

ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО ГЛУШИТЕЛЯ – ВОЛНОВОДНОГО ИЗОЛЯТОРА, СОСТАВЛЕННОГО ИЗ ДВУХ НАБОРОВ РЕЗОНАТОРОВ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Р. Ш. Касимов, М. А. Миронов

*Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана,
факультет энергомашиностроения Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5
E-mail: rustam.kasimov.1995@gmail.com*

Цель работы - исследование реактивного широкополосного глушителя на основе набора резонаторов Гельмгольца. Описана теория волноводной изоляции на основе набора резонаторов Гельмгольца, настроенных на разные резонансные частоты. Цель использования разных резонансных частот состоит в расширении рабочей полосы изолятора. Представлена конструкция изолятора. Рассчитана его теоретическая эффективность.

Ключевые слова: теория волноводной изоляции, резонатор Гельмгольца, широкополосный глушитель шума, резонансная частота резонатора

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, наилучшими глушителями шума в транспортных средствах на низких частотах считаются резонаторы Гельмгольца [1]. Однако данные резонаторы эффективны лишь около своей резонансной частоты, что в свою очередь позволяет говорить о расширении полосы запираания частот выше резонансной при использовании цепочки одинаковых резонаторов Гельмгольца [2-4]. Объяснение такого явления состоит в том, что на частотах выше резонансной частоты эффективный импеданс стенки трубы является импедансом массового типа [4]. Именно поэтому происходит «запираение» волны на определенном спектре частот [5].

Если импеданс – массового типа, то при

$$\frac{ka|Z|}{2\rho c} < 1, \quad (1)$$

где a — радиус стенки трубы, m

эффективная сжимаемость отрицательна и $\xi^2 < 0$: волновод заперт, и волна превращается в экспоненциально-затухающее колебание $e^{-|\xi|x}$ [3].

В работе [4] экспериментально исследован волноводный изолятор, состоящий из одинаковых резонаторов Гельмгольца. В настоящей работе рассматривается волновой изолятор, состоящий из двух наборов резонаторов Гельмгольца. Предполагается, что наличие нескольких цепочек резонаторов, настроенных на различные частоты существенно увеличивает рабочую полосу изолятора.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Рассмотрим модель исследуемого изолятора. Она состоит из двух цепочек резонаторов Гельмгольца (1), имеющих различные параметры и расположенных вдоль трубы (2), по которой распространяется звуковая волна. Обе цепочки имеют по четыре одинаковых по своим параметрам резонатора. Каждый из них соединен с трубой с помощью отверстий (3). Размеры модели приведены на рисунке 1.

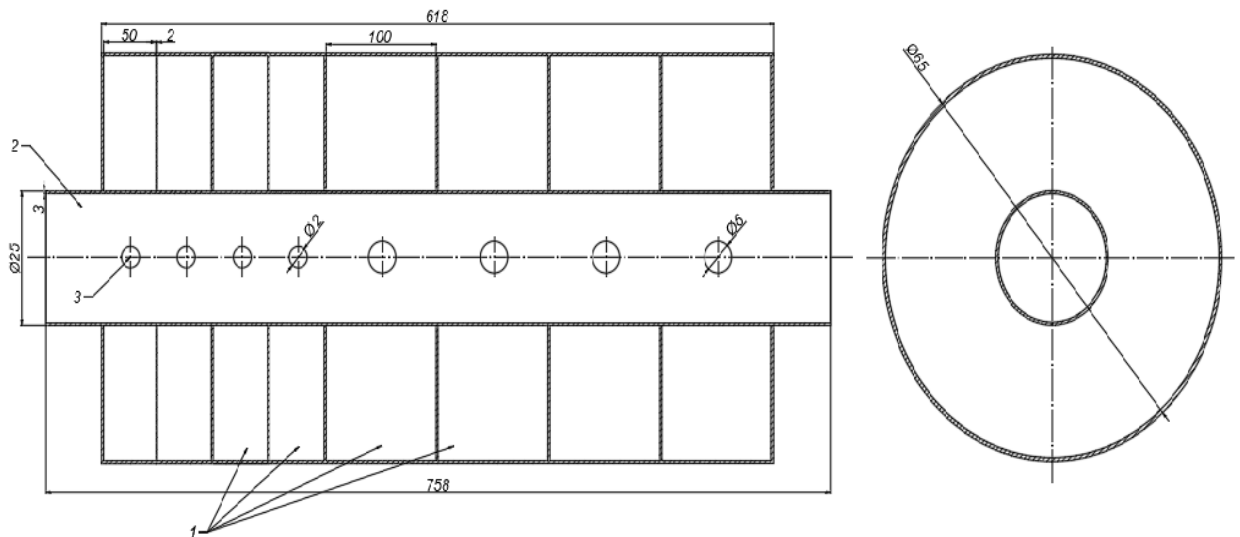


Рис. 1. Модель волноводного изолятора, настроенного на разные резонансные частоты

На рисунке 2 приведена фотография исследуемой модели глушителя шума, собранной в лабораторных условиях как опытный образец. Для теоретического расчета используются параметры волноводного изолятора, приведенного на рисунке (числовые данные указаны на рис. 1).



Рис 2. Экспериментальная установка

Резонансная частота для одного резонатора Гельмгольца (согл. [1]) рассчитывается по формуле:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_i}{L \cdot V_i}}, \quad (2)$$

где S_i – площадь сечений горла резонатора, причем $S_2 = 1.131 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ и $S_1 = 1.256 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$; L – эффективная длина горла резонатора, численно равная 1мм; V_i – объем резонатора за вычетом объема трубы (при длине $h_2 = 10 \text{ мм}$ и $h_1 = 5 \text{ мм}$); $V_2 = 3.035 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$ и $V_1 = 1,517 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$.

Подставив данные значения в расчетную формулу (2) получим значения $f_{01} = 155.72 \text{ Гц}$ и $f_{02} = 330.34 \text{ Гц}$.

Согласно [2], продольное волновое число ξ в такой трубе определяется формулой:

$$|\xi/k_0|^2 = -\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 \frac{N^2 - (\omega/\omega_0)^2}{(\omega/\omega_0)^2 - 1}, \quad (3)$$

где $k_0 = \omega_0 / c_0$, ω_0 – собственная частота резонаторов;

Частотный диапазон запираения определяется, как:

$$N^2 = \frac{\Omega}{\pi a^2} + 1, \quad (4)$$

где $\Omega = \pi(b^2 - a^2)$ – объем камеры резонатора, приходящийся на единицу длины трубы, a – радиус трубы, b – радиус внешней поверхности резонатора).

Диапазон частот запираения в этом случае будет выглядеть:

$$\omega_0 < \omega < N\omega_0, \quad (5)$$

Представим, что у нас имеется две отдельные цепочки, состоящие из четырех резонаторов Гельмгольца с резонансными частотами, рассчитанными по формуле (2).

Величина N , определяющая ширину полосы запираения равна 3.4.

Диапазон запираения для цепочки резонаторов с резонансной частотой f_1 : $155.72 < f < 532.74$ Гц, а f_2 : $330.34 < f < 1130$ Гц. Суммарный диапазон запираения частот для исследуемой модели широкополосного глушителя, состоящего из двух цепочек резонаторов Гельмгольца с резонансными частотами f_1 и f_2 лежит в интервалах от минимального значения 155.72 Гц до максимального 1130 Гц.

Таким образом, диапазон запираения $155.72 < f < 1130$ Гц расширился в 2.6 раз по отношению к изолятору, составленному из цепочки одинаковых резонаторов с резонансной частотой f_1 , и в f_2 раза по отношению к изолятору с резонансной частотой f_2 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно полученным результатам можно утверждать, что глушитель как изолятор, состоящий из нескольких цепочек резонаторов Гельмгольца, настроенных на разные резонансные частоты, может иметь более широкую рабочую полосу глушения, чем глушитель, состоящий из цепочки одинаковых резонаторов Гельмгольца. Однако не стоит забывать об ограниченности имеющегося места при проектировании глушителя, в связи с чем нецелесообразно установление большого количества резонаторов на различных частотах.

В дальнейшем предполагается провести экспериментальное исследование предложенного волноводного изолятора и спроектировать эффективную модель глушителя мотоцикла (по размерам соответствующую имеющимся или меньше), составленного из оптимального количества резонаторов Гельмгольца на различных частотах.

Главным достоинством волноводных конструкций является их малое сопротивление по сравнению с сопротивлением существующих глушителей [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Комкин А.И., Миронов М.А. Характеристики поглощения резонатора Гельмгольца.
2. Лапин А.Д. Звукоизоляция в волноводах // Акустический журнал. – 1975. – Т. 21, №3. – С. 337-350.
3. Исакович М.А. Теория волноводной изоляции волн в длинных линиях // Всесоюзная конференция «Распространение и дифракция волн», Ереван. 1973. Т. 60. № 2. С. 145– 151.
4. Залуцкая Р.Р., Миронов М.А. Экспериментальное исследование волноводного изолятора
5. Исакович М.А. Общая акустика. Наука. Москва. 1973, 496 стр.
6. Николаева В.А., Быков А.И, Смирнов С.Г. Исследование эффективности реактивных глушителей шума