

## О возможности применения акустических экранов, выполненных на основе резонаторов Гельмгольца, для снижения шума

Калиниченко М.В.\*

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

### Аннотация

Показана актуальность проблемы борьбы с шумом на урбанизированных пространствах. Рассмотрены средства защиты от шума на пути его распространения от источника до защищаемого объекта, самыми распространенными из которых являются акустические экраны и резонаторы Гельмгольца. Рассмотрена возможность применения акустических конструкций выполненных на основе резонаторов Гельмгольца. Описана экспериментальная модель акустического экрана, а именно акустический экран, выполненный в виде резонатора с различной шириной зазора щелевых отверстий. Проанализированы результаты полученных экспериментальных данных, как по уровню отражённого звукового сигнала, так и по уровню поглощенного звукового сигнала. В ходе эксперимента учитывались резонирующие способности самих акустических конструкций. Сделаны выводы о проделанной работе.

**Ключевые слова:** акустическое загрязнение, акустические экраны, шумозащита, резонатор Гельмгольца.

### *About the possibility of using acoustic screens, made on the basis of Helmholtz resonators, to reduce noise*

*Kalinichenko M.V.\**

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

### **Abstract**

*The article considers the urgency of the problem of noise control in urban areas, the means of protection against noise on its propagation path from the source to the protected object, the most common of which are acoustic screens and Helmholtz resonators. The possibility of using acoustic constructions made on the basis of Helmholtz resonators is tackled upon in this paper. The results of the experimental data, both in terms of a reflected sound, and the level of absorbed sound are analyzed. During the experimental procedure resonating acoustic abilities of acoustic constructions were taken into consideration. The conclusions of the work were made.*

**Key words:** *acoustic pollution, acoustic screens, sound insulation, Helmholtz resonator.*

### **Введение**

Урбанизированные пространства (города) занимают всего несколько процентов территории мировой суши, но в них живёт более половины населения мира. Расширение урбанизированного пространства порождает множество экологических проблем, среди которых снижение уровня здоровья населения из-за воздействия внешних факторов.

Длительное время города формировались без научной и планировочной оптимизации производственных, селитебных, рекреационных и буферных территорий. Это привело к слиянию или взаимному проникновению этих зон и усугубило экологическую ситуацию городов, особенно крупных.

---

\*E-mail:marinakali@mail.ru

Одним из важнейших факторов, формирующих здоровье населения города, является шум. Неблагоприятные акустические условия могут приводить к патологии сердечно-сосудистой и нервной систем у наиболее восприимчивых слоёв населения. Исследованиями последних лет установлено, что под влиянием шума наступают изменения в органах зрения человека (снижается устойчивость ясного видения и острота зрения, изменяется чувствительность к различным цветам и др.) и вестибулярном аппарате, нарушаются функции желудочно-кишечного тракта, повышается внутричерепное давление, происходят нарушения в обменных процессах организма и т. п.

По данным официальных органов в РФ более 35 млн. человек проживает в условиях акустического дискомфорта. Из Государственного Доклада “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011 году” следует, что в населённых пунктах, через которые проходят автомагистрали федерального и регионального значения, в дневное время уровень шума превышает допустимые значения на 25 дБА [1]. Такие автомагистрали в основном относятся к классам шумности: от I – малозумные (от 55 дБА до 60 дБА) до V – сверхшумные (от 75 дБА до 80 дБА) [2].

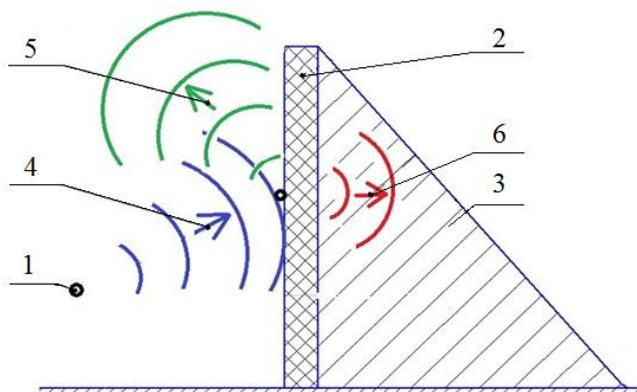
Повышенный шум наряду с загрязнением воздуха и почвы входит в «тройку» экологических факторов окружающей среды, массово влияющих на заболеваемость населения. Поэтому акустическое благоустройство урбанизированных территорий, создание оптимальных акустических условий является важной задачей современного планирования территорий.

Целью статьи является исследование возможности повышения эффективности шумозащитных устройств при решении задачи снижения уровня акустического шума в городской среде.

### **1. Средства защиты от шума**

Одним из наиболее распространённых средств защиты от шума на пути его распространения от источника до защищаемого объекта является акустический экран (АЭ) [3]. Акустические экраны различных конструкций применяются в нашей стране и за рубежом. Проблеме снижения шума акустическими экранами посвящены работы отечественных ученых: В.А. Аистова, В.П. Гусева, Б.Г. Пруткова, Н.И. Иванова, Г.Л. Осипова, П.И. Пospelова, И.Л. Шубина, Н.Н. Мининой, Н.В. Тюриной и др.

Работа акустического экрана основана на нескольких принципах, главными из которых являются отражение и поглощение падающей звуковой волны (рис. 1). Эффект защиты достигается в области звуковой тени (за акустическим экраном) [4].



1 – источник звука; 2 – акустический экран; 3 – область звуковой тени; 4 – падающая звуковая волна; 5 – отражённая звуковая волна; 6 – прошедшая звуковая волна.

Рис. 1. Принцип работы отражающего акустического экрана

Выполненные исследования [4 и др.] показали, что АЭ обладают эффективностью от 3 до 22 дБА, зависящей от геометрических параметров, от материала, применяемого для выполнения АЭ, от места расположения и других факторов. Разработаны нормативные документы, содержащие рекомендации по проектированию шумозащиты территорий прилегающих к автомобильным и железнодорожным дорогам с помощью АЭ [5].

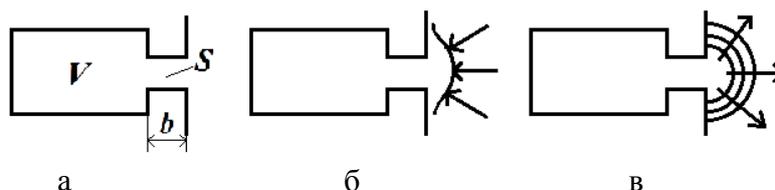
У АЭ можно выделить некоторые недостатки:

- 1) создают ощущение ограниченности пространства для водителей;
- 2) уменьшают освещённость и приводят к ограничению обзора, искажению цвета и изображения;
- 3) ограничивают шаговую доступность ограждённого участка трассы (в случае необходимости немедленной помощи или если нужно оперативно покинуть участок трассы);
- 4) дороговизна материалов – в среднем от 3 до 10 тысяч рублей за квадратный метр без учёта работ по установке, причём для эффективной защиты от шума рекомендуется высота не менее четырёх метров с запасом по длине.

5) 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.

Еще одним распространённым средством защиты является применение акустических резонаторов. Применение пассивных резонаторов, созданных на основе резонатора Гельмгольца для шумопоглощения и шуморассеивания, описывается в работах Л.К. Гороховой, К.А. Вележавиной, Б.М. Ефимцова, Л.А. Лазарева, Д.А. Елина и др.

Конструкция воздушного резонатора состоит из двух частей – передней и задней. В передней части находится горловина, характеризующаяся параметрами длины/глубины ( $b$ ) и площади поперечного сечения ( $S$ ). Задняя часть представляет собой объём ( $V$ ) (рис. 2,а).



а - конструкция; б - деформация фронта падающей волны; в - отдача накопленной энергии в окружающее пространство (образование стоячей волны).

Рис. 2. Принцип действия акустического резонатора

Принцип действия резонатора основан на образовании стоячей акустической волны различной фазы (рис. 2,б и 2,в). При попадании фронтальной звуковой волны на переднюю часть резонатора, скорость потока частиц в горловине имеет наибольшую скорость, а значит, обладает кинетической энергией. Задняя часть выполнена замкнутой и имеет объём ( $V$ ), что при сжатии обеспечивает накопление потенциальной энергии. В резонаторах возникают колебания даже от сравнительно слабых звуковых волн, падающих на них. Резонаторы, в зависимости от фазы образующейся в конструкции стоячей волны, могут как усиливать, так и ослаблять звуковой сигнал [6].

Собственная частота (Гц) резонатора рассчитывается по формуле:

$$f = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V \cdot l}}, \quad (1)$$

где  $f$  – собственная частота резонатора, Гц;

$C$  – скорость движения звука в среде, м/с;

$S$  – площадь устья горловины резонатора, м<sup>2</sup>;

$V$  – объём резонатора, м<sup>3</sup>;

$l$  – длина горловины резонатора, м.

В случае если вместо ряда круглых отверстий применяются щелевые – формула (1) имеет вид:

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

где  $l$  – глубина зазора резонатора, м;

$b$  – ширина зазора, м;

$L$  – расстояние между зазорами, м;

$h$  – глубина резонатора, м.

Основным преимуществом резонаторов по сравнению с другими альтернативными пассивными средствами борьбы с шумом является их малый волновой размер. В свободном пространстве максимальные характерные сечения поглощения и рассеяния резонаторов зависят только от одного параметра – длины звуковой волны [7].

## 2. Разработка экспериментальных моделей акустических экранов на основе резонатора Гельмгольца

Для оценки характеристик АЭ в исследованиях был применён акустический стенд, состоящий из акустической камеры, генератора звуковых частот и шумомера. Акустическая камера представляет собой конструкцию прямоугольной формы,

собранную из листов ДСП, обшитую изнутри несколькими слоями звукопоглощающего материала.

В работе в качестве средства защиты от шума предложена конструкция, выполненная в виде акустического экрана, совмещённого с резонатором Гельмгольца [8]. Передняя панель перфорирована вертикальными щелевыми зазорами, образующими горловины резонаторов. Экран может быть изготовлен из различных листовых материалов. Для обеспечения максимального эффекта АЭ эти материалы должны обладать способностью к максимальному демпфированию воздухом, т.е. обладать свойством звукоподавления [9].

Анализ взаимозависимостей основных характеристик АЭ показывает, что изменение собственной частоты резонатора, при неизменных  $l$  и  $L$ , в существенной степени, как это и следует из (2), определяется соотношением величин зазора  $b$  и глубины резонатора  $h$ . На рис. 3 представлены результаты моделирования зависимости частоты  $f$  от указанных параметров при их изменении в диапазонах:  $b=0,1\dots 1$  мм,  $h=2\dots 80$  мм. Очевидно, что в большей степени на изменение частоты влияют вариации глубины 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 (2) справедливо только в тех случаях, когда глубина резонатора меньше четверти длины волны звука, а размеры горловины – меньше двух длин волны [7]. На стандартной частоте 1000 Гц четверть волны составляет 75 мм. А это удовлетворяет условию использования созданного акустического стенда.

Исходя из выше изложенного, была создана опытная модель АЭ-резонатора (рис. 4). 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  $h=75$  мм. Основа корпуса – из деревянных брусков, задняя стенка – из стального листа.

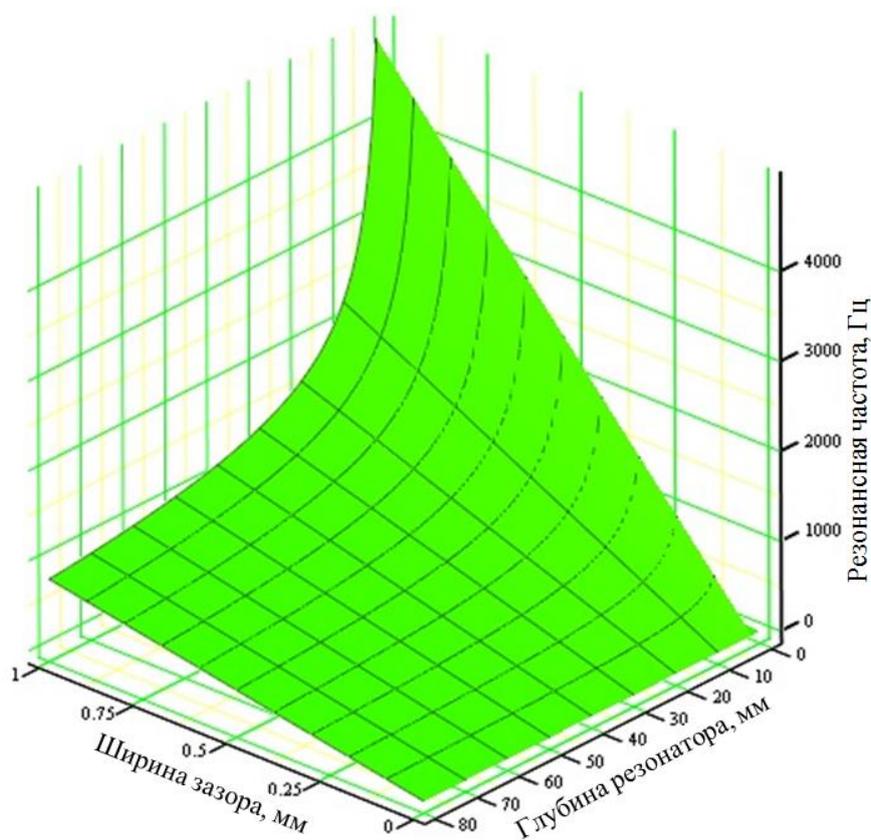


Рис. 3. Зависимость между шириной зазора, глубиной резонатора и собственной частотой резонатора

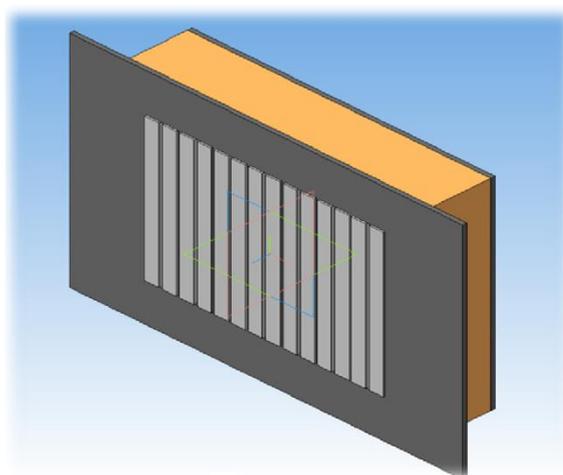
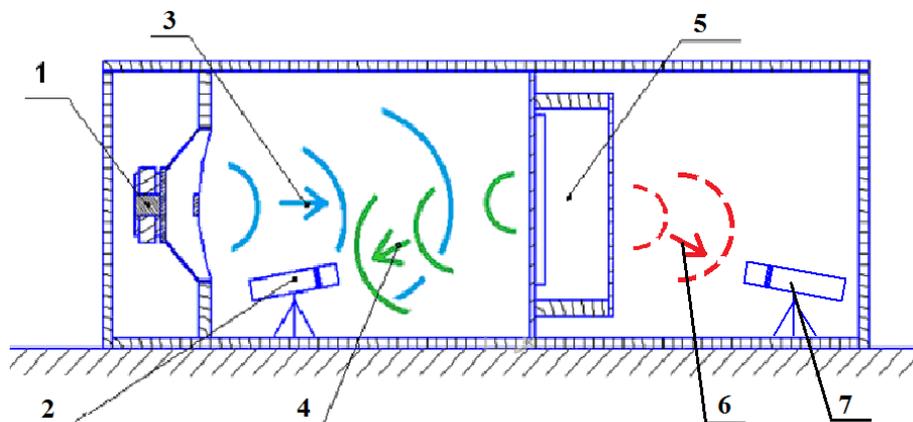


Рис. 4. Модель АЭ, выполненная на основе резонатора Гельмгольца

### 3. Методика проведения экспериментальных исследований

АЭ-резонатор устанавливался в камеру в средней её части в двух положениях: прямо, горловинами в сторону источника акустического сигнала, и обратном, обращённом к источнику тыловой частью (рис. 5). 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.



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

*Рис. 5. Схема проведения эксперимента*

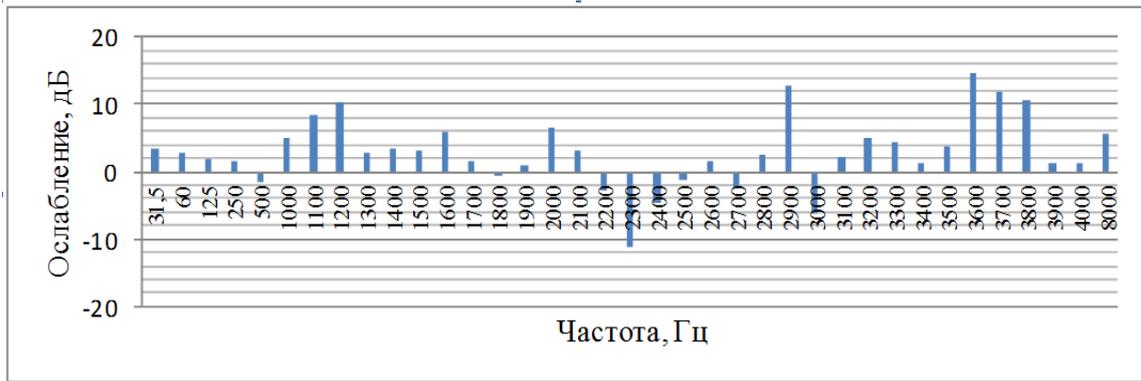
Оценка степени ослабления акустического сигнала осуществлялась для случая отражения падающей на переднюю панель АЭ звуковой волны и для случая прохождения этого сигнала через плоскость экрана в зону тени. Количественные оценки величины ослабления сигнала в прямом положении АЭ получены в сопоставлении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

#### 4. Практические измерения и выводы

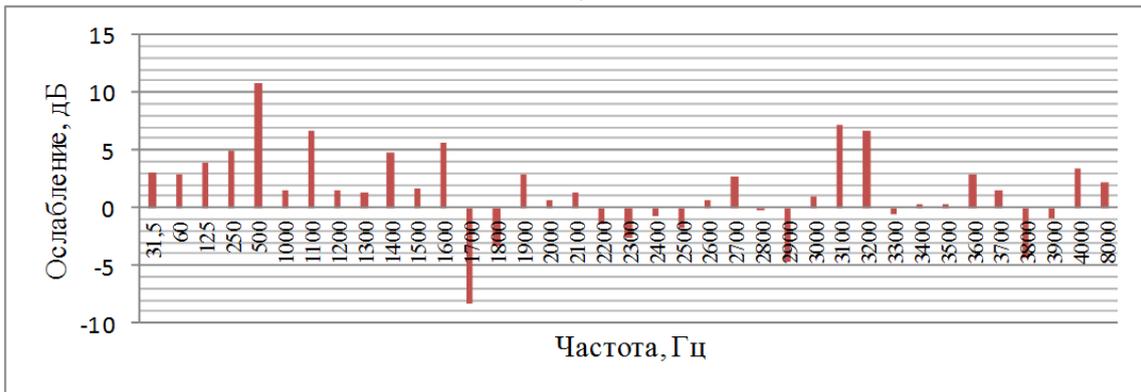
Оценки изменения уровней сигнала показаны на рис. 6 и 7.

На рис. 7 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.

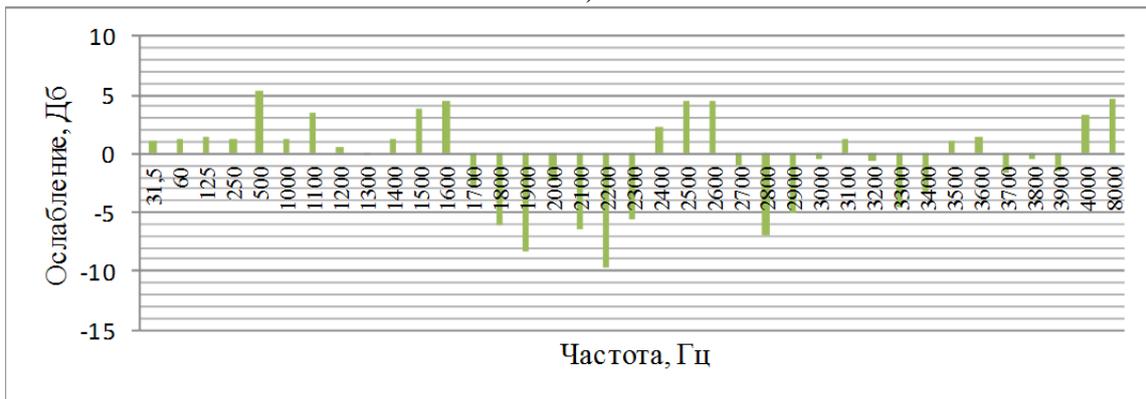
Положительное значение по шкале ординат означает снижение уровня звукового сигнала при использовании АЭ с резонаторами в сопоставлении с экраном в виде глухой стенки. Соответственно, отрицательное значение указывает на наличие увеличения уровня, т.е. на резонанс на данной частоте.



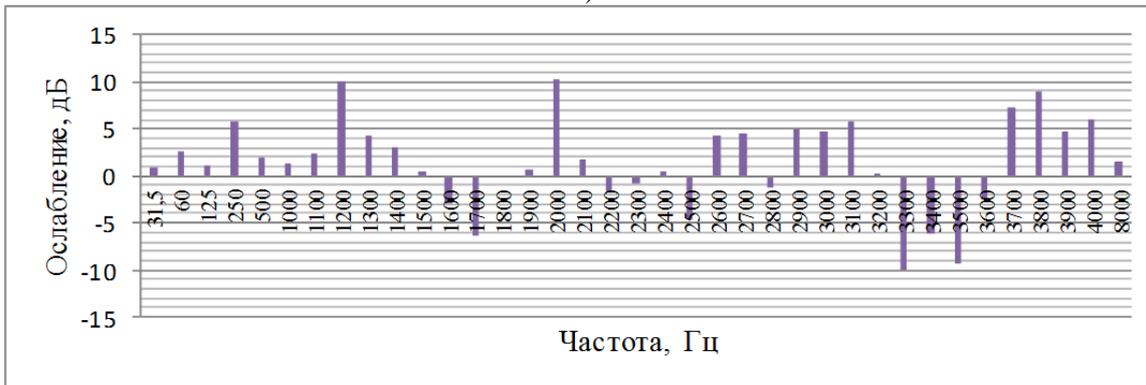
а)



б)



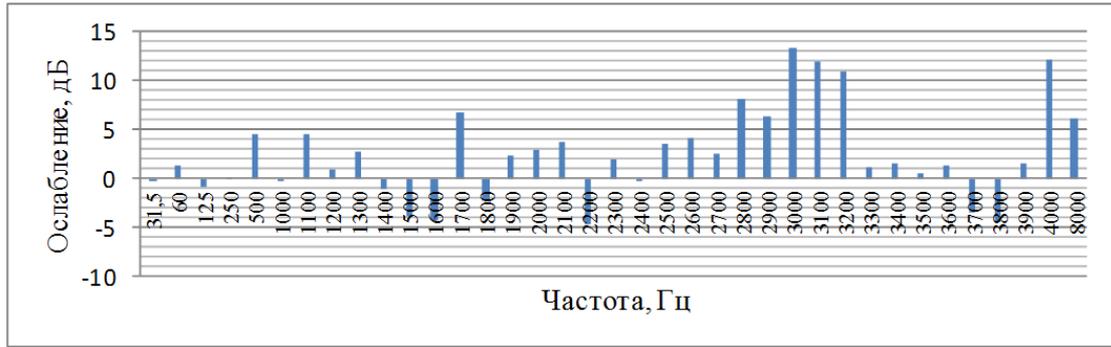
в)



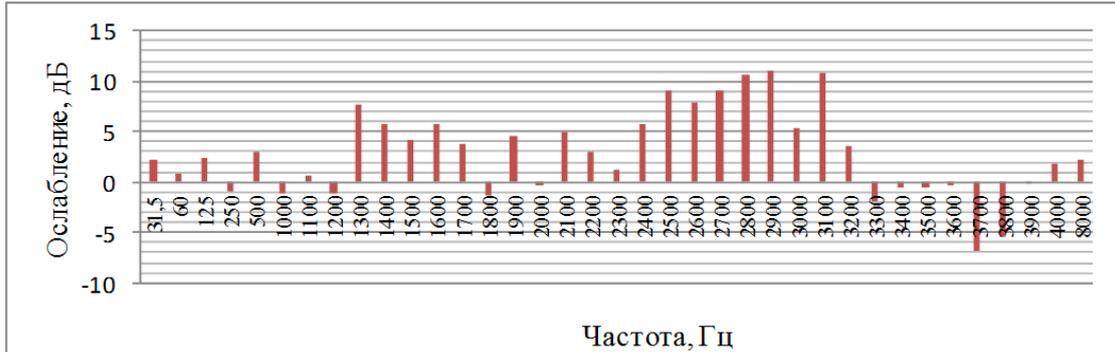
г)

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

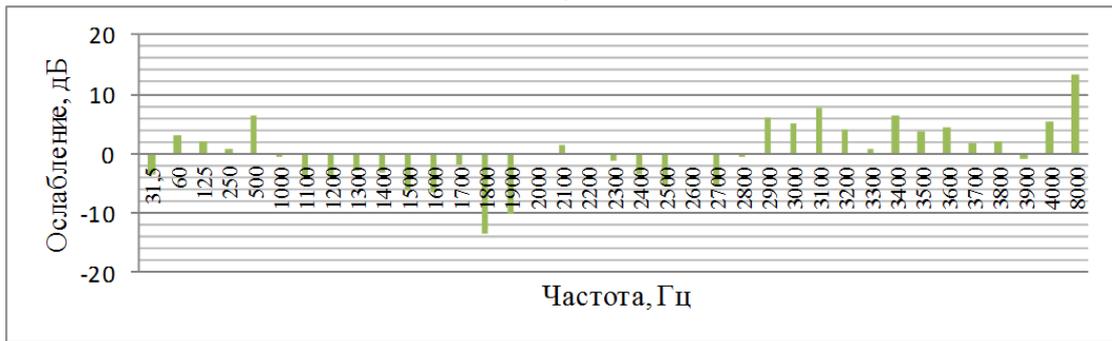
Рис. 6. Гистограммы ослабления отражённого сигнала при заданных величинах зазоров



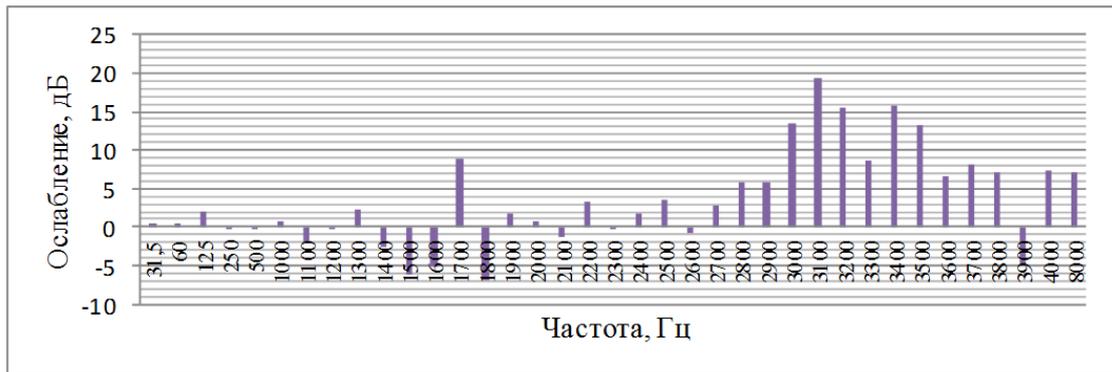
а)



б)



в)



г)

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

Рис. 7. Гистограммы ослабления прошедшего звукового сигнала при заданных величинах зазоров

На представленных гистограммах видно, что при имеющихся конструктивных особенностях конкретной модели экрана имеет место, как ослабление, так и усиление

отражённого сигнала. Так при величине зазоров 0,25 мм (рис. 6,а) и 0,5 мм (рис. 6,б) в целом можно говорить о положительном эффекте с точки зрения ослабления уровня акустических сигналов. Имеются некоторые резонансные явления на отдельных частотах, включая «всплески» до уровня 5-10 дБ. При величине зазора 1 мм (рис. 6,г) резонансные явления более выражены. И очевидное доминирование резонансных явлений имеет место при величине зазора 0,75 мм (рис. 6,в).

Изменения уровней прошедшего сигнала (в зоне акустической тени) показаны на рис. 7. На представленных гистограммах видно, что, как и в первом случае, имеет место, как ослабление, так и усиление прошедшего сигнала. При этом в целом следует говорить о доминировании положительного результата (ослаблении сигнала) (рис. 7,а,б,г) с отдельными резонансными проявлениями. Исключение, как и в первом случае, составляет вариант с зазором 0,75 мм (рис. 7,в), где резонансные явления проявляются в половине случаев.

### **Заключение**

На данном этапе работы можно сформулировать следующие выводы:

- 1) как показывают лабораторные эксперименты, применение акустических экранов на основе резонаторов Гельмгольца в целом обеспечивает получение положительного результата – ослабление уровня акустического шума – причём такой эффект наблюдается и в зоне перед экраном, и за экраном, в зоне акустической тени;
- 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) дальнейшие исследования следует направить в сторону сочетания различных зазоров, что, как представляется, должно обеспечить взаимную компенсацию возможных резонансных явлений.

*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. 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.].

4. 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.].

5. ОДМ 218.2.013-2011. Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам. –М.: Росавтодор, 2011. -123 с. [ODM 218.2.013-2011. Industry road guidance document. Guidelines for protection from traffic noise of areas adjacent to the motorways. -M.: Rosavtodor, 2011. -123 p.].

6. Канев Н.Г. Пассивные и активные резонаторы для локальных систем гашения звука: дис. ... к-та физ.-мат. наук. –М.: 2006. [Kanev N.G. Passive and active resonators for local systems of sound damping: dis. ... dc. of physics and mathematical sciences. -M.: 2006.].

7. 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.].

8. Патент ПМ РФ, № 139581, E01F8/00. Шумопоглощающий экран / Булкин В.В., Калиниченко М.В., Фильков Д.Е., Штыков Е.А. Опубл: 20.04.2014. [Patent PM (utility patent) RU, № 139581, E01F8/00. Silencing screen / Bulkin V.V., Kalinichenko M.V., Filkov D.E., Shtykov E.A. Published: 20.04.2014.].

9. Мурзинов П.В. Разработка звукоподавляющих облегченных структурированных панелей с заданными акустическими характеристиками: дис. ... к-та тех. наук. –Воронеж: 2011. [электронный ресурс] – Режим доступа: – URL: <http://www.dissercat.com/content/razrabotka-zvukopodavlyayushchikh-oblegchennykh-strukturirovannykh-panelei-s-zadannymi-akust#ixzz3cybCvBkt> (дата обращения 12.06.2015). [Murzinov P.V. Development of sound suppressing lightweight structured panels with predetermined acoustic characteristics: dis. ... doc. of technical sciences: -Voronezh: 2011 [electronic resource] - Access mode: – URL: <http://www.dissercat.com/content/razrabotka-zvukopodavlyayushchikh-oblegchennykh-strukturirovannykh-panelei-s-zadannymi-akust#ixzz3cybCvBkt> (application date 12.06.2015).].