

Иголкин А.А. Сафин А.И. О ПРИМЕНЕНИИ МАТЕРИАЛА МР ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва (Самарский университет)

Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086, Российская Федерация

igolkin.aa@ssau.ru

Шум изделий машиностроения строго регламентирован национальными стандартами. Требования к шуму имеют тенденцию к ужесточению. В статье рассказывается об опыте применения материала МР с целью снижения уровня шума различных изделий.

Ключевые слова: глушитель; шум; МР; стенд испытательный; инструмент ручной пневматический; конструкция звукопоглощающая

1 Введение

Группой учёных (А.М. Сойфер, В.Н. Бузицкий, В.А. Першин) в КуАИ был разработан упругопористый материал, названный "металлорезиной" (МР) [1]. Руководителем авторского коллектива был профессор А.М. Сойфер, научная и педагогическая деятельность которого подробно описана в сборнике очерков «От КуАИ до СГАУ» [3]. Преимущества материала МР (высокие эксплуатационные показатели, широкий температурный диапазон работы и способность работать в агрессивной среде, такой как кислоты, щёлочи, газы) обуславливают его область применения. Виброизоляторы из материала МР широко используются в виброзащитных системах. Они имеют высокую прочность, высокий коэффициент рассеивания энергии. Гидродинамические и фильтрационные характеристики материала МР исследовались в работах А.И. Белоусова, А.Г. Гимадиева, Е.А. Изжеурова, А.М. Жижкина. Фильтрующие элементы из материала МР, изготовленные из проволоки диаметром 30 мкм, обеспечивают номинальную тонкость очистки газов до 25–30 мкм при толщине фильтрующего материала 10–15 мм [1–5, 7, 9–13].

2 Пористые вставки для систем двигателя внутреннего сгорания

Впервые упругопористый материал МР был применён для снижения шума системы выпуска ДВС. Так, для глушителя дизельного двигателя (типа ЯМЗ-740 и ЯМЗ-236) использована вставка из МР пористостью 0,85 и толщиной 20 мм, установленная последовательно во впускном тракте. С целью выявления эффективности снижения как внутреннего, так и внешнего шума разработанной выпускной системы были проведены дорожные испытания автомобиля.

По результатам проведённых испытаний можно сказать, что комплекс мероприятий, в том числе и применение пористого материала МР, привёл к снижению уровня внешнего шума автомобиля на 2–3 дБА по сравнению с серийной выпускной системой. Уровень внутреннего шума автомобиля снизился до 3–4 дБА по сравнению с серийной выпускной системой.

Конструктивные мероприятия по модернизации серийной системы с целью улучшения её шумозаглушающей способности не привели к существенному изменению основных параметров двигателя [9].

3 Глушитель для пневмогайковёрта

На инструментальном производстве АвтоВАЗа производился пневматический инструмент для собственных нужд предприятия. Работа пневматического гайковёрта сопровождалась повышенным уровнем шума. Для улучшения акустических характеристик пневмогайковёрта разработан комплекс мероприятий (рисунок 1), включающих в себя: установку звукопоглощающего материала в корпус пневмогайковёрта 1, изменение закона открытия выхлопных отверстий статора, подбор размеров соединительных каналов, подбор размеров выхлопных отверстий, установка глушителя шума 2, облицованного звукопоглощающим материалом 3, организация выхлопа отработанного воздуха в «пол» 4, перенос крепления ручки и обработка звукопоглощающим материалом 5.

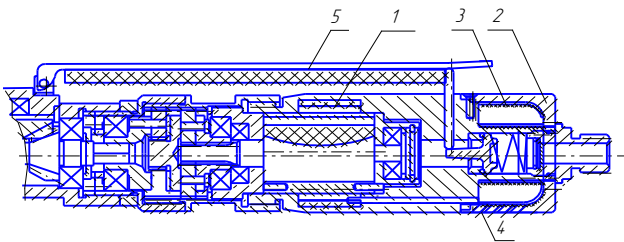


Рисунок 1. Схема пневмогайковёрта

В результате исследования установлено, что основной шум возникает на частоте, равной лопастной частоте вращения ротора. Установлено, что основные гармоники кратны частоте вращения ротора пневмодвигателя. Проведены экспериментальные исследования эффективности разработанных мероприятий по улучшению виброакустических характеристик ручного механического инструмента (РМИ). Мероприятия по снижению динамической нагруженности пневмогайковёрта позволили снизить уровень шума, излучаемого работающим инструментом, с 90 дБА до 75 дБА. В третьоктавных полосах эффективность достигает 25,4 дБ (на частоте, соответствующей лопастной гармонике $f=1600$ Гц). Причём в результате проведённых мероприятий снизился уровень шума

всех значимых дискретных составляющих [8].

4 Глушитель для пневматической шлифовальной машины

При производстве ракет-носителей в АО «РКЦ «Прогресс» широко используется РМИ. Так, на металлургическом производстве пневматические шлифовальные машинки используются для удаления облоя отливок. При этом на одном участке работают до пяти операторов. Шум даже от одной работающей машинки превышает нормы.

С использованием разработанной математической модели сопротивления продуванию материала МР в СГАУ был изготовлен опытный образец глушителя. Опытный образец глушителя состоит из следующих деталей: тройник, переднее алюминиевое кольцо, заднее алюминиевое кольцо, два уплотнительных резиновых кольца, стопорные винты, звукопоглощающий материал МР, штуцер.

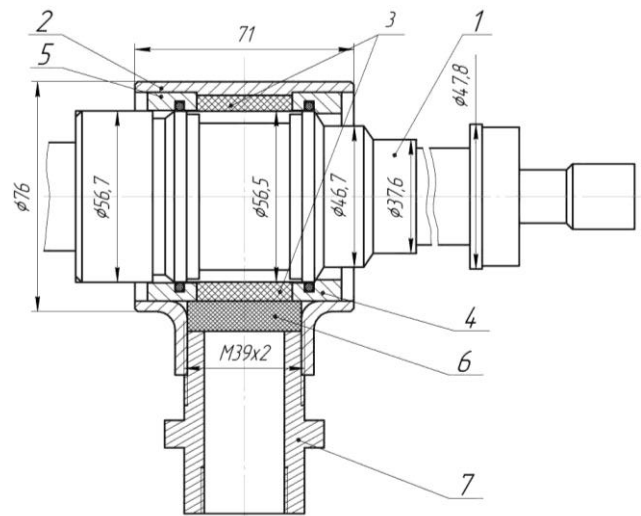


Рисунок 2. Конструктивная схема глушителя шума пневматической шлифовальной машины

1 – пневмомашинка; 2 – тройник; 3 – вкладка из МР; 4 – кольцо заднее; 5 – кольцо переднее; 6 – шайба из МР; 7 – штуцер.

В стандартном тройнике нарезана резьба М 39х2. Тройник обрезан до осевого размера 71 мм. В полости тройника с двух сторон

выполнена расточка 0,5 мм на сторону для холодной запрессовки центрирующих алюминиевых колец. Предварительно в алюминиевых кольцах выполнены проточки для установки резиновых уплотнительных колец. Центрирующие кольца запрессовываются по посадке для холодного прессования. В пространство между колец закладывается звукопоглощающий материал МР. В ответвление тройника вставляется звукопоглощающий материал и фиксируется штуцером.

Внешний вид опытного образца представлен на рисунке 3.



Рисунок 3. Внешний вид опытного образца глушителя шума

Конструкции и режимы работы шлифовальных машинок схожи, поэтому для исследования выбрана одна из них.

При ранжировании источников шума в цехе на первый план выходит шлифовальная машинка с уровнем шума 106 дБА. Для оценки влияния установки глушителя шума на рабочие характеристики в лабораторных условиях были проведены измерения узкополосных спектров шума.

Испытания проведены в СГАУ при давлении на входе в инструмент 0,24 МПа. Установка глушителя привела к тому, что основная гармоника спектра шума инструмента сместилась с 809 Гц на 729 Гц. Однако это смещение произошло на 11%, что не повлияет на эффективность обработки деталей [8].

Исследования акустической эффективности опытной конструкции глушителя были проведены в заглушённой акустической ка-

мере. Давление перед пневмоинструментом составляло 0,26 МПа.

Были проведены исследования влияния пористости, диаметра проволоки и толщины материала МР на акустическую эффективность глушителя шума.

При проведении испытаний были выполнены исследования на повторяемость результатов.

В результате установки глушителя происходит снижение шума во всех полосах частот. Эффективность опытной конструкции глушителя в лабораторных условиях составляет 15,8 дБА.

Все испытания проводились на холостом ходу. Опытная конструкция глушителя направлена на снижение шума от выхлопа шлифовальной машины и не влияет на шум рабочего процесса (процесса обработки детали).

Далее были проведены испытания на территории участка цветной и черновой зачистки в цехе "ЦСКБ-Прогресс". Проведены измерения фонового уровня шума, уровня шума исходной конструкции шлифовальной машинки и уровня шума шлифовальной машинки с опытным образцом глушителя шума.

Увеличение уровня звукового давления на частоте 400 Гц связано с тем, что в результате установки глушителя произошло изменение частоты вращения и сместились дискретные составляющие спектра. Эффективность глушителя в третьоктавных частотах достигает 28 дБ (1000 Гц). Разработанный глушитель шума обеспечил требуемую эффективность – не менее 15 дБА [8].

5 Глушитель для системы выхлопа пневматического испытательного стенда

При сдаче в эксплуатацию запорно-регулирующая арматура проходит ряд испытаний, в том числе, на герметичность. При этом давление в пневматической системе может превышать 20 МПа. Для снижения шума выхлопа пневмосистемы испытательного стенда был разработан и доведён глушитель шума, конструктивная схема которо-

го представлена на рисунке 4. Шумоподавляющий тракт глушителя состоит из пакета ступенчатого дросселирования и пакета непрерывного дросселирования, установленных во внутренних полостях корпуса (поз. 4) и крышки (поз. 5). Пакет ступенчатого дросселирования представляет собой набор из дросселей (поз. 1, 2, 3) и шайбы (поз. 10), установленных на упор (поз. 9) в порядке увеличения их эквивалентной площади проходного сечения. При помощи колец (поз. 8) между деталями, входящими в данный пакет, обеспечивается зазор 2 мм. Пакет непрерывного дросселирования состоит из пористых шайб (поз. 6) и кольца (поз. 7), изготовленных из МР с пористостью 0,7. Крышка (поз. 5) фиксирует детали, установленные во внутренней полости глушителя в неподвижном состоянии. Винт (поз. 11) исключает вероятность саморазвинчивания конструкции (рисунок 4).

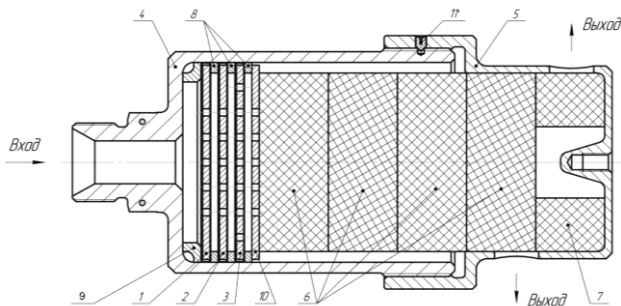


Рисунок 4. Конструкция глушителя шума выхлопа испытательного стенда

При поступлении рабочего тела во внутреннюю полость глушителя через штуцер корпуса (поз. 4) происходит его разделение и ступенчатое понижение давления при помощи дросселей (поз. 1, 2, 3) и дроссельной шайбы (поз. 10). При этом эквивалентные площади проходных сечений указанных дросселей и шайбы рассчитаны таким образом, что на ступенях дросселирования исключаются сверхкритические перепады давления, сопровождаемые усилением уровня звукового давления. Для увеличения степени разделения потока в состав дросселей (поз. 1, 2, 3) входят металлические сетки, полностью перекрывающие их проходные сечения. Далее происходит непрерывное дросселирование потока посредством пористых элементов

(поз. 6, 7), в процессе которого поток претерпевает многократное изменение направления движения. Также происходит его дальнейшее разделение и непрерывное понижение давления приводящее в совокупности к потере энергии звуковых колебаний внутри потока. Минувя участок непрерывного дросселирования, поток выходит в окружающую среду через 18 отверстий в крышке (поз. 5) [6]. Акустическая эффективность разработанного глушителя шума составила 38...40 дБА [8].

6 Звукопоглощающие конструкции

Исследования схем звукопоглощающих конструкций методом двух реверберационных камер были проведены на стенде У-96Т ЦИАМ. Испытательный стенд У-96Т состоит из двух реверберационных камер, соединённых между собой каналом, имеющим в сечении прямоугольную форму, где размещаются плоские образцы элементов звукопоглощающих конструкций. [14].

Стенд предназначен для оценки эффективности схем звукопоглощающих конструкций, используемых в газотурбинных двигателях самолётов. Испытательный стенд обеспечивает изучение акустических характеристик звукопоглощающих элементов конструкций в условиях, аналогичных полноразмерному газотурбинному двигателю. Канал испытательного стенда облицовывается звукопоглощающими элементами, и шум генерируется в сочетании с воздушным потоком в прямом и обратном направлении. Направление воздушного потока выбирается с учётом моделирования условий вентилятора наружного контура либо условий воздухозаборника.

Акустическая эффективность исследуемой схемы звукопоглощающей конструкции оценивается путём анализа измеренного акустического шума во входной и выходной реверберационных камерах с элементами ЗПК и без установки элементов звукопоглощающей конструкции. В качестве источников звука высокой интенсивности, обладающих уровнем звуковой мощности порядка 160 дБ,

используются сиренное устройство и батарея газоструйных излучателей.

Для экспериментального исследования схем ЗПК (рисунок 5) в канале была изготовлена пресс форма, которая позволяет изготавливать образцы МР размерами:

- 250 x 100 x 10 мм; $\Pi = 0,8$; $d_{\text{п}} = 0,2$ мм;
- 250 x 100 x 5 мм; $\Pi = 0,8$; $d_{\text{п}} = 0,2$ мм.

Π – пористость образца; $d_{\text{п}}$ – диаметр исходной проволоки.



Рисунок 5 – Внешний вид элементов звукопоглощающей конструкции с использованием материала МР

Было изготовлено всего 12 образцов МР длиной 250 мм, шириной 100 мм и толщиной 5 мм и 12 образцов длиной 250 мм, шириной 100 мм и толщиной 10 мм

Проведённые экспериментальные исследования позволили получить новые научно-технические результаты и на их основе сделать следующие выводы:

В двоянной реверберационной камере испытательного стенда У-96Т была проведена оценка акустической эффективности целого ряда схем ЗПК на основе использования материала МР в условиях, близких к реальным рабочим процессам в газоздушном тракте авиационного ГТД.

Применение МР повышает акустическую эффективность ЗПК, состоящих из сотовых конструкций, на 2-4 дБ во всём исследуемом частотном диапазоне. Позволяет существенно снизить уровень шума ГТД и самолёта в целом, т.к. аттестация самолёта по уровню шума по стандарту ИКАО производится в трёх контрольных точках.

Применение перфорированного листа в разработанных ЗПК позволяет защитить МР от забивания продуктами сгорания.

7 Заключение

Таким образом, в работе описан опыт применения упругопористого материал МР для снижения уровня шума различных изделий машиностроения. Использование материала МР даёт акустическую эффективность для систем пневматического выхлопа 38...42 дБА, для автомобиля – 2–4 дБА, для РМИ более 15 дБА и увеличивает акустическую эффективность ЗПК на 2–4 дБА.

8 Благодарности

Работа выполнена в рамках реализации Программы развития Самарского университета на 2021- 2030 годы в рамках программы "Приоритет-2030" при поддержке Правительства Самарской области.

Список использованных источников

- [1] А.с. 136608 СССР, МПК F16F 7/12. Упругий элемент для систем демпфирования : № 574556/40 : заявлено 27.07.1960 : Оpubл. 01.01.1961, Бюл. № 5 / А.М. Сойфер, В.Н. Бузицкий, В.А. Першин. – 2 с.
- [2] А.с. 183174 СССР. МПК B21F 21/00, B21F 27/12. Способ изготовления нетканого материала МР из металлической проволоки : № 674556/40-23 : заявлено 27.07.1960 : Оpubл. / А.М. Сойфер, В.Н. Бузицкий, В.А. Першин.- Оpubл. 17.07.1966, Бюл. № 13 – 2 с.
- [3] Балакин, В. Л. От КуАИ до СГАУ. Сборник очерков / В. Л. Балакин, А. Л. Новикова // Самара, Самарский дом печати, 2002. – С. 477.
- [4] Белоусов, А. И. О повышении теплопроводности упругодемпфирующих элементов из материала МР / А. И. Белоусов, Г. В. Лазуткин, А. М. Жижкин // Известия вузов. Авиационная техника. – 1989. – № 3. – С.84-86
- [5] Белоусов, А. И. Элементы пневмогидроаппаратуры из упругопористого нетканого металлического материала: монография / А. И. Белоусов, Е. В. Шахматов, А. Н. Кирилин [и др.] – Самара: СГАУ, 2009. – 119 с.
- [6] Патент №2690894 Российская Федерация, МПК F01N 1/00 Глушитель № 2018121421 : заявлено 09.06.2018 : опубликовано 06.06.2019 / Е. А. Болтов, М. В. Макарянц, Д. В. Столяров [и др.] ; заявитель и патентообладатель Российская Федерация, от имени которой выступает Государственная корпорация по космической деятельности "Роскосмос" – 8с.
- [7] Бузицкий, В. Н. Цельнометаллические амортизаторы из материала МР для агрегатов и систем двигателей летательных аппаратов: дис. канд. техн.

наук / В. Н. Бузицкий. – Куйбышев: КуАИ, 1975. – 202 с.

[8] Иголкин, А. А. Разработка глушителей аэродинамического шума пневматических и газотранспортных систем [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: специальность 01.04.06 / А. А. Иголкин. – Санкт-Петербург, 2015. – 299 с.

[9] Изжеуров, Е. А. Формирование элементов конструкций гидродинамического тракта энергетических установок из упруго пористого материала МР [Текст] / Е. А. Изжеуров. – Москва: Машиностроение, 2001 – 284 с.

[10] Сойфер, А. М. О расчетной модели материала МР / А. М. Сойфер // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов: сборник научн. трудов. – Куйбышев: КуАИ, 1967. – Вып. 30.– С. 8-16.

[11] Уланов, А. М. Разработка методов расчета статических, динамических и ресурсных характеристик виброизоляторов из материала МР: дисс ... доктора техн. наук / А.М. Уланов. – Самара: СГАУ, 2009. – 245 с.

[12] Чегодаев, Д. Е. Демпфирование / Д. Е. Чегодаев, Ю. К. Пономарев. – Самара: СГАУ, 1997. – 334 с.

[13] Чегодаев, Д. Е. Конструирование рабочих органов машин и оборудования из упругопористого материала МР : учебное пособие. 4.1 / Д. Е. Чегодаев, О. П. Мулюкин, Е. В. Колтыгин. – Самара: ЕГПТТ «Авиатор», 1994. – 100 с.

[14] Khaletskiy, Y. Acoustic response of a fan duct liner including porous material / Y. Khaletskiy, Y. Pochkin, A. Igolkin // The 20st International Congress on Sound and Vibration (ICSV 20) July 7-11 – Bangkok, Thailand. – 2013.

Igolkin A.A. SAFIN A.I. ABOUT THE APPLICATION OF MR MATERIAL FOR NOISE REDUCTION OF MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTS

Samara National Research University
(Samara University)

34, Moskovskoye shosse,
Samara, 443086,
Russian Federation

igolkin.aa@ssau.ru

The noise of mechanical engineering products is strictly regulated by national standards. Noise requirements tend to become more stringent. The article describes the experience of using MR material to reduce the noise level of various products.

Keywords: muffler; noise; MR; test stand; pneumatic hand tool; sound-absorbing design

References

- [1] Soifer, A.M., Buzitsky, V.N. and Pershin V.A. (1961), *Elastic element for damping systems*, USSR. A.s. 136608, Bull. No. 5. (in Russian)
- [2] Soifer, A.M., Buzitsky, V.N. and Pershin V.A. (1966), *Method for manufacturing nonwoven material MR from metal wire*, USSR, A.s. 183174, Bull. No. 13 (in Russian)
- [3] Balakin, V.L. and Novikova, A.L. (2002), *Ot KuAI do SGAU. Sbornik ocherkov* [From KuAI to SSAU. Collection of essays], Samara, Samara Printing House, 2002. (in Russian)
- [4] Belousov, A.I., Lazutkin, G.V. and Zhizhkin, A.M. (1989), "On increasing the thermal conductivity of elastic-damping elements made of MR material", *News of universities. Aviation technology*, No. 3, pp.84-86. (in Russian)
- [5] Belousov, A.I., Shakhmatov, E.V. and Kirilin, A.N., et al. (2009) *Elementy pnevmogidroapparaty iz uprugoporistogo netkanogo metallicheskogo materiala: monografiya* [Elements of pneumohydraulic equipment made of elastic-porous nonwoven metal material: monograph], SSAU, Samara. (in Russian)
- [6] Boltov, E.A., Makaryants, M.V., Stolyarov, D.V., Shevelev, N.V., Igolkin, A.A., The Russian Federation, on behalf of which the State Corporation for Space Activities Roscosmos acts (2019), *Glushitel'* [Muffler], Patent No. 2690894. (in Russian)
- [7] Buzitsky, V.N. (1975), "All-metal shock absorbers made of MR material for units and systems of aircraft engines", D. tech. Sc. Thesis, KuAI, Kuibyshev. (in Russian)
- [8] Igolkin, A. A. (2015), "Development of aerodynamic noise silencers for pneumatic and gas transport systems", D. tech. Sc. Thesis, St. Petersburg. (in Russian)
- [9] Izzheurov, E.A. (2001), *Formation of structural elements of the hydrodynamic path of power plants from elastically porous material MR*, Mechanical Engineering, Moscow. (in Russian)
- [10] Soifer, A.M. (1967), "About the calculation model of the material MR", *Vibration strength and reliability of engines and aircraft systems: collection of scientific works*, KuAI, Kuibyshev, Vol. 30, pp. 8-16. (in Russian)
- [11] Ulanov, A.M. (2009), "Development of methods for calculating static, dynamic and resource characteristics of vibration isolators made of MR material", D. tech. Sc. Thesis, SSAU, Samara. (in Russian)
- [12] Chegodaev, D.E. and Ponomarev, Yu.K. (1997), *Dempfirovanie* [Damping], SSAU, Samara.
- [13] Chegodaev, D.E., Mulyukin, O.P. and Kolygin, E.V. (1994), "Konstruirovaniye rabochikh organov mashin i oborudovaniya iz uprugoporistogo materiala MR" : *uchebnoe posobie. 4.1* [Design of working parts of machines and equipment from elastic-porous material MR: textbook. 4.1], EGPTT "Aviator", Samara. (in Russian)
- [14] Khaletskiy, Y., Pochkin, Y. and Igolkin, A. (2013), "Acoustic response of a fan duct liner including porous material", *The 20st International Congress on Sound and Vibration (ICSV 20)*, Bangkok, Thailand, July 7 – 11.