не достаточную эффективность их работы. Глушители с высокой степенью шумоподавления, как правило, имеют большое гидравлическое сопротивление, а воздуховоды с маленьким гидравлическим сопротивлением обладают низкими звукозащитными свойствами.

2. Винтовые вставки в воздуховодах вентиляции

Одним из направлений в области снижения шума в вентиляционных системах является применение акустических глушителей, создающих винтовые пути для перемещения газовой среды и акустической энергии, сопровождающей газовой поток. При этом решается задача повышения эффективности снижения шума и сохранения неизменным гидравлического сопротивления в вентиляционных каналах.

Ранее, применительно к выхлопной системе автомобиля, было предложено поглощать акустическую энергию, сопровождающую поток текучей среды, такой как воздух, путем пропускания её по воздуховоду, в котором расположен винтовой элемент[9]. Благодаря винтовому элементу газовая среда следует по винтовой траектории через воздуховод (рис. 3). Такие устройства были предложены для использования в автомобильных глушителях, в которых низкие акустические частоты ниже 60 Гц ослабляются до нормативных значений.

Звуковые потоки с большой длиной волны в таких глушителях с винтовым элементом не могут перемещаться, беспрепятственно двигаясь по окружной винтовой дорожке. Звуковые потоки средних и высоких частот, с другой стороны, незначительно ослабляются этим устройством, так как, в отличие от низкочастотной акустической энергии, их более короткая длина волны позволяет перемещаться отражениями по

винтовой траектории. Таким образом, звуковые потоки со средними и высокими акустическими частотами проходят через открытый конец канала и выходят из него практически не поглощенными.

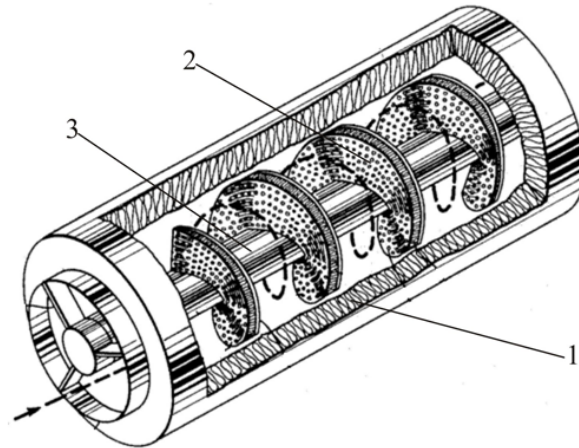


Рис. 3. Акустически поглощающий воздуховод. Аксонометрическая проекция с местным разрезом. 1 – звукопоглощающий материал, 2 – лопасти перфорированные, 3 – ось крепления лопастей.

Снижение шума в системе вентиляции может осуществляться применением спиральных вставок или вставок в виде геликоида. Глушитель, использующий спиральные вставки показан на рис. 4. Спиральный глушитель используется для воздуховодов, каналов вентиляции, кондиционирования воздуха или подобных им устройств и содержит трубчатый корпус 1, покрытый звукопоглощающим материалом. Внутри трубчатого корпуса 1 располагается спиральный канальный элемент 2, который расположен внутри и продольно в указанном трубчатом корпусе 1. Спиральный канальный элемент 2 укреплен на оси 3[10]. Все элементы устанавливаются в воздуховоде 4.

Спиральная вставка заставляет воздух в канале следовать по удлиненной винтовой траектории, которая приводит его к взаимодействию со звукопоглощающим покрытием. Такое движение обеспечивает снижение аэродинамического шума в воздуховоде и не создает дополнительного гидравлического сопротивления.

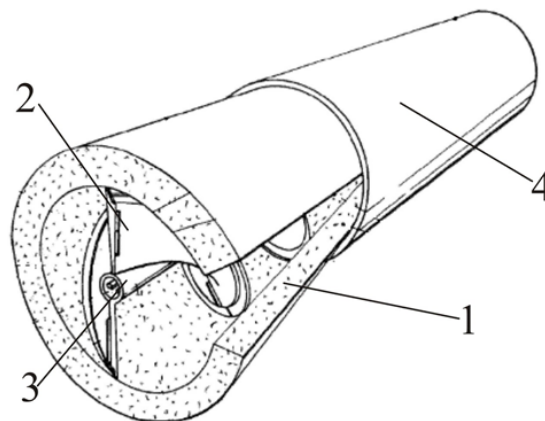


Рис. 4. Спиральный глушитель шума. 1 – трубчатый корпус из звукопоглощающего материала, 2 – спиральный канальный элемент, 3 – ось крепления спиральной направляющей, 4 – воздуховод.

В Воронежском государственном техническом университете разработали более простую конструкцию звукоподавляющего вентиляционного канала (рис. 5)[11], в котором установлена звукопоглощающая панель в виде геликоида (рис. 6), установленного плотно без зазоров в воздуховоде, облицованном по внутренней поверхности звукопоглощающим материалом.

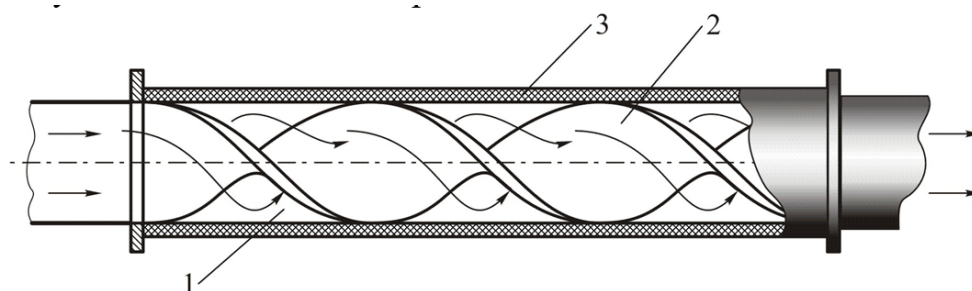


Рис. 5. Звукоподавляющий вентиляционный канал. 1 – воздуховод, облицованный по внутренней поверхности звукопоглощающим материалом; 2 – геликоид – спиральный элемент; 3 – звукопоглощающий материал.



Рис. 6. Геликоид – спиральный элемент.

Принцип функционирования и снижение уровня аэродинамического шума заключается в следующем. Поток воздуха и сопровождающий его звуковой поток перемещаются в направлении, показанном на рис. 5, встречает на пути своего движения геликоид 2. При этом воздушный поток плавно переходит во вращательное движение, а звуковой поток, попадая на геликоид 2, частично поглощается им и частично отражается, попадая на звукопоглощающий материал 3. Звукопоглощающим материалом 3 звуковой поток так же частично поглощается и частично отражается. Звуковой поток подвергается многократному отражению и поглощению благодаря тому, что геликоид 2 имеет винтовую структуру. Звуковой поток, многократно отразившись, и многократно поглотившись звукопоглощающим материалом, теряет акустическую энергию. Звукопоглощающий материал и его свойства показаны в работе[12]. Однако этот поток воздуха не претерпевает существенных потерь напора из-за гладкой поверхности геликоида, из-за ограниченного поперечного сечения геликоида и из-за ограниченной толщины звукопоглощающего материала. Шум, который, сопровождает воздушный поток, уменьшается благодаря синергетическому действию упомянутого геликоида и упомянутой внешней обволакивающей оболочки. Предлагаемая методика снижения аэродинамического шума может быть с успехом применена, например, для пневмоконвейеров на воздушной подушке[13, 14], которые снабжены каналами для перемещения воздушных потоков.

3. Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования уровня звукового давления шума, распространяющегося по воздуховодам вентиляционных сетей, были проведены для различных вариантов конструктивного исполнения линейного воздуховода. Вариант 1 – линейный воздуховод без использования звукопоглощающих материалов. Вариант 2 – линейный воздуховод, облицованный звукопоглощающим материалом. Вариант 3 – линейный воздуховод, облицованный звукопоглощающим материалом с геликоидом из звукопоглощающего материала.

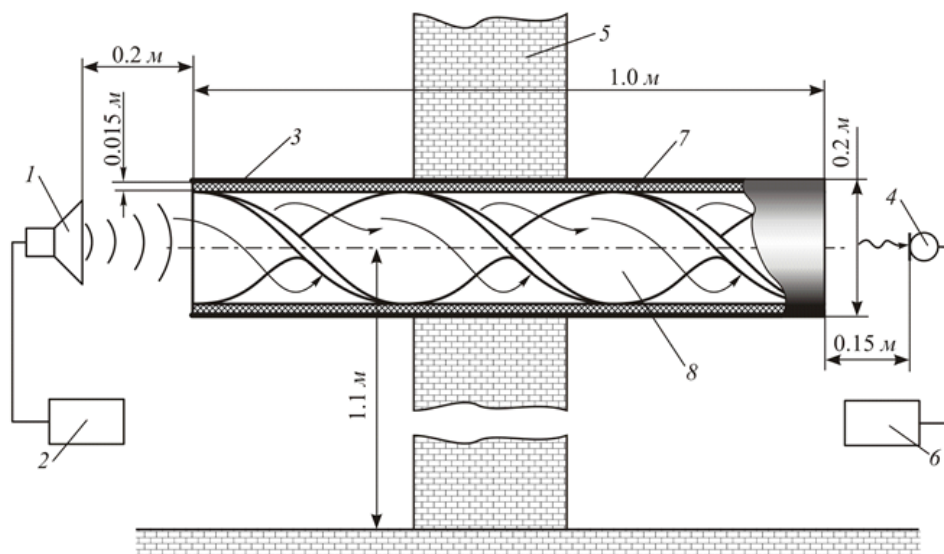


Рис. 7. Экспериментальная установка линейного воздуховода с геликоидом.

На рис. 7 представлена экспериментальная установка для определения уровня звукового давления от высококачественного динамика 1, связанного с источником 2 «белого шума», прошедшего через вентиляционный канал 3. В качестве линейного воздуховода 3 был взят воздуховод из пропилена длиной 1 метр и диаметром 200 мм. Толщина стенки воздуховода 3 составляет 3 мм. Величина звукового давления «белого шума», вышедшего из воздуховода 3 измерялась микрофоном 4 прецизионного шумомера 5 – анализатора спектра «ОКТАВА – 110А». Воздуховод 3 был установлен в отверстие стены 5, разделяющей два помещения. В одном помещении находился источник 2 «белого шума», а в другом – шумомер 6 «ОКТАВА – 110А». Характерные размеры экспериментальной установки показаны на рис. 7.

Для варианта 2 конструктивного исполнения воздуховода его внутренняя поверхность была обклеена звукопоглощающим материалом 7 «Шуманет-БМ» толщиной 15 мм. Для варианта 3 конструктивного исполнения воздуховода 3 был добавлен геликоид 8, имеющий полтора спирального витка. Геликоид 8 был изготовлен из металлической сетки и обклеен с обеих сторон этой сетки звукопоглощающим материалом 6 «Шуманет-БМ». Толщина геликоида 8 составила 20 мм.

Процедура измерения проводилась следующим образом. Для каждого варианта конструктивного исполнения подавался «белый шум» в воздуховод. Интенсивность «белого шума» всегда была постоянной. Звуковой поток, выходящий из воздуховода 3, измерялся микрофоном 4 шумомера 6 «ОКТАВА – 110А». Результаты измерений представлены в таблице и на рис. 8.

Таблица 1

Экспериментальные значения уровня звукового давления от «белого шума» для различных конструктивных схем воздуховода, дБ

Варианты конструктивного исполнения	Частота, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Вариант 1	69,4	70,8	70,1	69,2	66,7	67,4	64,7	60,1
Вариант 2	68,2	65,3	57,5	50,4	48,8	53,1	58,6	61,7
Вариант 3	68,3	64,2	53,1	46,8	36,2	31,3	24,2	18,4

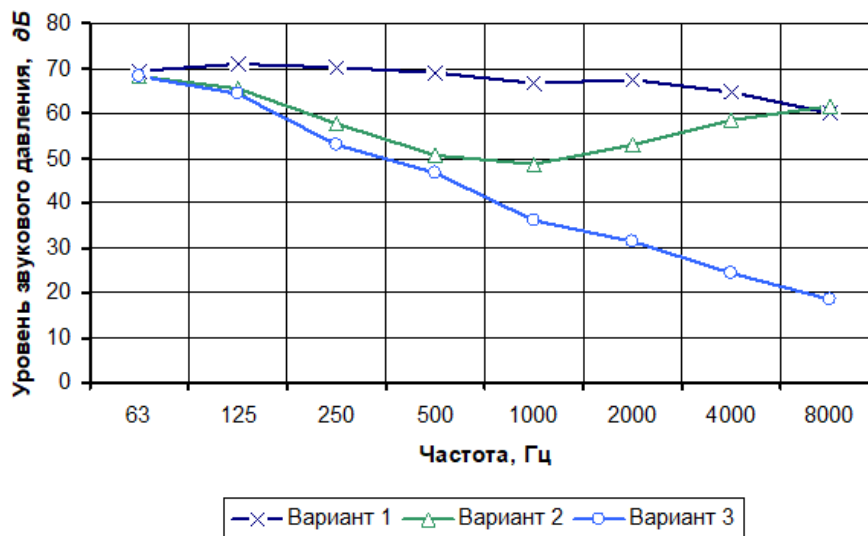


Рис. 8. График уровня звукового давления в воздуховоде при различных его конструктивных исполнениях.

На рис. 8 показаны графики уровня звукового давления для различных конструктивных исполнений воздуховода. Из графиков видно, что наибольший эффект снижения уровня звукового давления достигается при совместном использовании звукопоглощающего материала на внутренней поверхности воздуховода с геликоидом, покрытым звукопоглощающим материалом. В этом случае величина снижения звукового давления в области высоких частот составила около 40 дБ по сравнению с другими вариантами конструктивного исполнения. В области средних частот величина снижения уровня звукового давления составила около 30 дБ в сравнении с вариантом 1 конструктивного исполнения и около 10 дБ при сравнении с вариантом 2 конструктивного исполнения.

Заключение

Анализ звукоподавляющих возможностей вентиляционных систем показал, что применение звукопоглощающих материалов для облицовки внутренней поверхности воздухопроводов снижает уровень аэродинамического шума. Кроме того, использование различных глушителей так же способствует снижению шума вентиляционных систем. Наиболее эффективным конструктивным решением стало использование спиральных элементов, создающих винтовое движение потока в воздуховодах, облицованных по внутренней поверхности звукопоглощающим материалом и спиральным элементом в

форме геликоида, выполненным так же из звукопоглощающего материала. При этом винтовое движение потока создает незначительное гидравлическое сопротивление. Благодаря такому техническому решению проявился синергетический эффект от совместного действия звукопоглощающего материала и винтового движения воздуха и звукового потока, что позволило значительно уменьшить аэродинамический шум вентиляционных систем в области средних и высоких частот.

Список литературы

1. Алексеев С.П. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. / С.П. Алексеев, А.М. Казаков, Н.Н. Колотилов. – М.: Машиностроение, 1970. – 280 с.
2. Мурзинов В.Л. Аэродинамический шум производственных транспортных систем на воздушной подушке / Мурзинов В.Л., Мурзинов П.В. // Безопасность труда в промышленности. – 2015, 10. – С.30–35.
3. Тимушев С.Ф. Моделирование источника и акустического поля тонального шума лопаточных машин / Тимушев С.Ф., Гаврилюк В.Н., Аксенов А.А., Клименко Д.В. // NOISE Theory and Practice. – 2017. – Т. 3, № 3. – С. 19 – 30.
4. ГОСТ 28100-2007. Акустика. Измерения лабораторные для заглушающих устройств, устанавливаемых в воздуховодах, и воздухораспределительного оборудования. – М: Стандартинформ, 2008. – 45 с.
5. Кобзарь Д.Д. Особенности акустического расчёта систем вентиляции / Кобзарь Д.Д., Вельбель А.М., Олейников А.Ю. // NOISE Theory and Practice. – 2017. – Т. 4, № 1. – С. 41 – 45.
6. Осипов А. А. Математическое моделирование распространения звука в проточном канале с импедансными стенками / А.А. Осипов, К.С. Реент // Акустический журнал. – 2012, том 58, 4. – С. 509-524.
7. Светлов В.В. Расчет эффективности технологического шумозащитного экрана для снижения шума от воздухозаборных решеток компрессорных установок // NOISE Theory and Practice. – 2017. – Т. 3, № 4. – С. 60 – 68.
8. Чернов Н.С. Устройство для снижения вибрации и шума в трубопроводных системах энергетических установок. Разработка и исследование / Чернов Н.С., Мурановский В.П. // NOISE Theory and Practice. – 2015. – Т. 1, 1. – С. 17 – 21.
9. Патент US 3132717. Acoustically absorbent conduit / J.J. Baruch – Оpubл. 12.05.1964.
10. Патент EP 2426427 A2, МПК F24F 13/02. Helical silencer of the modular and assemblable type, in particular for ducts or channels for ventilation, air-conditioning or the like / Santi, Emiliano. – Оpubл. 07.03.2012, Bulletin 2012/10.
11. Патент 170696 РФ, МПК G10K 11/00. Звукоподавляющий вентиляционный канал / Мурзинов В.Л., Мурзинов П.В., Мурзинов Ю.В. – Оpubл. 03.05.2017, Бюл. № 13.
12. Murzinov V.L. Sound absorption of sound suppressing lightweight structured panels / Murzinov V.L., Murzinov P.V., S.V. Popov, Y.V. Tatarinova // Akustika. 2019. Т. 34. Р. 40-43.
13. Murzinov V.L. Air Cushion as Source of Aerodynamic Noise in Pneumatic Conveyors / Murzinov V.L., Murzinov P.V., V.A. Popov, V.I. Buyanov // Akustika. 2019. Т. 34. Р. 44-47.
14. Мурзинов В.Л. Снижение шума в устройствах транспортирования на воздушной подушке. – Воронеж: Росинформресур, 2008. – 196 с.

References

1. Alekseyev S. P. Fighting noise and vibration in mechanical engineering. / S. P. Alekseyev, A. M. Kazakov, N. N. Kolotilov. Moscow: Mashinostroenie, 1970. - 280 p.
2. Murzinov V. L. Aerodynamic noise of industrial transport systems on an air cushion / Murzinov V. L., Murzinov P. V. // labor Safety in industry. - 2015, no. 10. - P. 30-35.
3. Timushev S. F. Modeling of the source and acoustic field of tonal noise of shovel machines / Timushev S. F., Gavrilyuk V. N. Aksenov A. A., Klimenko D. V. // NOISE Theory and Practice. - 2017. - Vol. 3, no. 3. - Pp. 19-30.
4. GOST 28100-2007. Acoustics. Laboratory measurements for silencing devices installed in air ducts and air distribution equipment. - Moscow: Standardinform, 2008. - 45 p.
5. Kobzar's D.D. Features of acoustic calculation of ventilation systems / Kobzar D. D., Velbel a.m., Oleinik A. Yu. // NOISE Theory and Practice. - 2017. - Vol. 4, no. 1. - P. S. 41 – 45.
6. Osipov A. A. Mathematical modeling of sound propagation in a flow channel with impedance walls / A. A. Osipov, K. S. Reent // Acoustic journal. - 2012, volume 58, no. 4. - Pp. 509-524.
7. Svetlov V. V. Calculation of the efficiency of technological noise protection screen for reducing noise from air intake grilles of compressor installations // NOISE Theory and Practice. - 2017. - Vol. 3, no. 4. - P. 60 – 68.
8. Chernov N. S. Device for removing vibration and noise in pipeline systems of power plants. Development and research / Chernov n. S., Muranovsky V. P. // NOISE Theory and Practice. - 2015. - Vol. 1, no. 1. - Pp. 17-21.
9. US patent 3132717. Acoustically absorbent conduit / J. J. Baruch-Publ. 12.05.1964.
10. Patent EP 2426427 A2, IPC F24F 13/02. Helical ssilenceof the modular and Assembly type, in particular for dadultsor channels for ventilation, air-conditioning or the like / Santi, Emiliano. - Publ. 07.03.2012, Bulletin 2012/10.
11. Patent 170696 of the Russian Federation, IPC G10K 11/00. Sound-suppressing ventilation channel / Murzinov V. L., Murzinov P. V., Murzinov Yu. V. - Publ. 03.05.2017, Byul. N 13.
12. Murzinov V.L. Sound absorption of sound suppressing lightweight structured panels / Murzinov V.L., Murzinov P.V., S.V. Popov, Y.V. Tatarinova // Akustika. 2019. T. 34. P. 40-43.
13. Murzinov V.L. Air Cushion as Source of Aerodynamic Noise in Pneumatic Conveyors / Murzinov V.L., Murzinov P.V., V.A. Popov, V.I. Buyanov // Akustika. 2019. T. 34. P. 44-47.
14. Murzinov V. L. Noise Reduction in air-cushion transportation devices. - Voronezh: Rosinformresurs, 2008. - 196 p.