

УДК 534.2:533;УДК 531.768.082.14

А.В. Ермолаев

**ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
МИКРОСИСТЕМНЫХ ПРИБОРНЫХ СРЕДСТВ  
ПРИ ВИБРАЦИОННОЙ И УДАРНОЙ НАГРУЗКЕ В БЕЗЭХОВОЙ КАМЕРЕ**

ООО «Оптолинк», Арзамасское отделение

Рассмотрена возможность использования безэховой камеры для исследования акустических характеристик микросистемных приборных средств при вибрационной и ударной нагрузке. Использование в безэховой камере мембранного резонансного звукопоглотителя позволяет снизить ее габариты до уровня миникамеры. Показан результат применения двух мембранных резонансных звукопоглотителей в объеме  $1,5\text{ м}^3$  для получения нижней граничной частоты 100,0 Гц.

*Ключевые слова:* безэховая камера, граничная частота, мембрана, резонансный звукопоглотитель, заглушенный объем

Для измерения акустических характеристик применяются акустические заглушенные камеры. По нормативным документам: ОСТ4.475.008-79 «Камеры звукомерные заглушенные для излучателей звука», ГОСТ23941-79, ГОСТ12.1.026-80, ГОСТ12.1.024-81, «Рекомендации по расчёту и проектированию акустических камер для измерения шумовых характеристик источников шума» акустические заглушенные камеры подразделяются на пять классов от четырех до нулевого. Один из основных параметров заглушенной камеры - нижняя граничная частота, частота, выше которой нормируется ошибка измерения звукового давления, изменяется в зависимости от класса камеры от 31,5 Гц для нулевого класса до 100 Гц для четвертого класса. Камеры с нижней граничной частотой ниже 31,5 Гц требуют больших капиталовложений как на этапе проектирования, так и на этапах строительства и аттестации.

Фирмы идут на затраты. Все автомобильные фирмы имеют акустические камеры для исследования акустических характеристик автомобилей и их узлов в большинстве режимов работы. Авиационными фирмами исследуются акустические характеристики работающих двигателей. База ВВС США «Эдвардс» имеет безэховую камеру заглушенными размерами 76,0 x 80 x 21 м, что позволяет проводить исследования акустических характеристик самолетов с работающими двигателями. Оказались также востребованными акустические камеры с нижней граничной частотой 100 Гц и выше. Фирмами миникамеры с нижней граничной частотой 250–350 Гц поставляются как метрологическое оборудование. Фирмой США Eckel предлагается портативная безэховая камера с нижней граничной частотой 250 Гц внешними размерами 2337x2337x2413 мм и внутренними размерами 1499x1499x1499мм, которая по инструкции собирается из трех секций на полу лаборатории.

В Арзамасском ОКБ «Импульс» в 1980 году была построена акустическая заглушенная камера. Предполагалось, прежде всего, по отведенному объёму под строительство и используемым материалам (толщина звукопоглощающего слоя 0,65 м и толщина стены, разделяющая акустическую камеру и аппаратную, 0,18 м), что строящаяся камера, хотя бы по некоторым параметрам, будет удовлетворять звукомерной заглушенной камере четвертого класса:

- нижняя граничная частота 100,0 Гц;
- расстояние от излучателя звука до измерительного микрофона 0,5 м.

Камеру предполагалось использовать для предварительной проверки и исследования акустических характеристик разрабатываемых приборов с излучателями звука: магнитофонов, радиоприёмников, магнитол. А так как аттестацию акустической камеры проводить не

планировалось, то строительство её велось по проекту, не согласованному с организациями, ответственными за его утверждение и согласование, и изменения в проект акустической камеры, способные, по мнению авторов, ускорить строительство и улучшить параметры камеры проводились без оглядки на вышестоящие организации.

- стена камеры, разделяющая её с аппаратной, была выполнена из двойной строительной гипсоплиты толщиной 0,18 м, вместо требуемой кирпичной стены толщиной 0,51 м;
- дверь камеры, а это участок стены, который должен выкатываться наружу, в аппаратную, открывалась внутрь камеры;
- электромагнитный экран, обязательный для всех акустических камер, так как необходим при проверке излучателей звука, содержащих радиоприемник, изготавливающийся обычно из стального листа толщиной 3 мм, был изготовлен из двойной металлической сетки с ячейкой от 0,05 мм до 0,5 мм, с расстоянием между сетками 150 мм и заполненным стекловатой марки 150.

А когда камеру проверил и аттестовал ВНИИРПА им. А.С. Попова, то оказалось, что на третьем этаже здания получена акустическая заглушенная звукомерная камера второго класса со следующими основными параметрами:

- размеры после нанесения заглушающего слоя 4,14 x 2,58 x 2,4м;
- нижняя граничная частота 63 Гц;
- расстояние от излучателя звука до измерительного микрофона 1,0 м;
- общий уровень акустических помех 52 дБ.

Мелкоячеистая металлическая сетка, выполняющая функцию электромагнитного экрана и прижимающая 150 мм слой стекловаты к ограничивающим поверхностям камеры, оказалась в совокупности с ним резонансным, звукопоглотителем эффективным в диапазоне частот 50,0–100,0 Гц [1].

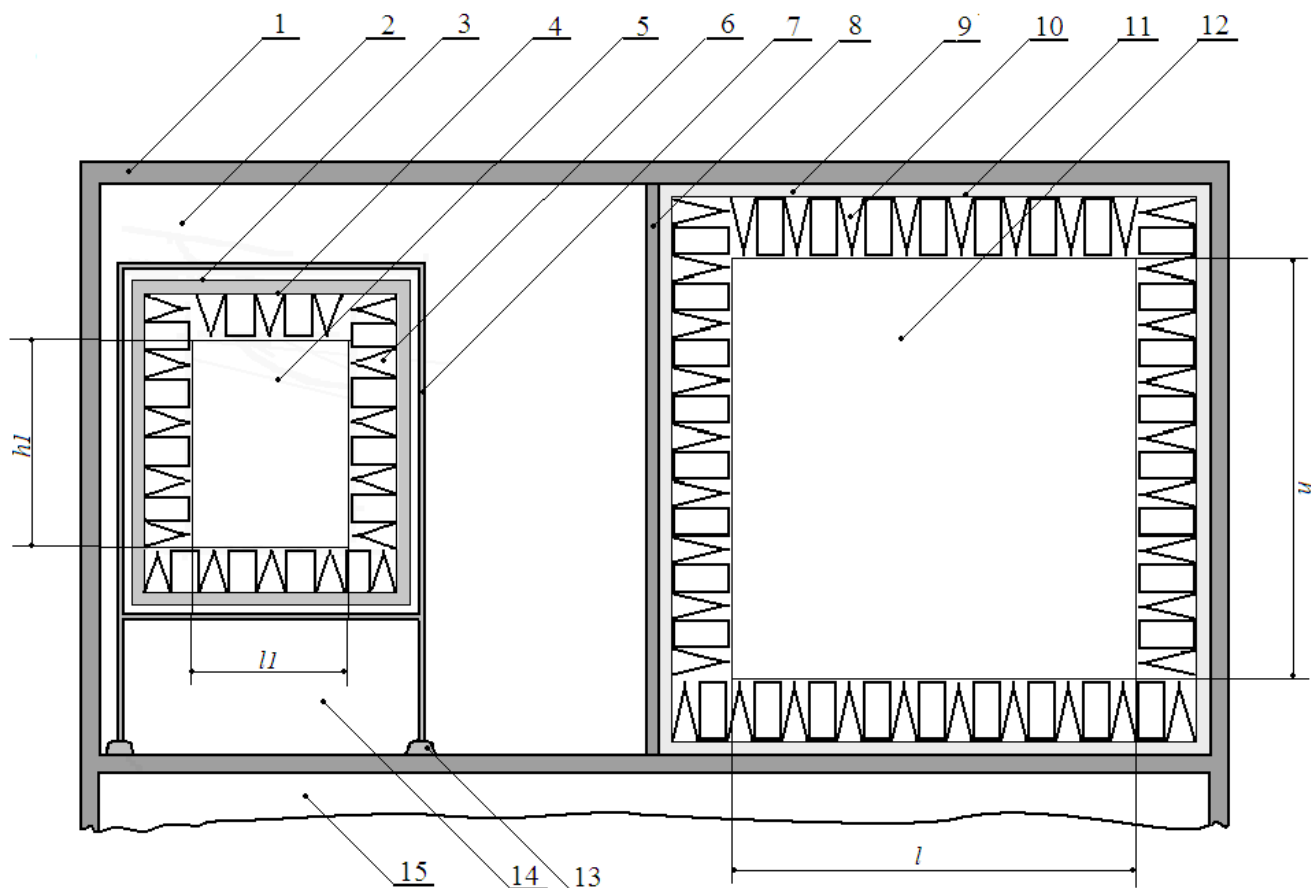
Акустическая заглушенная звукомерная с площадью звукопоглощающих поверхностей – 110 кв. м должна иметь нижнюю граничную частоту 100 Гц, аттестована с нижней граничной частотой 63 Гц (по паспорту допускает проводить большинство измерений до 50 Гц), для которой по нормирующим документам выделяется площадь звукопоглощающих поверхностей в 280 кв. м. Результат достигнут прежде всего за счет использования сеток как электромагнитного экрана, так и в качестве мембранных резонансных звукопоглотителей.

Полученный результат использован автором в качестве прототипа при оформлении патента на группу изобретений [2], в которых используются одновременно два типа резонансных звукопоглотителей: объемный резонатор Гельмгольца и мембранный резонатор Бекеша и их сочетание, минимальная длина звукопоглощающих клиньев 500 мм – одинаковая для всех классов камер. Авторы изобретения [3], взявшие за прототип [2] вариант с двумя мембранными звукопоглотителями из двух параллельных сеток в заглушенном объеме 1,5 м<sup>3</sup> камеры для исследования акустических характеристик газовых струй, получили нижнюю граничную частоту 100 Гц. Фирмы производители предлагают аналогичное оборудование с нижней граничной частотой 250–450 Гц.

Собственные резонансные частоты помещения прямоугольной формы рассчитывают по формуле

$$f_n = \frac{c_0}{2} \sqrt{\frac{n^2}{l^2} + \frac{m^2}{h^2} + \frac{q^2}{d^2}},$$

где  $c_0$  – скорость звука в воздухе;  $m, n, q$  – целые числа 0, 1, 2, ...;  $l, h, d$  – размеры камеры после нанесения на ее внутренние поверхности звукопоглощающего слоя. При  $n=m=q=1$  – первая резонансная частота, ниже которой в помещении только стоячие волны. Нижняя граничная частота  $f_{гр}$  безэховой камеры, выше которой в камере существует безэховое, свободное звуковое поле (в литературе ее часто называют частотой среза):  $f_{гр} \approx f_{n1}$ .



**Рис. 1. Акустические безэховые камеры (миникамера и стационарная на 3 этаже здания):**

1 - ограждающие конструкции (пол, потолок, стены); 2 - аппаратная, помещение в котором размещается вторичная аппаратура и обслуживающий персонал и миникамера; 3 - вторая мембрана резонансного звукопоглотителя; 4 - первая мембрана резонансного звукопоглотителя; 5 - заглушенный объем миникамеры; 6 - слой из звукопоглощающих клиньев, покрывающий внутренние поверхности миникамеры; 7 - ограждающие конструкции миникамеры; 8 - стена, разделяющая аппаратную и стационарную камеру; 9 - слой стекловаты резонансного звукопоглотителя, покрывающий внутренние поверхности стационарной камеры; 10 - слой из звукопоглощающих клиньев, покрывающий внутренние поверхности стационарной камеры; 11 - мембрана резонансного звукопоглотителя стационарной камеры; 12 - заглушенный объем стационарной камеры; 13 - виброизолирующие опоры миникамеры; 14 - свободный объем под миникамерой; 15 - смежное помещение под стационарной камерой и аппаратной

Расчет толщины звукопоглощающего слоя проводят из условия равенства нулю акустического сопротивления:  $z = j\rho_0 c_0 \text{ctg}kl$  гребенчатой структуры из совокупности узких каналов «труб» по формуле

$$l_T = \frac{c_0}{4f_1} = \frac{\lambda_1}{4}, \text{ задавая } f_1 = f_n,$$

где  $c_0$  – скорость звука в воздухе;  $\rho_0$  – плотность воздуха;  $k = \frac{\omega}{c_0}$ ;  $l_T$  – толщина звукопогло-

щающего слоя;  $\lambda_1$  – длина волны первой резонансной частоты [4].

За слоем звукопоглощающих клиньев 10 (рис. 1) через воздушный зазор на слой стекловаты 9 был нанесен слой резонансного мембранного звукопоглотителя 11, мелкоячеистой металлической сетки с ячейкой 0,071 мм. При резонансной частоте амплитуда изгибных

колебаний мембраны резко возрастает, добротность падает, потери растут. Резонансную частоту мембраны рассчитывают по формуле[5]:

$$f_{mn} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{gS}{w} \left( \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)},$$

где  $w$  – вес единицы площади мембраны,  $S$  – равномерное натяжение на единицу длины контура;  $a$  и  $b$  – длины сторон мембраны;  $m$  и  $n$  – целые числа  $0, 1, 2, \dots$ .

Звукопоглощающий слой миникамеры 7 из звукопоглощающих клиньев 6 первого мембранного звукопоглотителя 4, второго мембранного звукопоглотителя 3 в заглушенном объеме  $1,5 \text{ м}^3$  позволил получить нижнюю граничную частоту 100 Гц. Свободный объем 14 под миникамерой 7 позволяет оперативно размещать и обслуживать оборудование для исследования акустических характеристик (вибростенд, ударный стенд, узел подачи газовой струи ...). Сравнительные характеристики камер приведены в таблице.

Таблица

Безэховая камера	размеры $l \times h \times d$ , м	заглушенный объем, $\text{м}^3$	$f_{гр}$ без резонансного поглотителя, Гц	$f_{гр}$ с резонансным поглотителем, Гц	толщина поглощающего слоя без резонансного поглотителя, м	толщина поглощающего слоя с резонансным поглотителем, м
Стационарная	4,1x2,6x2,4	25,6	100,0	50,0	0,65	0,65
Миникамера	1,0x1,0x1,5	1,5	270,0	100	0,32	0,5

### Выводы

Мембранные резонансные звукопоглотители в безэховых камерах позволяют снизить нижнюю граничную частоту камеры более чем вдвое без увеличения толщины звукопоглощающего слоя. Акустические камеры с нижней граничной частотой выше 100 Гц переходят из разряда сложных метрологических стендов в разряд оборудования [3], изготавливаемого в лабораторных условиях.

Применение двух мембранных звукопоглотителей в безэховой миникамере с нижней граничной частотой 250 – 350 Гц позволяет получить ее заглушенный объем  $\approx 0,5 \text{ м}^3$  с размерами  $\approx 0,6 \times 0,7 \times 1,0$  м. Такие камеры с небольшими габаритами оптимально подходят для испытания МЭМС.

В стационарной безэховой камере с объемом  $\approx 30,0 \text{ м}^3$  применение двух резонансных звукопоглотителей позволяет получить нижнюю граничную частоту, равную или меньшую 40,0 Гц, это параметр камеры первого класса.

### Библиографический список

1. Ермолаев, А.В. Акустическая заглушенная звукомерная камера с расширенным диапазоном измеряемых частот // Прогрессивные технологии в машиностроении и приборостроении «ПТ-2004»: межвуз. сб. ст. по материалам Всерос. конф. – М., 2004.
2. Пат. РФ № 2196206, Кл. E04B 1/82, 1999. А.В. Ермолаев. Камера акустическая заглушенная звукомерная (варианты).
3. Пат. РФ № 2387761, Кл. E04B 1/82, 2010. А.И. Кох, А.Н. Крючков, Р.Б. Сейфетдинов. Шахматов Е.В. Камера акустическая заглушенная.

4. **Вахитов, Я.Ш.** Теоретические основы электроакустики и электроакустическая аппаратура / Я.Ш. Вахитов. – М.: Искусство, 1982. – 415 с.
5. **Тимошенко, С.П.** Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко. – М.: Наука, 1967. – 444 с.

*Дата поступления  
в редакцию 08.02.2011*

**A.V.Ermolaev**

## **RESEARCH OF ACOUSTICS CHARACTERISTIC MICROSEISMS INSTRUMENT MEANS FOR VIBRATORY AND STRIKING LOAD IN ANECHOIC CHAMBER**

The possibility of using an anechoic chamber for researching acoustic microsystem instrument means characteristics in vibration and striking load is discussed. Using the membrane resonance sound absorber in anechoic chamber allows to low its sizes up to the size of minimum chamber level. The result of using two membrane resonance sound absorbers (volume  $1,5 \text{ m}^3$ ) for receiving the low boardering frequency of 100 Hz is demonstrated.

*Key words:* anechoic chamber, microchamber, the boundary frequency, membrane, resonant sound absorbers, the muffled volume in chamber.