



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2019-126-8-109-116>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 961.762

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ ПОРОШКА ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ШУМА

ПИЛИНЕВИЧ Л.П., ТУМИЛОВИЧ М.В., КРАВЦОВ А.Г., РУМЯНЦЕВ Д.М., ГРИБ К.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Поступила в редакцию 15 октября 2019

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2019

Аннотация. Одним из основных средств снижения аэродинамического шума является применение глушителей, которые могут быть изготовлены из различных пористых материалов в зависимости от конкретных условий их эксплуатации. Целью работы является исследование зависимости величины снижения уровня шума от характеристик пористых проницаемых материалов (ППМ), полученных методом вибрационного формования из металлических порошков. Такие ППМ имеют широкий диапазон пористости, высокую проницаемость, механическую прочность, обеспечивают способность к работе в широком диапазоне температур, высокую коррозионную стойкость и поэтому находят все более широкое применение на практике. При конструировании глушителей шума учитывают величину их пор, проницаемость, механическую прочность, стоимость, а также химический состав материала. Основные методы исследования – определение уровня шума, размера частиц порошка, коэффициента проницаемости, размеров пор. Вибрационное формование образцов ППМ для экспериментальных исследований проводили на вибрационном стенде ВЭДС 10-1А при параметрах вибрации, которые обеспечивали максимальные значения насыпной плотности порошка в форме (ускорение 10 м/с^2 , частота 500 Гц). Основные результаты – исследована зависимость величины снижения уровня шума от характеристик ППМ, полученных методом вибрационного формования металлических порошков различных марок различного гранулометрического состава. Показано, что наиболее эффективное глушение обеспечивают ППМ из сферического порошка бронзы марки БрОФ10-1 с размерами частиц 350–400 мкм, которые обеспечивают одновременно сочетание высокого уровня снижения шума и высокой проницаемости по воздуху или газу. Установлено, что толщина ППМ значительно влияет на эффективность глушения шума, при этом минимальная толщина ППМ, которая обеспечивает достаточно высокую степень снижения уровня шума, составляет около 3,5 мм, поэтому увеличивать толщину материала глушителя выше указанной величины нецелесообразно.

Ключевые слова: металлические порошки, пористый проницаемый материал, уровень шума, вибрация, частота вибрации, коэффициент проницаемости.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Пилиневич Л.П., Тумилович М.В., Кравцов А.Г., Румянцев Д.М., Гриб К.В. Влияние размеров частиц порошка пористых материалов на снижение уровня аэродинамического шума. Доклады БГУИР. 2019; 7–8(126): 109-116.

INFLUENCE OF POWDER PARTICLE SIZES OF POROUS MATERIALS ON REDUCING THE AERODYNAMIC NOISE LEVEL

LEANID P. PILINEVICH, MIRASLAU V. TUMILOVICH, ALIAKSANDAR G. KRAVTSOV,
DZMITRY M. RUMIANTSEV, KANSTANSIN V. HRYB

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Submitted 15 October 2019

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2019

Abstract. One of the main means of reducing aerodynamic noise is the use of silencers, which can be made of various porous materials, depending on the specific operating conditions. The aim of the work is to study the dependence of the noise reduction on the characteristics of porous permeable materials (PPM) obtained by vibration molding from metal powders. Such PPMs have a wide range of porosity, high permeability, mechanical strength, provide the ability to work in a wide temperature range, high corrosion resistance, and therefore find more and more widespread application in practice. When designing silencers, their pore size, permeability, mechanical strength, cost, and the chemical composition of the material are taken into account. Basic research methods – determination of noise level, powder particle size, permeability coefficient, pore size. Vibration molding of PPM samples for experimental studies was carried out on a ВЭДС 10-1A vibration bench with vibration parameters that ensured the maximum bulk density of the powder in the mold (acceleration 10 m/s^2 , frequency 500 Hz). Main results – the dependence of the noise reduction value on the PPM characteristics obtained by the method of vibration molding of metal powders of various grades of various particle size distribution was studied. It has been shown that the most effective damping is provided by PPM from spherical bronze powder of the БрОФ10-1 grade with particle sizes of 350–400 microns, which provides at the same time a combination of a high level of noise reduction and high permeability to air or gas. It was found that the thickness of the muff significantly affects the efficiency of noise suppression, while the minimum thickness of the muff, which provides a sufficiently high degree of noise reduction, is about 3.5 mm, therefore it is not practical to increase the thickness of the muffler material above this value.

Keywords: metal powders, porous permeable material, noise level, vibration, vibration frequency, permeability coefficient.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Pilinevich L.P., Tumilovich M.V., Kravtsov A.G., Rumiyantsev D.M., Grib K.V. Influence of powder particle sizes of porous materials on reducing the aerodynamic noise level. *Doklady BGUIR*. 2019; 7–8(126): 109–116.

Введение

В настоящее время в связи с появлением принципиально новой электронной и электрической техники с улучшенными эксплуатационными характеристиками по производительности и мощности увеличивается количество охлаждающего воздуха, необходимого для отвода выделяемой теплоты, что сопровождается увеличением уровня аэродинамического шума. Шум оказывает вредное воздействие на организм человека и может быть причиной различных заболеваний. Одним из основных средств снижения аэродинамического шума является применение глушителей, выбор которых зависит от конкретных условий эксплуатации каждой установки, спектра частот и величины уровня шума. Анализ информационных источников показал, что перспективными материалами, применяемыми в качестве глушителей шума, являются пористые проницаемые материалы (ППМ) из металлических порошков [1]. Они имеют широкий диапазон пористости, высокую проницаемость, механическую прочность, способность к работе в широком диапазоне температур, высокую коррозионную стойкость, поэтому такие глушители находят все более широкое применение на практике. При конструировании глушителей шума учитывают величину их пор, проницаемость, механическую прочность, стоимость, а также химический состав материала, который должен быть инертен к составу газовой смеси. Одним из перспективных направлений создания высокоэффективных ППМ из металлических порошков различного назначения, в том

числе и для глушения шума, является формирование с помощью вибраций [2]. К настоящему времени накоплен определенный теоретический и экспериментальный материал о влиянии параметров вибраций на процессы формирования металлических порошков и на их физико-механические характеристики. Однако отсутствует обоснованный выбор ППМ с заданными эксплуатационными характеристиками для глушения шума с конкретными аэродинамическими характеристиками. В связи с вышеизложенным целью данной работы является исследование зависимости величины снижения уровня шума от характеристик ППМ, полученных методом вибрационного формирования.

Теоретический анализ

Главным достоинством ППМ является то, что такие материалы сочетают в себе два типа аэродинамических глушителей (активный и реактивный), так как в зависимости от способа его изготовления можно получать разнообразные поровые структуры из различных металлических порошков. В реактивных глушителях снижение шума обеспечивается за счет отражения звуковой энергии обратно к источнику вследствие влияния массы и упругости газа в элементах глушителя, которые выполняются в виде камер расширения, трубок, перегородок, резонаторных отростков. Эти глушители эффективны для подавления шумов, содержащих ярко выраженные составляющие на низких и средних частотах (шум двигателей внутреннего сгорания, поршневых и ротационных компрессоров, пневмодвигателей) [3].

В активных глушителях снижение шума достигается за счет потерь акустической энергии на трение в звукопоглощающих материалах и фрикционных элементах (мелких отверстиях, щелях), расположенных последовательно или параллельно пульсирующему газовому потоку. Такие глушители применяются, например, для снижения шума вентиляторов, систем сброса сжатого газа и др.

В активных глушителях с параллельной фрикцией основную роль в снижении шума играет звукопоглотитель, в качестве которого применяются ППМ. При распространении звуковых волн в поглощающем материале возникают потери, обусловленные вязким трением при колебательном движении газа в порах, внутренним трением, а также теплообменом между газом и материалом [3].

В активных глушителях с последовательной фрикцией звуковая энергия расходуется на работу сил трения при прохождении газового потока через элементы трения в виде перфорированных трубок, сетчатых перегородок, решеток или пористых материалов. На эффективность снижения шума реактивных глушителей шума влияют такие параметры пористых материалов, как, например, пористость, размер пор и их форма, толщина пористого материала и др.

Приблизительно эффективность ΔL активных глушителей с последовательной фрикцией, выполненных из пористых металлов, можно определять по формуле

$$\Delta L = 20 \lg \frac{d_1^2}{d_0^2} \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi f}{c} \cdot \frac{V}{S} \cdot \frac{r}{p_c} \right)^2}, \text{ дБ}, \quad (1)$$

где d_1 – диаметр эквивалентной сферы для глушителя цилиндрической, конусной и другой формы, м; d_0 – диаметр подводящего штуцера, м; f – расчетная частота звука, Гц; V – объем внутренней полости глушителя, м; S – площадь сечения глушителя, м²; p_c – плотность воздуха, кг/м³; c – скорость звука, м/с; r – сопротивление продуванию пористых стенок глушителя, Па с/м.

Расчет глушителя носит поверочный характер; необходимо знать параметры источника шума, конструктивную схему и приближенные геометрические размеры глушителя. Если в результате расчета окажется, что выбранный глушитель не обладает необходимой эффективностью, то следует изменить геометрические размеры, пористость элемента или величину r и произвести расчет вновь. Снижение уровня шума в перфорированном (реактивном) глушителе определяется выражением [4]

$$\Delta L = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\sqrt{\frac{C_0 V}{2S}}}{\bar{f} - \frac{1}{f}} \right)^2 \right], \text{ дБ}, \quad (2)$$

где C_0 – акустическая проводимость отверстий; V – объем резонансной камеры; S – площадь сечения глушителя, м^2 ; $\bar{f} = \frac{1}{f}$ – безразмерная частота; f – частота в третьоктавной полосе частот, Гц.

Акустическая проводимость отверстий, в свою очередь, определяется формулой

$$C_0 = \frac{0,785d_{\text{отв}}^2 n_0}{h + 0,785 \frac{d}{j}}, \quad (3)$$

где $d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстия; n_0 – число отверстий; h – толщина стенки трубки; j – функция, зависящая от относительного шага расположения отверстий (определяется опытным путем).

Свободное сечение глушителя $F_{\text{св}}$, м^2 , определяют по формуле

$$F_{\text{св}} = \frac{G}{V_{\text{доп}}}, \quad (4)$$

где G – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$; $V_{\text{доп}}$ – допустимая скорость воздуха, $\text{м}/\text{с}$.

Для пористых материалов из сферических частиц средний размер пор $d_{\text{пор}}$, мм , определяется по формуле

$$d_{\text{пор}} = \frac{2}{3} \frac{\Pi d_{\text{ч}}}{(1 - \Pi)}, \quad (5)$$

где $d_{\text{ч}}$ – средний размер частиц порошка, мм ; Π – пористость материала, безразмерная величина (для сферической бронзы равна 0,4).

Гидравлическое сопротивление P , Па, определяют по формуле

$$P = \frac{k\rho W^2}{2d_{\text{пор}}}, \quad (6)$$

где W – скорость газа в порах, $\text{м}/\text{с}$; ρ – плотность газа, $\text{кг}/\text{м}^3$; k – коэффициент гидравлического сопротивления, безразмерная величина.

Коэффициент гидравлического сопротивления определяют по формуле

$$k = \frac{C(L + A\Pi^m \text{Re}^n)}{\text{Re}}, \quad (7)$$

где Re – число Рейнольдса потока, безразмерная величина; L – толщина стенки, м ; A , C , m , n – постоянные коэффициенты, для сферической бронзы $A = 5,56 \cdot 10^3$; $C = 152$; $m = -1,72$; $n = 0,9$.

Результаты экспериментальных исследований

Вибрационное формования образцов ППМ для экспериментальных исследований проводили на вибрационном стенде ВЭДС 10-1А. На основании данных работы [5] для формования образцов ППМ выбраны параметры вибрации, которые обеспечивают максимальные значения насыпной плотности порошка в форме (ускорение $10 \text{ м}/\text{с}^2$, частота 500 Гц).

Необходимо отметить, что очень важной структурной характеристикой пористого материала является ее регулярность [6], которая достигается при определенной критической толщине ППМ, ниже которой ее можно считать нерегулярной, а выше – регулярной. Объективные результаты исследований влияния тех или иных технологических режимов изготовления на свойства ППМ

можно получить только в том случае, если пористая структура регулярная, а для этого необходимо знать критическую (минимальную) толщину, при которой она достигается. Поровая структура считается регулярной, если коэффициент регулярности равен 1, поэтому проведены экспериментальные исследования по определению влияния толщины материала на регулярность пористых структур ППМ, полученных методом вибрационного формования порошков различного гранулометрического состава. Результаты экспериментальных исследований регулярности поровой структуры ППМ, полученных методом вибрационного формования из сферических порошков, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Минимальные значения толщины образца из сферических порошков, при которой поровая структура регулярна

Table 1. The minimum values of the thickness of a sample of spherical powders at which the pore structure is regular

Размер частиц, мм Particle size, mm	Минимальная толщина образца, мм Minimum sample thickness, mm
(–0,063...+0,04)	0,42
(–0,1...+0,063)	0,70
(–0,16...+0,1)	1,20
(–0,2...+0,16)	1,70
(–0,315...+0,2)	2,30
(–0,4...+0,315)	3,30

Измерение уровня шума производили с помощью шумомера ИШВ-1. Для определения наиболее эффективного материала аэродинамического шума проведены исследования снижения величины уровня шума глушителями из различных материалов. Для этого изготавливались образцы в виде дисков диаметром 30 мм и толщиной 4 мм. Толщина выбиралась из расчета, чтобы поровая структура ППМ была регулярной. Образцы изготавливались из следующих порошков: коррозионно-стойкой стали марки Х18Н10, титана марки ВТ9, меди марки ПМС, бронзы марки БрОФ10-1, никеля марки ПН-2. Спекание образцов проводили в защитной атмосфере или в вакууме при температуре, которая обеспечивала соотношение контактной шейки к диаметру в зависимости от размеров частицы порошка 0,15–0,2. Данное соотношение является оптимальным для ППМ, так как обеспечиваются высокая проницаемость и высокие значения механической прочности [7].

На рис. 1 представлены результаты исследований эффективности глушения шума в широком диапазоне частот различными ППМ с размерами пор ($d_{\text{пор}} = 100 \pm 5$ мкм).

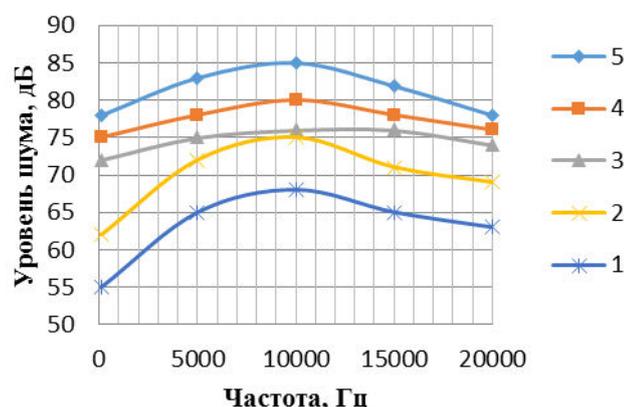


Рис. 1. Зависимость величины снижения уровня шума ППМ из различных материалов от частоты шума: 1 – порошок титана марки ВТ9; 2 – порошок коррозионно-стойкой стали марки Х18Н10; 3 – порошок меди марки ПМС, 4 – порошок никеля марки ПН-2; 5 – порошок бронзы марки БрОФ10-1

Fig. 1. Dependence of the magnitude of the decrease in the noise level of PPM from various materials on the noise frequency: 1 – ВТ9 grade titanium powder; 2 – powder of corrosion-resistant steel grade Х18Н10; 3 – ПМС grade copper powder; 4 – ПН-2 grade nickel powder; 5 – БрОФ10-1 brand bronze powder

Из рис. 1 видно, что наиболее эффективное глушение шума в данном диапазоне частот обеспечивает ППМ из порошка бронзы марки БрОФ10-1.

Основные свойства образцов ППМ из порошка бронзы марки БрОФ10-1, полученных вибрационным формованием (ускорение 10 м/с^2 , частота 500 Гц), представлены в табл. 2, а на рис. 2 представлены фотографии частиц порошка бронзы, из которых были изготовлены образцы ППМ для исследований.

Таблица 2. Свойства ППМ из порошка бронзы марки БрОФ10-1
Table 1. Properties of PPM from BrOF10-1 brand bronze powder

Размер частиц порошка, мм Powder particle size, mm	Средний размер пор, мкм The average pore size, microns	Максимальный размер пор, мкм The maximum pore size, microns	Коэффициент проницаемости, $\times 10^{13}, \text{ м}^2$ Permeability coefficient, $\times 10^{13}, \text{ м}^2$	Номинальное усилие среза, кН Rated shear force, kN
-0,063...+0,04	16	18	29	4,8
-0,1...+0,063	26	33	50	4,8
-0,16...+0,1	40	48	105	4,7
-0,2...+0,16	63	76	140	4,7
-0,315...+0,2	46	85	290	4,7
-0,4...+0,315	90	96	650	4,6
-0,63...+0,4	138	155	880	4,6

На рис. 3 приведены результаты исследований зависимости уровня шума в октавной полосе со среднегеометрической частотой 500 Гц и коэффициента проницаемости ППМ от размера частиц исходного порошка БрОФ10-1.

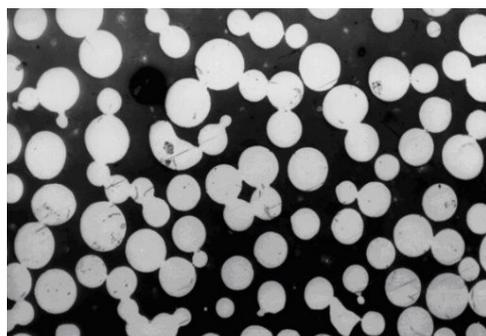


Рис. 2. Фотография шлифа частиц порошка бронзы марки БрОФ10-1, $\times 100$
Fig. 2. Photo of a thin section of particles of bronze powder of the grade BrOF10-1, $\times 100$

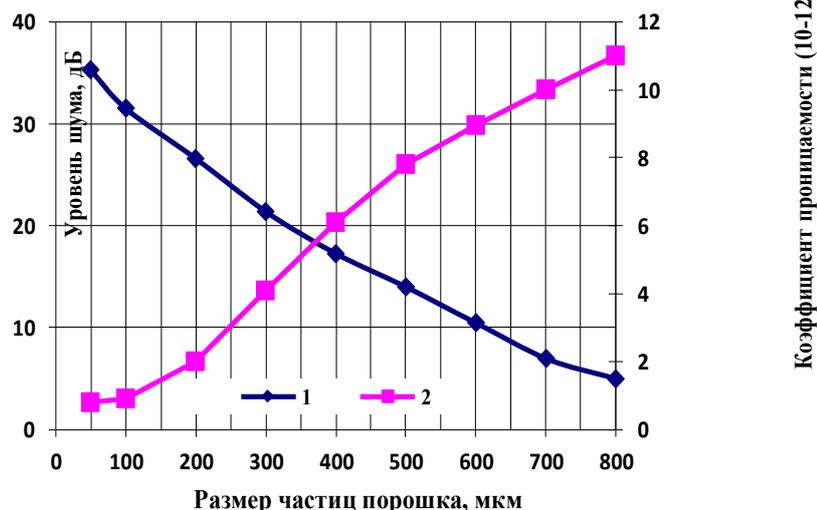


Рис. 3. Зависимость уровня шума (1) и коэффициента проницаемости (2) от размера частиц порошка марки БрОФ10-1

Fig. 3. Dependence of noise level (1) and permeability coefficient (2) on the particle size of BrOF10-1 powder

Анализ приведенных результатов исследований показывает, что наиболее эффективными материалами являются материалы, изготовленные из порошков с размерами 350–400 мкм, которые обеспечивает высокую эффективность снижения уровня шума и высокую проницаемость газа. Кроме того, на эффективность глушения шума оказывает значительное влияние и толщина ППМ.

На рис. 4 приведены экспериментальные данные зависимости эффективности глушения шума от толщины ППМ, изготовленных из порошка с размерами частиц (-0,4...+0,315) мкм.

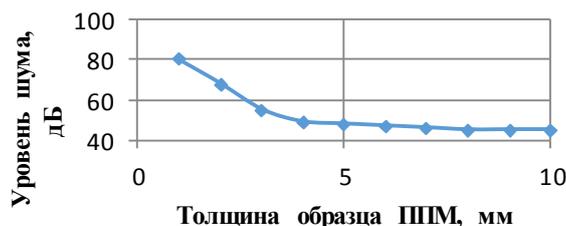


Рис. 4. Экспериментальные данные зависимости эффективности глушения шума от толщины ППМ
Fig. 4. Experimental data on the dependence of the efficiency of noise suppression on the thickness of the PPM

Анализ данных экспериментальных результатов показывает, что толщина ППМ значительно влияет на эффективность глушения шума, при этом минимальная толщина ППМ, которая обеспечивает достаточно высокую степень снижения уровня шума, составляет около 3,5 мм, поэтому увеличивать толщину материала глушителя выше указанной величины нецелесообразно. Это связано с тем, что уровень шума уменьшается всего на 3–5 дБ, а проницаемость глушителей значительно снижается при увеличении материалоемкости и массы изделий.

Заключение

Исследована зависимость величины снижения уровня шума от характеристик ППМ, полученных методом вибрационного формования металлических порошков. Показано, что наиболее эффективное глушение обеспечивают ППМ из порошка бронзы БрОФ10-1 с размерами частиц 350–400 мкм, которые обеспечивают одновременно сочетание высокого уровня снижения шума и высокой проницаемости по газу. Установлено, что толщина ППМ значительно влияет на эффективность глушения шума, при этом минимальная толщина ППМ, которая обеспечивает достаточно высокую степень снижения уровня шума, составляет около 3,5 мм, поэтому увеличивать толщину материала глушителя выше указанной величины нецелесообразно.

Список литературы

1. Тумилович М.В., Пилиневич Л.П. Исследование процесса получения глушителей шума с повышенной эффективностью из пористых порошковых материалов. *Доклады БГУИР*. 2018;5:9-23.
2. Мазюк В.В., Пилиневич Л.П., Савич В.В., Тумилович М.В. *Пористые порошковые материалы с анизотропной структурой: методы получения*. Минск: Томпик; 2005.
3. Тумилович М.В., Пилиневич Л.П., Савич В.В., Смoryго О.Л., Галкин А.Е. *Пористые порошковые материалы и изделия на их основе для защиты здоровья человека и охраны окружающей среды: получение, свойства, применение*. Минск: Беларуская навука; 2010.
4. Бердников Л.А., Шишкин Д.А., Пачурин Г.В. Расчетные исследования влияния геометрических параметров резонансного (перфорированного) глушителя шума на эффективность снижения уровня шума. *Фундаментальные исследования*. 2015;2(4):701-703.
5. Пилиневич Л.П., Капцевич В.М., Беденко С.А. Влияние режимов вибрации на насыпную плотность и текучесть порошков. *Сб. Порошковая металлургия*. Минск: Вышэйшая школа. 1992;16:3-6.
6. Галкин А.Е., Пилиневич Л.П., Савич В.В. Влияние регулярности структуры на свойства фильтрующих материалов. *Сб. Порошковая металлургия*. Минск: Кибер. 1995;18:56-63.
7. Шатт В. *Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы*. Москва: Металлургия; 1983.

References

1. Tumilovich M.V., Pilinevich L.P. [Investigation of the process of obtaining noise mufflers with increased efficiency from porous powder materials]. *Doklady BGUIR=Doklady BGUIR*. 2018;5:19-23.
2. Mazuk V.V., Pilinevich L.P., Savich V.V., Tumilovich M.V. [*Porous powder materials with anisotropic structure: production methods*]. Minsk: Tompik; 2005.
3. Tumilovich M.V., Pilinevich L.P., Savich V.V., Smorygo O.L., Galkin A.E. [*Porous powder materials and products based on them for protecting human health and environmental protection: production, properties, application*]. Minsk: Belarus. Navuka; 2010.
4. Berdnikov L.A., Shishkin D.A., Pachurin G.V. [Computational studies of the influence of the geometric parameters of a resonant (perforated) silencer on the effectiveness of noise reduction]. *Basic research*. 2015;2(4):701-703.
5. Pilinevich L.P., Kaptevech V.M., Bedenko S.A. [The influence of vibration modes on bulk density and fluidity

- of powders. *Sat Powder metallurgy*. Minsk: Higher. school. 1992;16:3-6.
- Galkin A.E., Pilinevich L.P., Savich V.V. [The influence of regularity of the structure on the properties of filter materials]. *Sat Powder metallurgy*. Minsk: Cyber. 1995;18:56-63.
 - Shatt V. [*Powder metallurgy. Sintered and Composite Materials*]. Moscow: Metallurgy; 1983.

Вклад авторов

Пилиневич Л.П. провел теоретический анализ исследуемой проблемы.
Тумилович М.В. сформулировал цель и задачи исследований, экспериментально исследовал влияние размеров частиц порошка на размер пор и коэффициент проницаемости.
Кавцов А.Г. написал введение, заключение, провел анализ полученных результатов.
Румянцев Д.М. и Гриб К.В. провели экспериментальные исследования влияния размера частиц порошка и толщины ППМ на уровень глушения шума, провели обработку полученных данных.

Вклад каждого автора составляет 20 %.

Authors contribution

Pilinevich L.P. conducted a theoretical analysis of the investigated problem.
Tumilovich M.V. formulated the goal and objectives of the research, experimentally investigated the effect of the particle size of the powder on the pore size and permeability coefficient.
Kavtsov A.G. wrote an introduction, a conclusion, conducted an analysis of the results.
Rumyantsev D.M. and Hryb K.V. conducted experimental studies of the effect of powder particle size and the thickness of the PPM on the level of noise suppression, conducted processing of the data.

The contribution of each author is 20 %.

Сведения об авторах

Тумилович М.В., д.т.н., доцент, начальник управления подготовки научных кадров высшей квалификации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Пилиневич Л.П., д.т.н., профессор, профессор кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Кравцов А.Г., д.т.н., профессор, профессор кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Румянцев Д.М., аспирант кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Гриб К.В., аспирант кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, д. 6,
Белорусский государственный
университет информатики и радиоэлектроники
тел.+375-17-293-88-83;
e-mail: tumilovich@bsuir.by
Тумилович Мировслав Викторович

Information about the authors

Tumilovich M.V., D.Sci, Associate Professor, Head of Department of Preparation of Scientific Shots of the Top Skills of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Pilinevich L.P. D.Sci, Professor, Professor of Department of Engineering Psychology and Ergonomics of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Kravtsov A.G., D.Sci, Professor, Professor of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Rumiantsev D.M., PG student of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics, of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Hryb K.V., PG student of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics, of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki st., 6,
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
tel. +375-17-293-88-83;
e-mail: tumilovich@bsuir.by
Tumilovich Miraslau Viktorovich