

## О возможности применения двухсекционных акустических экранов-резонаторов для снижения шума

Булкин В.В.<sup>1</sup>, Калиниченко М.В.<sup>2</sup>, Сальников И.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Профессор кафедры «Техносферная безопасность», Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета, г. Муром, Владимирской области, ул. Орловская д. 23, РФ.

<sup>2</sup> Старший преподаватель кафедры «Техносферная безопасность», Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета, г. Муром, Владимирской области, ул. Орловская д. 23, РФ.

<sup>3</sup> Студент кафедры «Техносферная безопасность», Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета, г. Муром, Владимирской области, ул. Орловская д. 23, РФ.

### Аннотация

Работа посвящена актуальной проблеме – борьбе с шумом на урбанизированных пространствах. В качестве средства защиты от шума рассмотрена модель акустического экрана-резонатора, состоящего из двух камер, одна из которых (передняя) представляет собой распределённый резонатор Гельмгольца, а другая (задняя) образует замкнутое пространство, которое используется как глушитель шума. Рассмотрен вопрос о возможности применения таких акустических конструкций для снижения уровней шума на урбанизированных пространствах. Проанализированы результаты полученных экспериментальных данных, как по уровню отраженного звукового сигнала, так и по уровню поглощенного звукового сигнала. Сделаны выводы о проделанной работе.

**Ключевые слова:** шумовое загрязнение, двухсекционный акустический экран-резонатор, шумозащита, резонатор Гельмгольца, акустическая камера.

### *About the possibility of the use of dual-chamber acoustic screens-resonators to reduce noise*

*Bulkin V.V.<sup>1</sup>, Kalinichenko M.V.<sup>2</sup>, Sal'nikov I.N.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Professor of the Department "Technosphere safety", Murom Institute of Vladimir state University, Orlovskaya, str., 23, Murom, 602264, Russia*

<sup>2</sup> *Senior Lecturer of the Department "Technosphere safety", Murom Institute of Vladimir state University, Orlovskaya, str., 23, Murom, 602264, Russia*

<sup>3</sup> *Student of the Department "Technosphere safety", Murom Institute of Vladimir state University, Orlovskaya, str., 23, Murom, 602264, Russia*

### **Abstract**

*The paper is devoted to the actual problem – the fight against noise in urban areas. As a means of protection against noise the model of the acoustic screen-resonator is suggested. The screen-resonator consists of two chambers, one of which (the front) is a distributed Helmholtz resonator, and another (rear) forms a closed space used as a silencer. Authors consider the possibility of using such acoustic constructions to reduce noise levels in urban areas. The results of the experimental data are analyzed both in terms of a reflected sound signal, and the level of absorbed sound signal. The conclusions of the work are made.*

**Key words:** *noise pollution, dual-chamber screen-resonator, sound insulation, Helmholtz resonator, acoustic chamber.*

---

\*E-mail: [vbulkin@mail.ru](mailto:vbulkin@mail.ru) (Булкин В.В.), [marinakali@mail.ru](mailto:marinakali@mail.ru) (Калиниченко М.В.), [ivansal.1993@mail.ru](mailto:ivansal.1993@mail.ru) (Сальников И.Н.)

## Введение

Урбанизация – один из наиболее ярких феноменов современности. Урбанизированные территории занимают немногим более 1% площади земной суши, но концентрируют порядка 50% всего населения земли, производят 80% внутренней валовой продукции, но при этом дают 80% всех выбросов в атмосферу и гидросферу.

Побочным продуктом цивилизации является шум – один из наиболее опасных факторов, наносящих вред окружающей среде и всему живому, в первую очередь человеку. В крупных городах свыше 65% жителей жалуются на чрезмерный шум. Шум и вибрация заметно воздействуют на центральную нервную систему, шумовая нагрузка в городах возрастает по времени.

Шумовая «симфония» города складывается из многих факторов: грохота железных дорог и гула самолетов, рокота строительной техники, шума промышленных предприятий и даже бытовых приборов – словом, всего, что окружает человека. Особым аккордом звучит в ней движение автотранспорта, которое обеспечивает до 80% от общего уровня шума. Уровень шума днём превышает допустимые значения на 25 дБА. Особенно это сильно проявляется на федеральных дорогах, проходящих через населённые пункты (11,2% от общей протяженности федеральных и 11,7% региональных автомобильных дорог) [1,2].

Снижение уровня шума в городской среде – сложная задача, не имеющая простых решений. Разумеется, первой задачей является снижение шума в источнике (автотранспорте). Это общепризнано и есть соответствующие законодательные акты, стандарты, рекомендации и т.п. Среди задач снижения уровня шума, решаемых в конкретной городской среде, применение т.н. «малозащитного» асфальта и защитных конструкций – акустических экранов (АЭ).

Реальное снижение шума «малозащитным» асфальтом не обеспечивает уровня выше 3 дБА [2], в силу чего его применение не может изменить ситуацию принципиально, а стоимость работ по укладке существенна. Применение акустических экранов более эффективно, однако и они, как показывают разные оценки, обеспечивают реальное снижение уровня шума в пределах от 3 до 15-22 дБА [2,3]. Кроме того, как следует из [1], доля шумозащитных экранов от протяжённости населённых пунктов невелика и составляет: по федеральным дорогам 1,3 %, по региональным дорогам 0,07%, что так же не решает проблему в принципе.

Тем не менее, АЭ являются перспективным средством защиты, в силу чего актуальной является задача поиска методов и средств повышения их эффективности.

Целью статьи является исследование возможности повышения эффективности шумозащитных устройств при решении задачи снижения уровня акустического шума в городской среде за счёт применения комбинированных двухсекционных экранов-резонаторов.

### 1. Шумозащитные экраны с использованием резонаторов Гельмгольца

Работа акустического экрана основана на нескольких принципах, главными из которых являются отражение и поглощение падающей звуковой волны. Эффект защиты достигается в области звуковой тени (за акустическим экраном) [4]. При этом одним из существенных недостатков АЭ является то, что при установке отражающих панелей сила звука практически не снижает своей силы, а лишь меняет направление, что создает направленный поток под углом к линии вертикали, который оглушает жителей верхних этажей, пролетающих птиц и создает повышенную вибрацию воздуха над дорогой. Кроме того, в зависимости от угла установки шум может отражаться в

направлении источника, создавая резонансные явления, т.е. увеличение уровня шума в зоне перед экраном.

Снижение такого эффекта обеспечивается звукопоглощающими экранами различных модификаций. Одним из возможных вариантов построения АЭ является включение в конструкцию акустических резонаторов Гельмгольца. Принцип действия такого резонатора достаточно хорошо описан в ряде работ, например в [5,6], и др. При определённых конструктивных особенностях такой экран может обеспечить снижение уровня шума в зоне перед экраном.

Оценка возможной эффективности применения таких АЭ была дана авторами в [7,8]. Как показывают исследования в лабораторной акустической камере, возможное снижение уровня шума перед экраном при различных условиях достигает величины 10-15 дБА. Разумеется, в реальных условиях городской среды обеспечить такое снижение шума сложно, однако в процессе дальнейших работ может быть получен достаточный для практики результат.

## 2. Разработка экспериментальной модели двухсекционного акустического экрана - резонатора

В качестве пассивного средства защиты от шума может быть рассмотрена модель двухсекционного акустического экрана, выполненная на основе резонаторов Гельмгольца, передняя панель которого перфорирована вертикальными щелевыми зазорами, образующими горловины резонаторов.

Известно, что собственная частота (Гц) резонатора при применении щелевых отверстий определяется по формуле [5,6]

$$f = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{b}{L \cdot h \cdot l}}, \quad (1)$$

где  $f$  – собственная частота резонатора, Гц;  
 $C$  – скорость движения звука в среде, м/с;  
 $l$  – глубина зазора резонатора, м;  
 $b$  – ширина зазора, м;  
 $L$  – расстояние между зазорами, м;  
 $h$  – глубина резонатора, м.

Анализ взаимозависимостей основных характеристик АЭ показывает, что изменение собственной частоты резонатора, при неизменных  $l$  и  $L$ , в существенной степени, как это и следует из (1), определяется соотношением величин зазора  $b$  и глубины резонатора  $h$ . На рис. 1 представлены результаты моделирования зависимости ширины зазора  $b$  от частоты  $f$  и глубины  $h$  резонатора при их изменении в диапазонах:  $f=0,1 \dots 1000$  Гц,  $h=1 \dots 100$  мм. Очевидно, что в большей степени на изменение частоты влияют вариации глубины резонатора.

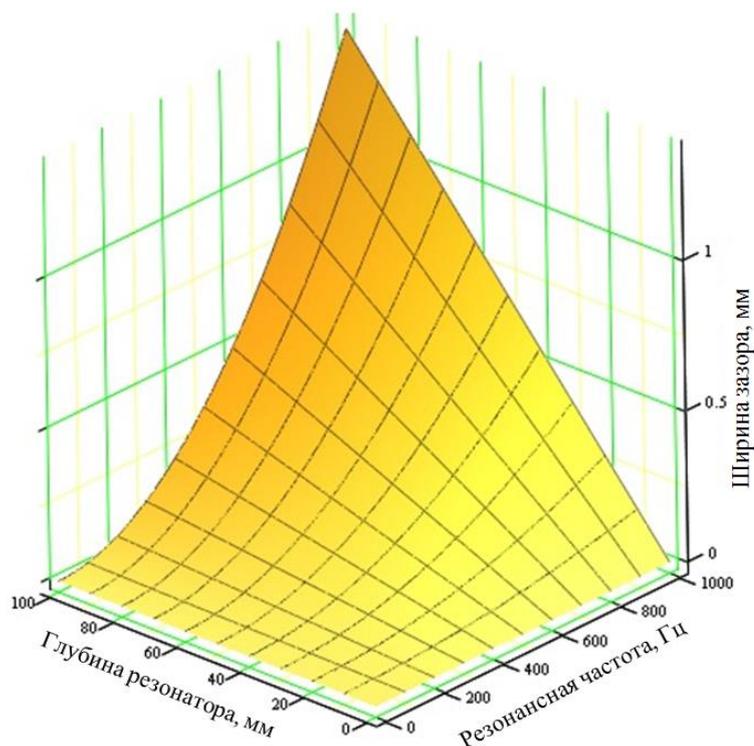


Рис. 1. Зависимость между шириной зазора, глубиной резонатора и собственной частотой резонатора

При проектировании опытной модели именно этому показателю отводилось особое значение. Из-за ограничения габаритов акустической камеры максимальная глубина резонатора могла составлять не более 100 мм. Но в силу того, что данная акустическая система является системой с распределёнными параметрами, приведённое соотношение (1) справедливо только в тех случаях, когда глубина резонатора меньше четверти длины волны звука, а размеры горловины – меньше двух длин волн [6]. На стандартной частоте 1000 Гц четверть волны составляет 75 мм. А это удовлетворяет условию использования созданного акустического стенда.

Созданная опытная модель двухкамерного АЭ имеет общий размер по глубине 75 мм и состоит из передней и задней камер. Основа корпуса – из деревянных брусков, передняя и задняя стенки, а также внутренняя перегородка выполнены из стального листа (рис. 2).

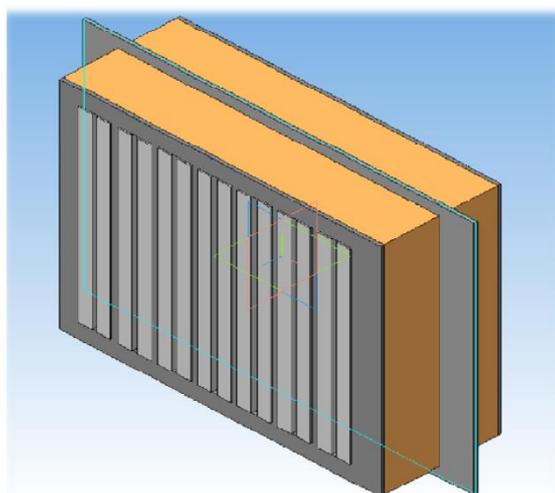


Рис. 2. Двухсекционная модель АЭ, выполненного на основе резонатора Гельмгольца

Передняя камера представляет собой распределённый резонатор Гельмгольца с глубиной  $h=40$  мм. Лицевая часть образована стальным листом, в котором выполнены вертикальные щелевые прорезы, расположенные на регулярном расстоянии ( $L=40$  мм) друг от друга. Функции горловины ( $l=15$  мм) выполняют профильные элементы уголкового формы, установленные в щелевые отверстия с возможностью регулировки положения относительно горизонтальной плоскости передней панели и фиксации этого положения. Такое решение обеспечивает возможность регулирования ширины щели зазора ( $b=0\dots 1,5$  мм) без разбора конструкции экрана.

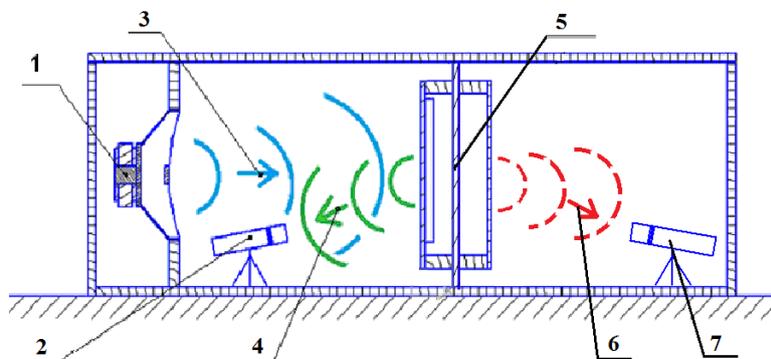
Задняя часть представляет собой прямоугольную герметичную камеру с глубиной 40 мм, и предположительно может обеспечивать функции дополнительного демпфера (глушителя) для резонансной камеры.

### 3. Методика проведения экспериментальных исследований

Измерения проводились на лабораторном акустическом стенде, состоящем из настольной акустической камеры, генератора низких частот и стандартного шумомера.

АЭ-резонатор устанавливался в камеру в средней её части в двух положениях: прямом, горловинами в сторону источника акустического сигнала, и обратном, обращённом к источнику тыловой частью (рис. 3). Измерения проводились на стандартных среднегеометрических частотах 31,5; 63; 125; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц. Поскольку наибольший интерес с точки зрения защиты слухового аппарата человека представляет диапазон от 1000 Гц до 4000 Гц, в этом диапазоне измерения проводились с шагом в 100 Гц. Для простоты эксперимента исследовалась реакция АЭ на сигнал при четырёх фиксированных значениях зазоров – 0,25; 0,5; 0,75 и 1,0 мм. В каждом случае проводился ряд измерений и определялось среднестатистическое значение.

Оценка степени ослабления акустического сигнала осуществлялась для случая отражения падающей на переднюю панель АЭ звуковой волны и для случая прохождения этого сигнала через плоскость экрана в зону тени. Количественные оценки величины ослабления сигнала в прямом положении АЭ получены в сопоставлении уровней со случаем экрана в виде глухой стальной стенки. Оценки для случая прохождения сигнала в зону тени получены аналогично, как разность уровней при разных вариантах положения АЭ.



- 1 – источник звукового сигнала; 2 – микрофон шумомера при контроле отражённой волны; 3 – падающий звуковой сигнал; 4 – отражённый звуковой сигнал;  
5 – двухкамерный АЭ-резонатор; 6 – прошедшая звуковая волна;  
7 – микрофон шумомера при контроле прошедшей звуковой волны

Рис. 3. Схема проведения эксперимента

#### 4. Практические измерения и выводы

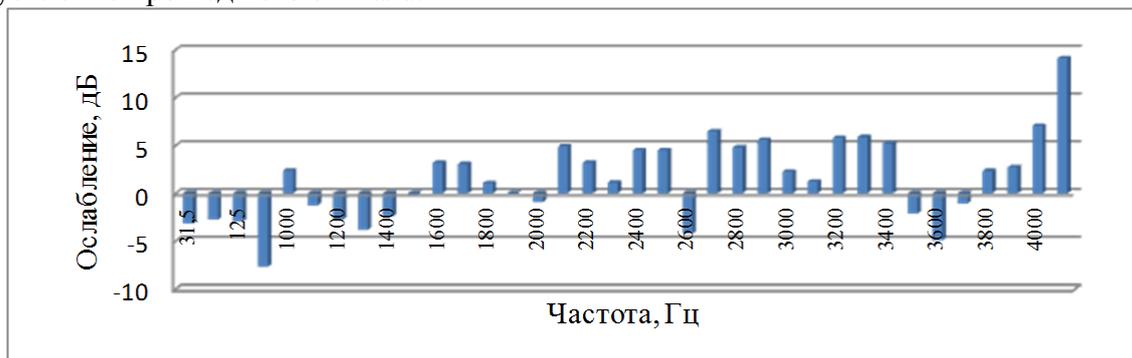
Оценки изменения уровней сигнала показаны на рис. 4 и 5.

На рис. 4 показаны изменения уровней отражённого от АЭ сигнала в случае прямого его расположения. Фактически речь идёт об ослаблении уровня шума в зоне, непосредственно примыкающей к экрану. Оценки даны для четырёх величин зазоров.

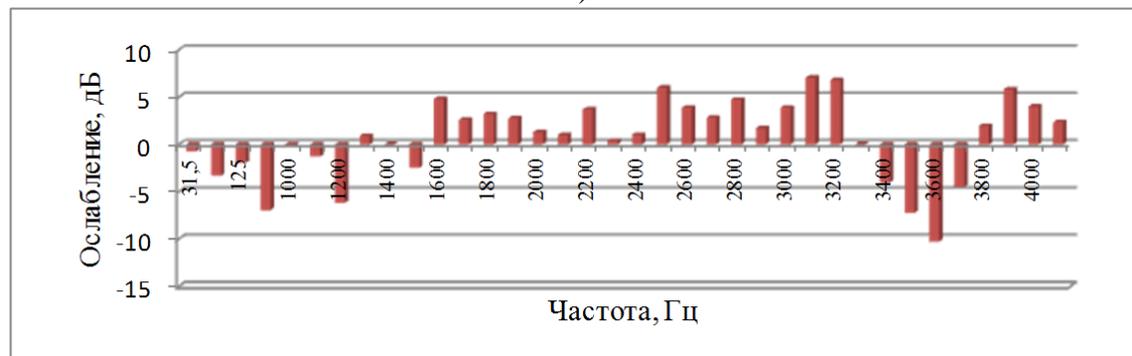
Положительное значение по шкале ординат означает снижение уровня звукового сигнала при использовании АЭ с резонаторами в сопоставлении с экраном в виде глухой стенки. Соответственно, отрицательное значение указывает на наличие увеличения уровня, т.е. на резонанс на данной частоте.

На представленных гистограммах видно, что при имеющихся конструктивных особенностях конкретной модели экрана имеет место как ослабление, так и усиление отражённого сигнала. Так, при величине зазора 0,75 мм (рис. 4,в) можно говорить о положительном эффекте с точки зрения ослабления уровня акустических сигналов. Имеются некоторые резонансные явления на отдельных частотах, включая «всплески» до уровня 12 дБ. При величине зазоров 0,25 мм (рис. 4,а) и 1 мм (рис. 4,г) в целом можно говорить о положительном эффекте с точки зрения ослабления уровня акустических сигналов. И очевидное доминирование резонансных явлений имеет место при величине зазора 0,5 мм (рис. 4,в).

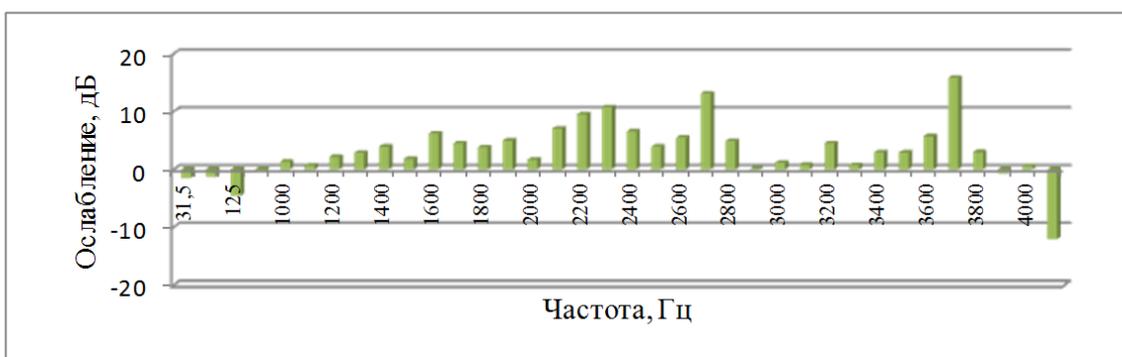
Изменения уровней прошедшего сигнала (в зоне акустической тени) показаны на рис. 5. На представленных гистограммах видно, что имеет место как ослабление, так и усиление прошедшего сигнала.



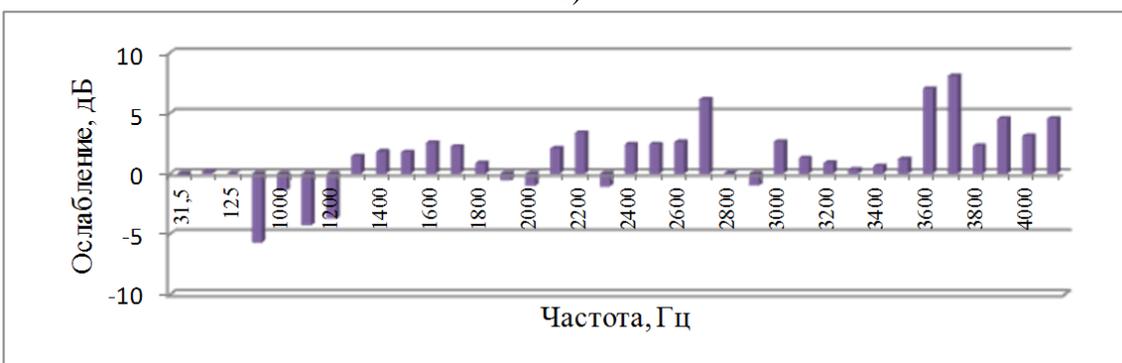
а)



б)



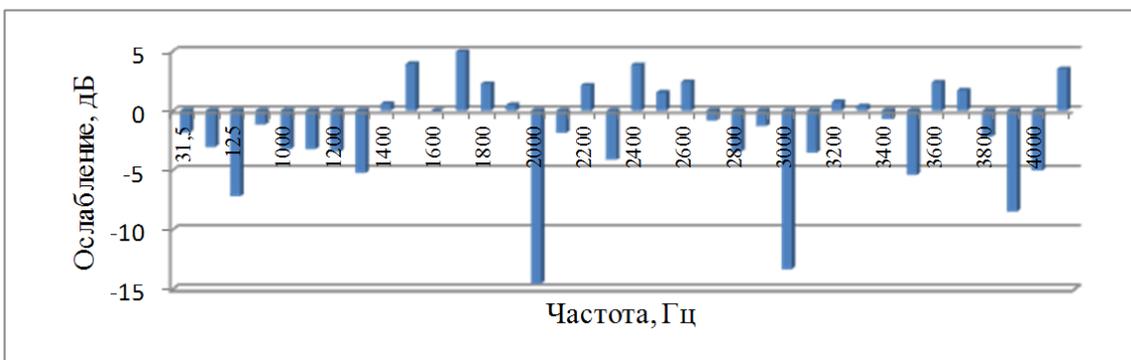
в)



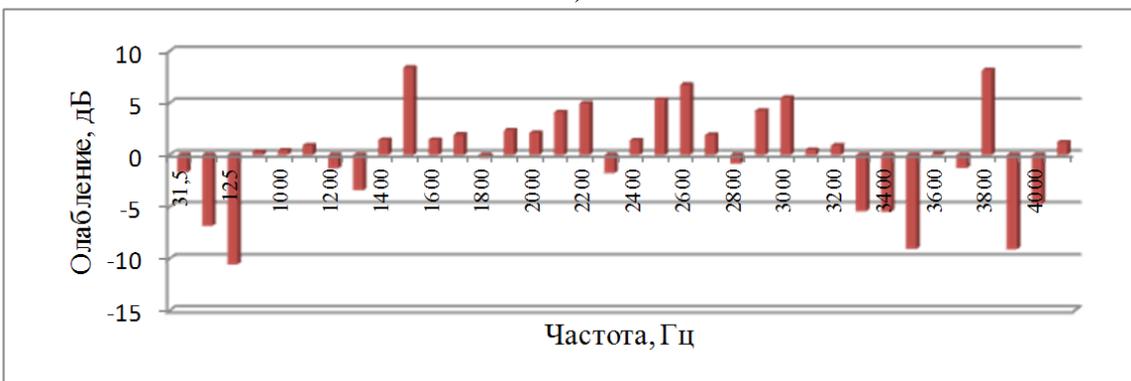
г)

а)  $b=0,25$  мм; б)  $b=0,5$  мм; в)  $b=0,75$  мм; г)  $b=1,0$  мм

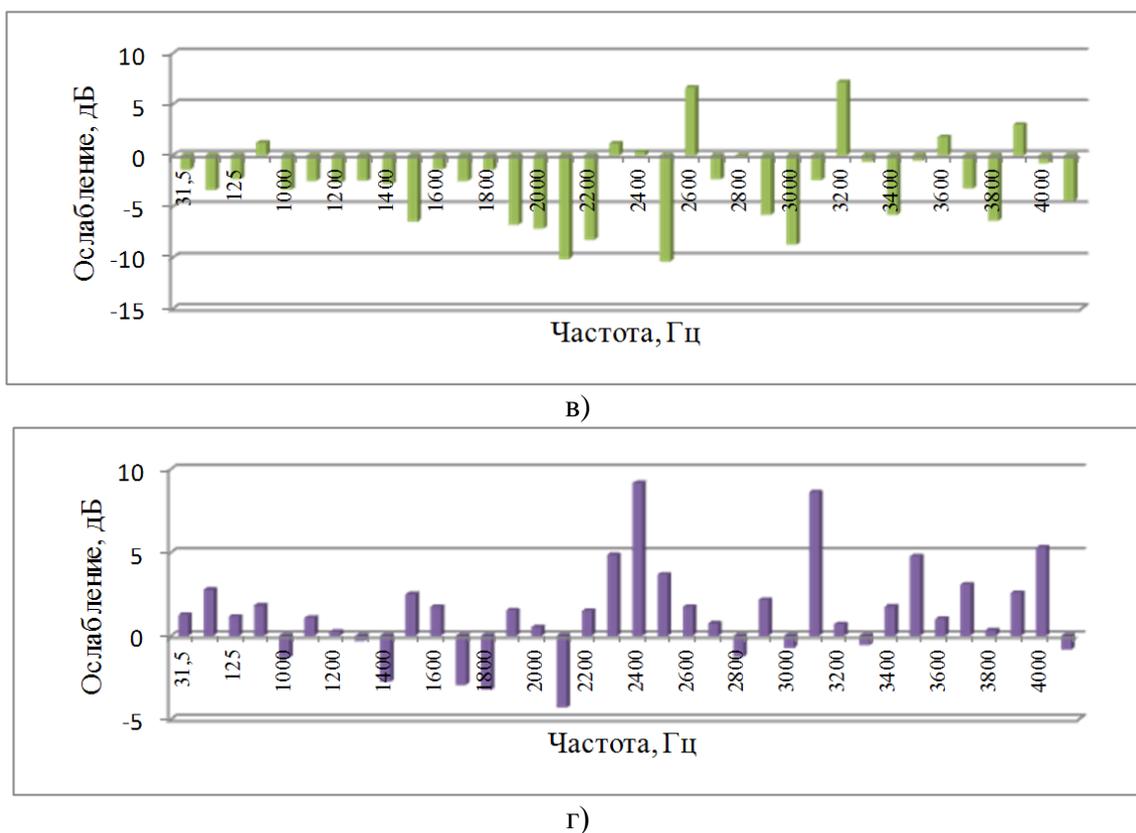
Рис. 4. Гистограммы ослабления отражённого сигнала при заданных величинах зазоров



а)



б)



а)  $b=0,25$  мм; б)  $b=0,5$  мм; в)  $b=0,75$  мм; г)  $b=1,0$  мм

Рис. 5. Гистограммы ослабления прошедшего звукового сигнала при заданных величинах зазоров

### Заключение

На данном этапе работы можно сформулировать следующие выводы:

1) как показывают лабораторные эксперименты, применение двухкамерных акустических экранов, выполненных на основе сочетания резонаторов Гельмгольца и замкнутых камер, в целом обеспечивает получение положительного результата – ослабления уровня акустического шума, при этом в зоне акустической тени такой эффект менее выражен;

2) наличие резонансных явлений требует предварительного анализа спектрального состава доминирующего акустического шума на конкретной территории городской среды с целью «подбора» конструктивных параметров экрана, обеспечивающих как минимум – отсутствие такого резонанса на значимых частотах диапазона;

3) предварительно можно говорить о наличии положительного эффекта, обеспечиваемого двухкамерной конструкцией в сравнении с аналогичной однокамерной в части снижения уровня шума в зоне перед экраном, что позволяет предположить действенность функции демпфирования (глушения), обеспечиваемого этой камерой;

4) с точки зрения оценки влияния замкнутой камеры, как дополнительного демпфера (глушителя), на снижение уровня сигнала, прошедшего через экран в зону тени, нет оснований для выводов о получении однозначно положительного результата и, следовательно, вопрос требует дополнительного исследования;

5) дальнейшие исследования следует направить в сторону более подробного изучения взаимосвязи сочетания различных значений зазоров и глубин резонатора и замкнутой камеры с точки зрения поиска оптимального их сочетания, обеспечивающего реальное снижение уровня шума как в зоне перед АЭ, так и в зоне акустической тени.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-08-00186.*

### Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011 году» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – Режим доступа: - <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=130175>. [State report "On the Condition and the Environmental Protection of the Russian Federation in 2011" / The Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation. -Access mode: - <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=130175>.]

2. Иванов Н.И. Концепция снижения шума в РФ / Защита от повышенного шума и вибрации: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 18-20 марта 2015 г., СПб // Под ред. Н.И. Иванова. –СПб.: 2015. -С.14-26. [Ivanov N.I. The concept of reducing noise in the RF / Protection from increased noise and vibration: Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference with international participation, 18-20 March 2015, St. Petersburg // Ed. N.I. Ivanov. SPb.: 2015. -P.14-26.].

3. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник /Н.И. Иванов. -3-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2015.- 432с. [Ivanov N.I. Engineering acoustics. Theory and practice of noise control: the textbook / N.I. Ivanov. -3d-ed., Rev. and add. -M.: Logos, 2015. -432 p.].

4. Шубин И.Л. Акустический расчёт и проектирование конструкций шумозащитных экранов: автореферат дис. ... д-ра тех. наук. –М.: 2011. [Shubin I.L. Acoustic calculation and design of noise protection screen structures: abstract dis. ... doc. of technical sciences. -M.: 2011.].

5. Акустика: Справочник / А.П. Ефимов, А.В. Никонов, М.А. Сапожков, В.И. Шоров; Под ред. М.А. Сапожкова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1989. — 336 с. [Acoustics: Directory / A.P. Efimov, A.V. Nikonov, M.A. Sapozhkov, V.I. Shorov; Ed. M.A. Sapozhkov. - 2nd ed., Rev. and add. -M.: Radio and Communications, 1989. -336 p.].

6. Булкин В.В., Беляев В.Е., Сергеев В.Н. Конструкторские расчёты элементов РЭС в условиях механических и акустических воздействий. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2004. – 131 с. [Bulkin V.V., Belyaev V.E., Sergeev V.N. Design elements calculations under mechanical and acoustic effects. -Murom: Printing center MI Vladimir State University, 2004. -131p.].

7. Калининко М.В., Кириллов И.Н., Булкин В.В. Анализ возможности применения звукоотражающих экранов на основе резонаторов Гельмгольца // Защита от повышенного шума и вибрации: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 18-20 марта 2015 г., СПб. / Под ред. Н.И. Иванова. –СПб.: 2015. -С.280-282. [Kalinichenko M.V., Kirillov I.N., Bulkin V.V. Analysis of the possibility of applying sound reflecting screens based on the basis of Helmholtz resonators // Protection from increased noise and vibration: Proceedings of the All-

---

Russian scientific-practical conference with international participation, 18-20 March 2015, St. Petersburg. / Ed. N.I. Ivanov. -SPb.: 2015. -P.280-282.].

8. Булкин В.В., Калиниченко М.В., Штыков Е.А., Фильков Д.Е. К вопросу об использовании шумопоглощающих средств на техногенных пространствах / Вестник Тамбовского государственного университета, т.19, вып.5, 2014. –С.1388-1392. [Bulkin V.V., Kalinichenko M.V., Shtykov E.A., Filkov D.E. To a question about the use of sound-absorbing means in technological spaces / Bulletin of Tambov State University, v.19, issue 5, 2014. -P.1388-1392.].