

Исследована зависимость коэффициента звукопоглощения пористого материала МР от его параметров: пористости и диаметра проволоки.

Развитие современной техники, прежде всего авиационной и ракетно-космической характеризуется увеличением энергонапряженности энергетических установок, интенсификацией протекающих в них процессов, ростом нестационарных механических, тепловых и гидродинамических нагрузок на элементы конструкции изделий.

При создании современных энергетических установок наряду с решением традиционных проблем, связанных с надежностью, технологичностью, конкурентоспособной ценой, необходимо решить и целый ряд новых проблем. В первую очередь к ним относятся экологические проблемы, а именно вопросы выброса вредных веществ и повышенные уровни шума. Для снижения шума в настоящее время широко используют пористые материалы. Металлорезина (МР) – однородная пористая структура, полученная холодным прессованием дозированной по весу вытянутой проволоочной спирали, нашла широкое применение для демпфирования элементов конструкций энергетических установок.

Возможность использование его в звукопоглощающих конструкциях изучено не полно, имеющиеся результаты не обобщены.

Материал МР выгодно отличается от существующих пористых материалов, благодаря совокупности преимуществ характерных только этому материалу:

- широкие возможности моделирования акустических характеристик на стадии проектирования;

- создание градиента свойств (пористости, проницаемости) пористых элементов;

- возможность внедрения в фильтрующий элемент каталитических добавок.

Однако пористые материалы эффективны в области высоких частот. Поэтому в работе приведены результаты исследования акустических характеристик материала МР в

высокочастотной области. Были исследованы 12 образцов из МР (таблица 1) различных толщин l , пористости Π и диаметра проволоки d_n .

Таблица 1. Значения пористости и диаметра проволоки для различных образцов

№ образца	d_n , мм;	Π
1	0,1	0,6
2	0,1	0,7
3	0,1	0,8
4	0,2	0,6
5	0,2	0,7
6	0,2	0,8
7	0,12	0,6
8	0,12	0,7
9	0,12	0,8
10	0,15	0,6
11	0,15	0,7
12	0,15	0,8

Кроме того, каждый образец мог иметь толщины $l = 10, 15, 20, 30, 45$ мм.

Результаты исследования одного из образцов приведены на рис. 1.

Из анализа полученных экспериментальных данных видно, что с увеличением толщины резонансная частота снижается. Резонансные частоты f_p определяются из соотношения скорости звука в материале и толщины материала:

$$f_p = \frac{m \cdot c}{4 \cdot l}, \quad (1)$$

где c – скорость звука;

l – толщина звукопоглощающего слоя;

$n = 1, 3, 5 \dots$

Первый резонанс (таблица 2) наступает при толщине материала, равной четверти длины звуковой волны, распространяющейся в материале.

По зависимости (1) была рассчитана скорость звука в материале МР. Расчетные данные представлены в таблице 3.

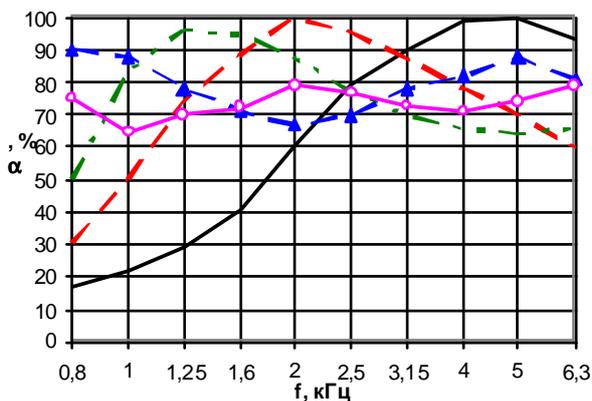


Рис.1. Коэффициент звукопоглощения образца № 4 ($d_n = 0,2$ мм; $P=0,6$):

- -толщина образца $l=10$ мм;
- - -толщина образца $l=15$ мм;
- - -толщина образца $l=20$ мм;
- ▲-толщина образца $l=30$ мм;
- толщина образца $l=45$ мм

Таблица. 2. Резонансные частоты испытуемых образцов (Гц)

№	$l, \text{ мм}$				
	10	15	20	30	45
1	3150	1600	1000	3150	5000
2	5000	2500	1600	5000	2500
3	6300	3150	2000	6300	3150
4	5000	2000	1250	800	2000
5	6300	2500	1600	6300	2500
6	8000	4000	2500	1250	3150
7	4000	2000	1250	4000	800
8	6300	2500	1600	1000	2500
9	8000	4000	2000	1250	3150
10	4000	2000	1250	800	2000
11	6300	2500	1600	1000	2500
12	8000	5000	2500	1250	800

Таблица 3. Скорость звука в материале МР

№	$l, \text{ мм}$				
	10	15	20	30	45
1	126	96	80	75,6	75
2	200	150	128	120	90
3	252	189	160	151,2	141,75
4	200	120	100	96	90
5	252	150	128	126	112,5
6	320	240	200	150	141,75
7	160	120	100	96	72
8	252	150	128	120	112,5
9	320	240	160	150	141,75
10	160	120	100	96	90
11	252	150	128	120	112,5
12	320	300	200	150	144

Пористость оказывает существенное влияние на импеданс образца z , и, следовательно, на коэффициент звукопоглощения. Чем сильнее z отличается от волнового сопротивления среды, тем больше отражающая способность материала.

Как было показано выше, толщина слоя влияет на вид частотной характеристики и с увеличением толщины первый максимум коэффициента звукопоглощения смещается в область низких частот. Поэтому для анализа влияния пористости материала на коэффициент звукопоглощения выбраны крайние значения толщины $l = 10$ мм и $l = 45$ мм. Тем самым можно рассматривать коэффициент звукопоглощения для образцов $l = 10$ мм как характеристику в нижнем диапазоне частот, для образцов $l = 45$ мм – в верхнем диапазоне рассматриваемых частот (рис.2, 3).

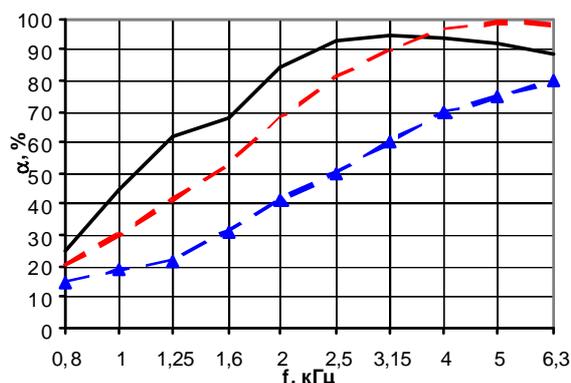


Рис.2. Зависимость коэффициента звукопоглощения от пористости $l = 10$ мм; $d_n = 0,1$ мм

- -пористость $P=0,6$;
- - -пористость $P=0,7$;
- ▲-пористость $P=0,8$

Из графиков зависимости коэффициента звукопоглощения материала МР от частоты для различных значений пористости при толщине слоя 10 мм снижение пористости приводит к увеличению коэффициента звукопоглощения для всех значений диаметра проволоки. На рис. 3 представлены такие графики для диаметра проволоки $d_n = 0,1$ мм. Видно, что по мере увеличения частоты характер графиков меняется, а именно коэффициент звукопоглощения на высоких частотах растет с увеличением пористости. Рис. 3 характеризует верхний диапазон рассматриваемых частот.

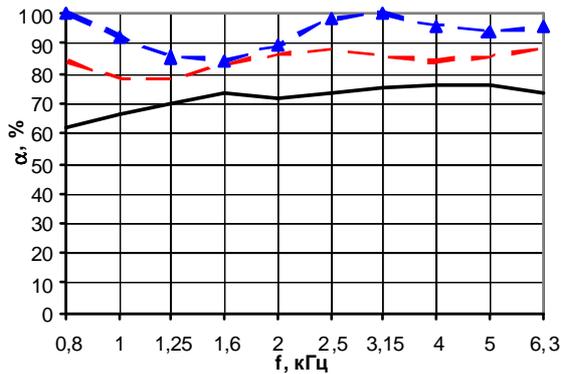


Рис.3. Зависимость коэффициента звукопоглощения от пористости

$l = 45 \text{ мм}; d_n = 0,1 \text{ мм}.$

- - пористость $P=0,6$;
- - - пористость $P=0,7$;
- · - пористость $P=0,8$

С увеличением пористости растет коэффициент звукопоглощения для всех диаметров проволоки. Увеличение пористости приводит к увеличению неравномерности коэффициента поглощения, вследствие более вероятной неоднородности структуры.

Представляет интерес анализ влияния диаметра проволоки на коэффициент звукопоглощения. Изменение диаметра проволоки приводит к изменению структурных параметров. Уменьшение d_n приводит к увеличению поглощающей способности материала с высокой пористостью ($P=0,8$) и незначительному смещению резонансных максимумов в область низких частот (рис.4) вследствие снижения скорости звука в материале (таблица 3).

Однако такая зависимость соблюдается только при условии, когда гидравлическое сопротивление r слоя материала находится в пределах, указанных в работе Е.Я. Юдина [1, 3].

$$2 \cdot \rho_0 \cdot c_0 < r < 4 \cdot \rho_0 \cdot c_0. \quad (2)$$

Уменьшение диаметра исходной проволоки для материала МР с пористостью $P = 0,6$ приводит к значительному увеличению гидравлического сопротивления материала, увеличению его отражающей способности и, как следствие, снижению коэффициента поглощения (рис.5).

На рис.5 представлены графики, показывающие зависимость коэффициента звукопоглощения от диаметра проволоки.

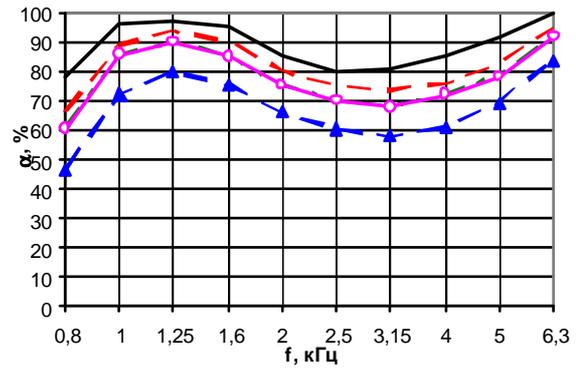


Рис.4. Зависимость коэффициента звукопоглощения от диаметра проволоки

$l = 30 \text{ мм}; P=0,8;$

- - диаметр проволоки $d_n = 0,1 \text{ мм};$
- - - диаметр проволоки $d_n = 0,12 \text{ мм};$
- · - диаметр проволоки $d_n = 0,15 \text{ мм};$
- - - диаметр проволоки $d_n = 0,2 \text{ мм}$

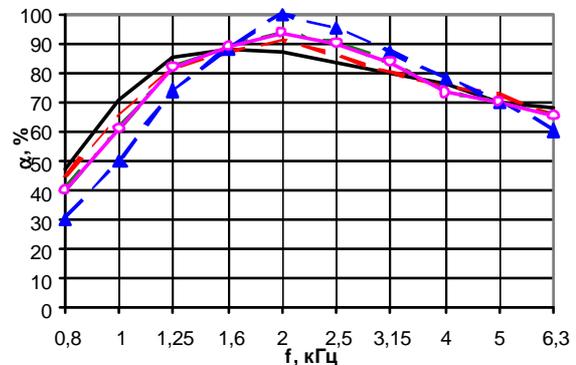


Рис.5. Зависимость коэффициента звукопоглощения образца от диаметра проволоки

$l = 15 \text{ мм}; P=0,6;$

- - диаметр проволоки $d_n = 0,1 \text{ мм};$
- - - диаметр проволоки $d_n = 0,12 \text{ мм};$
- · - диаметр проволоки $d_n = 0,15 \text{ мм};$
- - - диаметр проволоки $d_n = 0,2 \text{ мм}$

Из рассмотрения графиков видно, что для данных параметров образцов увеличение диаметра проволоки приводит к смещению резонансного максимума в область более высоких частот. При этой же пористости и других толщинах образцов зависимость от диаметра проволоки еще более слабая.

Для удобства использования большого количества полученных экспериментальных данных авторами предпринята попытка обобщения семейства кривых коэффициента звукопоглощения.

В частности, обобщены кривые коэффициента звукопоглощения по одному из важнейших параметров пористого материала - гидравлическому диаметру d_r , который для

материала МР равен среднему диаметру пор d_{cp} .

$$d_r = \frac{\Pi d_{II}}{(1 - \Pi)}, \quad (3)$$

где Π – пористость образца,

d_{II} – диаметр проволоки, из которой изготовлен образец.

В таблице 4 представлены значения гидравлического диаметра в зависимости от пористости образца и диаметра проволоки, из которой он изготовлен.

Таблица 4. Гидравлический диаметр в зависимости от пористости и диаметра проволоки

Π/d_n	0,1	0,12	0,15	0,2
0,6	0,15	0,18	0,23	0,3
0,7	0,23	0,28	0,35	0,46667
0,8	0,4	0,48	0,6	0,8

В таблице 5 представлены значения гидравлического диаметра для исследуемых образцов.

Таблица 5. Гидравлический диаметр для исследуемых образцов

№	1	2	3	4	5	6
d_r	0,15	0,23	0,4	0,3	0,47	0,8
№	7	8	9	10	11	12
d_r	0,18	0,28	0,48	0,23	0,35	0,6

В таблице 3 были представлены значения скорости звука, рассчитанной из первого резонанса образцов. Однако удобнее анализировать эти данные представленные в графическом виде (рис.6).

Скорость звука в материале меняется в зависимости от его структурных параметров (пористости Π и диаметра проволоки d_n). Видно, что скорость звука монотонно увеличивается с увеличением гидравлического диаметра.

Чем меньше толщина образца, тем выше скорость звука в материале МР что, видимо, связано с меньшим значением гидравлического сопротивления. Причем значение скорости звука в материале МР стремится к величине скорости звука в воздухе и достигает при $l = 10$ мм и $d_r = 0,6$ мм значения $c = 320$ м/с.

Требуются дополнительные исследования зависимости скорости звука от параметров материала МР, но, анализируя зави-

симости, представленные на рис. 6, можно сказать, что характер кривых одинаков

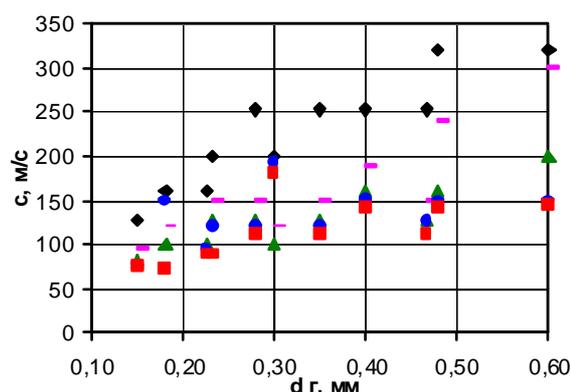


Рис.6. Скорости звука в материале МР от гидравлического диаметра и толщины
 ● - толщина образца $l=10$ мм;
 ■ - толщина образца $l=15$ мм;
 ▲ - толщина образца $l=20$ мм;
 ● - толщина образца $l=30$ мм;
 ■ - толщина образца $l=45$ мм

Из всего множества вариантов звукопоглотителей из материала МР одинаковым гидравлическим диаметром обладают образцы №2 и №10 (таблицы 4, 5). Учитывая, что экспериментальные исследования были проведены с погрешностью 10%, можно сравнить интервалы, в которых находятся коэффициенты звукопоглощения для различных образцов (рис.7). Пересечение областей и нанесение кривых коэффициента звукопоглощения соответствующих образцов (рис.8.) при одинаковой толщине подтвердила гипотезу зависимости коэффициента звукопоглощения от гидравлического диаметра, независимо от параметров проволоки и пористости образцов.

Хорошее совпадение результатов экспериментов позволяют обобщить результаты многочисленных экспериментов и использовать понятие гидравлический диаметр при моделировании процесса звукопоглощения в пористых структурах.

Такой подход обобщения экспериментальных данных позволит расширить технологические возможности и снизит себестоимость изготовления звукопоглощающих конструкций на основе материала МР.

Для дополнительного подтверждения гипотезы о зависимости акустических характеристик от гидравлического диаметра и разработки математической модели акустических характеристик материала МР необходимо проведение экспериментальных исследований образцов указанных в таблице 6.

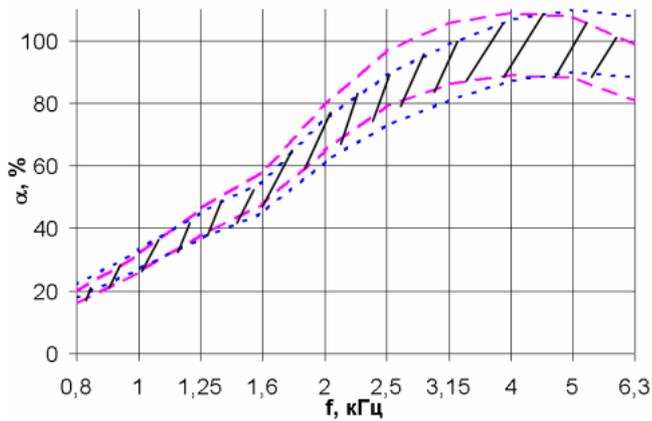


Рис.7. Верхняя и нижняя граница коэффициента звукопоглощения ($l = 10$ мм)

--- - границы интервала для образца № 2;
 — — - границы интервала для образца № 10;
 // - область пересечения;

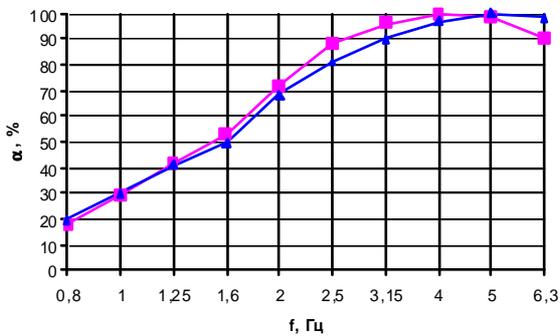


Рис.8. Коэффициенты звукопоглощения образцов № 2 и 10 ($L=10$)

■ - $d_n = 0,15$ мм; $\Pi=0,6$;
 ▲ - $d_n = 0,1$ мм; $\Pi=0,7$;

Из рассмотрения таблицы видно, что для различных вариантов пористости образцов и диаметров проволоки из которых они изготовлены множество образцов имеют одинаковый гидравлический диаметр.

Работа выполнена при поддержке министерства образования и науки РФ, правительства Самарской области (грант № 17Г-Р081-090), и Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (проект № 5590).

Таблица 6. Расчет параметров образцов из материала МР с одинаковым гидравлическим диаметром

П/дп	0,1	0,12	0,15	0,2
0,400	0,067	0,080	0,100	0,133
0,450	0,082	0,098	0,123	0,164
0,500	0,100	0,120	0,150	0,200
0,550	0,122	0,147	0,183	0,244
0,600	0,150	0,180	0,225	0,300
0,620	0,163	0,196	0,245	0,326
0,665	0,199	0,238	0,298	0,397
0,690	0,223	0,267	0,334	0,445
0,700	0,233	0,280	0,350	0,467
0,750	0,300	0,360	0,450	0,600
0,800	0,400	0,480	0,600	0,800
0,820	0,456	0,547	0,683	0,911
0,845	0,545	0,654	0,818	1,090
0,900	0,900	1,080	1,350	1,800
0,920	1,150	1,380	1,725	2,300

Список литературы

1. Борьба с шумом/ Под ред. Е.Я. Юдина. – М. : Стройиздат, 1964. – 689 с.
2. Борьба с шумом на производстве: Справочник/ Е. Я. Юдин, Л. А. Борисов, И. В. Горенштейн и др.; Под общ. ред. Е. Я. Юдина – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
3. Материалы и покрытия в экстремальных условиях. Взгляд в будущее: В 3 т. – Т.2. Передовые технологии производства / В.В. Скороход, Н.А. Никифоров, С.В. Резник и др., Под ред. С.В. Резника. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 296 с.
4. Изжеуров Е.А. Основы расчета и проектирование изделий из материала МР для гидрогазосистем энергетических установок М.: Машиностроение, 2001. – 286 с.
5. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении. – М.: Машиностроение. – 1981. – 247 с.

RESEARCH OF ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF MATERIAL MR

© 2006 A.A. Igolkin¹, E.A. Izzheurov¹, Czyan Hunuan², Uo Gouchi²

¹Samara state aerospace university

²Harbin institute of technology, Harbin

Results of the study of the acoustic features of the material MR are brought in work for different thicknesses, porosity and diameter of the wire. The curves of a sound absorption on one of the major parameters of a porous material to hydraulic diameter are generalized.