

---

УДК 504.05

## Некоторые аспекты применения резонансных поглотителей на урбанизированных территориях

Калиниченко М.В.

В работе приведены возможные мероприятия, применяемые для снижения акустической нагрузки на жителей городских территорий. Рассмотрены вопросы применения некоторых инженерных шумозащитных решений в виде шумопоглощающих и шумоотражающих экранов, а также резонансных поглотителей. Представлены варианты расчета некоторых ключевых параметров шумопоглощающих устройств. По результатам лабораторного исследования эффективности шумопоглощающих свойств резонаторов, можно говорить о том, что наиболее эффективными являются полигармоничные шумопоглощающие резонаторы и построение резонатора с достаточно равномерной акусто-частотной характеристикой, обеспечивающей поглощение шума либо во всём диапазоне, либо в диапазоне наибольшей интенсивности шумов, принципиально возможно. Наиболее приемлемым вариантом применения такого резонатора представляется совмещение с акустическим экраном, путём объединения их в единую конструкцию. В этом случае защитные функции, выполняемые экраном, будут дополняться поглощением падающей на экран звуковой волны, что обеспечит снижение уровня отражаемого сигнала.

*Ключевые слова:* шум, акустическое загрязнение, шумозащитный экран, резонансный поглотитель.

## Some aspects of the resonance absorbers employment in urban areas

Kalinichenko M.V.

The paper presents possible provisions used to reduce acoustic-noise load on urban areas residents. The issues of applying noise-control options like sound-absorbing and soundproofing screens as well as resonance absorbers are considered. Calculation options of some key parameters for sound-absorbing devices are presented. According to the results of laboratory studies of resonator sound-absorbing properties effectiveness we can say that silencing polyharmonic resonators turn out to be the most effective ones. It is possible to design a resonator with sufficient uniform acoustic-frequency response that provides sound absorption either across the range or across the noise maximum intensity range. The most viable option to use such a resonator is its combination with an acoustic screen by assembling them into a single unit. In this case, the protective functions performed by the screen will be complemented by the absorption of the incident sound wave on the screen which will reduce the level of the reflected signal.

*Keywords:* noise, noise pollution, soundproofing screen, resonance absorber.

### Введение

Основными источниками шума в городской среде являются различные виды транспорта, промышленные и энергетические предприятия и их отдельные установки, внутриквартальные источники шума (центральные тепловые пункты, трансформаторные подстанции, крышные вентиляторы, работа магазинов, ресторанов, спортивные и игровые площадки, дискотеки и т. д.). Первенство среди этих источников принадлежит автомо-

бильному транспорту, интенсивность движения которого постоянно растёт. Наибольшие уровни шума 90-95 дБ отмечаются на магистральных улицах городов со средней интенсивностью движения 2-3 тыс. и более транспортных единиц в час. Уровень уличных шумов обуславливается интенсивностью, скоростью и характером (составом) транспортного потока. Кроме того, он зависит от планировочных решений (продольный и поперечный профиль улиц, высота и плотность застройки)

и таких элементов благоустройства, как покрытие проезжей части и наличие зелёных насаждений. Каждый из этих факторов способен изменить уровень транспортного шума в пределах до 10 дБ.

Уровни шума еще более увеличиваются при наличии железнодорожного транспорта или стройплощадок. На стройплощадках используется тяжелая техника, оснащенная дизельными установками, сваебойное оборудование. Все эти источники характеризуются шумом высокой интенсивности. Согласно [1], уровни звука, измеренные на расстоянии 7,5 м от этих машин и оборудования, достигают 75-100 дБ.

Шум, возникающий на проезжей части магистрали или при проведении строительных работ, распространяется вглубь жилой застройки, создавая неблагоприятный шумовой режим. В условиях сильного городского шума происходит постоянное напряжение слухового анализатора. Это вызывает увеличение порога слышимости (10 дБ для большинства людей с нормальным слухом) на 10-25 дБ. Шум затрудняет разборчивость речи, особенно при его уровне более 70 дБ [2]. Вот почему проблема борьбы с шумом в городе приобретает всё большую актуальность.

Целью работы являлось исследование принципиальной возможности использования резонансных поглотителей для снижения акустической нагрузки на урбанизированных территориях.

#### **Мероприятия по защите от шума**

Снижение городского шума может быть достигнуто в первую очередь за счёт уменьшения шумности транспортных средств и оборудования. Снижение шума в источнике возникновения обеспечивается применением малозумного оборудования и транспорта, выбором правильного режима его работы, его технической исправностью.

К градостроительным мероприятиям по защите населения от шума относятся: увели-

чение расстояния между источником шума и защищаемым объектом; применение акустически непрозрачных экранов (откосов, стен и зданий-экранов), специальных шумозащитных полос озеленения; использование различных приёмов планировки, рационального размещения микрорайонов. Существенный защитный эффект достигается в том случае, если жилая застройка размещена на расстоянии не менее 25-30 м от автомагистралей и стройплощадок, а зоны разрыва озеленены [3].

Также могут использоваться инженерные шумозащитные решения в виде шумопоглощающих и шумоотражающих экранов и резонансных поглотителей.

Шумозащитные экранирующие сооружения – экраны различного конструктивного исполнения, могут монтироваться как отдельно стоящие заборы с несущими колоннами и фундаментом, или как дополнение к уже существующему забору, увеличивающее его высоту [4].

Основой акустических экранов является металлическая стойка и полимерная плита из поликарбоната, который и выполняет звукоизолирующую функцию. Благодаря уникальным свойствам этого материала, шумозащитные экраны устойчивы к ультрафиолетовому излучению, растворам солей, кислот и прочих химических веществ, био- и влагостойкие, не выделяют вредных веществ. Кроме того, такие плиты не изменяют свои свойства со временем, поэтому эффективность их звуковой защиты не снижается.

Согласно [4], в зависимости от конструктивного исполнения шумозащитные экраны можно свести к четырём классам: экраны-стенки (барьеры); широкие экраны; комбинированные экраны; экраны-тоннели.

Также, к шумопоглощающим специальным средствам относятся резонансные поглотители, которые подразделяются на мембранные и резонаторные [5]. Мембранные поглотители состоят из хорошо демпфирующего, с большой вязкостью, материала, расположен-

ного под тонким фанерным листом или натянутым холстом (щит Бекешы). Максимальное поглощение в мембранных поглотителях обеспечивается на резонансных частотах, которые определяются по формуле:

$$f = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho h b}}, \quad (1)$$

где  $n$  – значение формы колебаний (номер гармоники);

$l, b, h$  – размеры холста;

$\rho$  – плотность материала холста;

$F$  – усилие натяжения холста.

Резонансные поглотители представляют собой систему воздушных резонаторов по типу резонаторов Гельмгольца, в устье которых располагается демпфирующий материал.

Резонатор Гельмгольца – сосуд сферической формы с открытой горловиной. Воздух в горловине является колеблющейся массой, а объем воздуха в сосуде играет роль упругого элемента. Такое разделение справедливо лишь приближенно, т.к. некоторая часть воздуха в полости обладает инерционным сопротивлением. Однако при достаточно большой величине отношения площади отверстия к площади сечения полости, точность такого приближения вполне удовлетворительна. Основная часть кинетической энергии колебаний оказывается сосредоточенной в горле резонатора, где колебательная скорость частиц воздуха имеет наибольшую величину [5].

Собственная частота резонатора Гельмгольца может быть рассчитана по формуле

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V \times l_{\text{эф}}}}, \quad (2)$$

где  $f_0$  – резонансная частота резонатора, Гц;

$c_0$  – скорость звука в воздухе;

$S$  – сечение отверстия горловины, м<sup>2</sup>;

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

$l_{\text{эф}}$  – эффективная длина горловины, м.

В соответствие с [5], эффективная длина горловины рассчитывается по формуле

$$l_{\text{эф}} = l + \pi r / 2, \quad (3)$$

где  $l$  – длина горловины или толщина листа;

$r$  – радиус горловины.

Изменяя величины  $V, S$  и  $l$  можно создать набор резонаторов, настроенных на широкий спектр частот возбуждения, вследствие чего расширяется частотная область действия поглотителя.

В зависимости от конструктивных особенностей, например от равномерности распределения отверстий и их формы, изменяется эффективность работы резонансного поглотителя.

В соответствие с [5], при равномерном распределении отверстий резонансная частота рассчитывается по формуле

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{L^2 h_p l_{\text{эф}}}}, \quad (4)$$

где  $L$  – расстояние между отверстиями;

$h_p$  – расстояние от верхнего листа до дна резонатора.

Если вместо ряда отверстий применяются щели, то (4) приобретает следующий вид

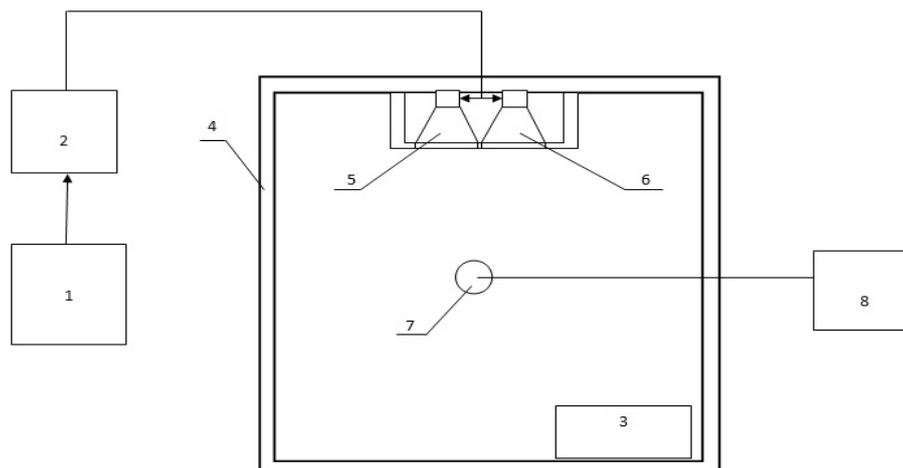
$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{b}{L h_p l_{\text{эф}}}}, \quad (5)$$

где  $b$  – ширина щели;

$L$  – расстояние между щелями.

### Обработка экспериментальных данных

Исследования эффективности шумопоглощающих свойств резонаторов производились в лабораторной акустической камере с объемом порядка 1 м<sup>3</sup>. Камера представляет собой конструкцию в виде короба со съемной верхней крышкой, фиксируемой замками (рисунк 1). Внутренняя поверхность покрыта звукопоглощающим материалом. На крышке расположены низкочастотный и высокочастотный излучатели, подключенные к источнику акустического сигнала через развязывающий фильтр, в центре камеры размещен электродинамический микрофон.



1 – генератор звуковой частоты; 2 – усилитель низких частот;  
3 – резонансный поглотитель; 4 – камера; 5 – низкочастотный излучатель;  
6 – высокочастотный излучатель; 7 – микрофон; 8 – милливольтметр

**Рис. 1.** Лабораторная акустическая камера.

Особенности камеры, «неидеальность» ее конструкции и, как следствие, «неидеальность» ее характеристик как заглушенной камеры, потребовали применение такой методики измерений, которая обеспечивала бы компенсацию очевидной зависимости конечного результата от этих особенностей.

Исследования проводились с использованием резонаторов с изменяющимися размерами основных элементов конструкции, т.е. настроенных на различные доминирующие частоты. Первым этапом проведения измерений было получение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) самой камеры при наличии в рабочем объеме заглушенного объекта, эквивалентного исследуемому резонатору. Затем проводились измерения при наличии резонатора в камере. На третьем этапе исследований сопоставление исходной и полученных характеристик обеспечивало получение требуемого результата в виде относительных АЧХ резонаторов.

Измерения проводились на стандартных частотах (20; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц), рекомендованных действующими методиками измерений. Некоторые результаты исследований представлены на рисунке 2.

Из графиков видно, что в зависимости от конструктивных особенностей резонаторов, определяемых выбором численных значений, входящих в соотношения (2), (4) или (5), АЧХ может иметь разный вид. Видно, что снижение уровня шума в некоторых случаях достигает 5 дБ. Имеющееся усиление уровня звукового давления (например, на первом графике – до 4 дБ) может объясняться тем, что исследуемые резонаторы были моногармоничными, т.е. настроенными на одну рабочую частоту, а усиление на другой частоте – побочный эффект.

Устранение этого недостатка можно искать на пути построения полигармоничных резонаторов, что обеспечивается вариациями численных значений основных конструктивных элементов в пределах одной конструкции.

Один из результатов исследований полигармоничных резонаторов показан на рисунке 3, из анализа которого следует, что построение резонатора с достаточно равномерной АЧХ, обеспечивающей поглощение шума либо во всем диапазоне, либо в диапазоне наибольшей интенсивности шумов, принципиально возможно.

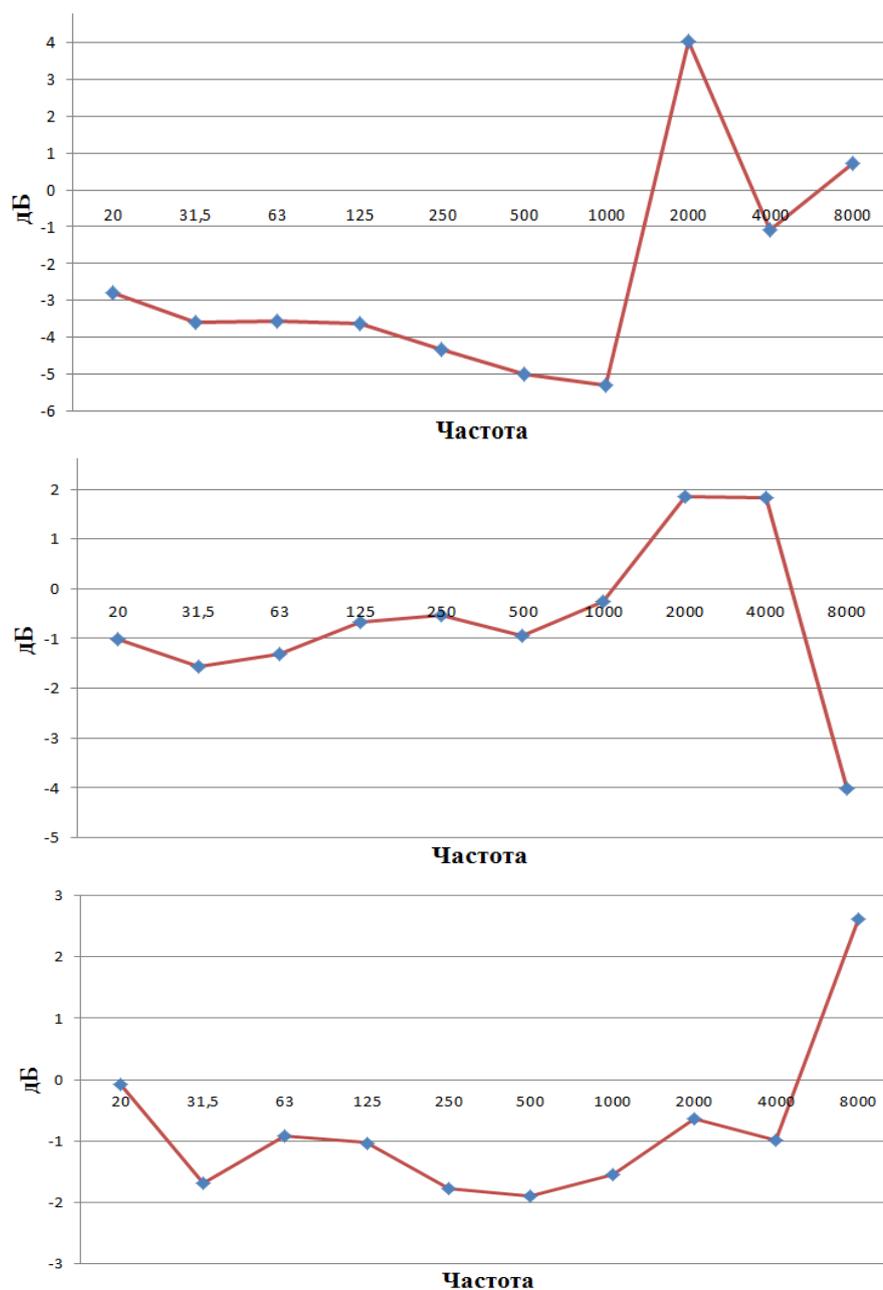


Рис. 2. Относительные характеристики изменения уровня акустического сигнала для различных резонаторов.

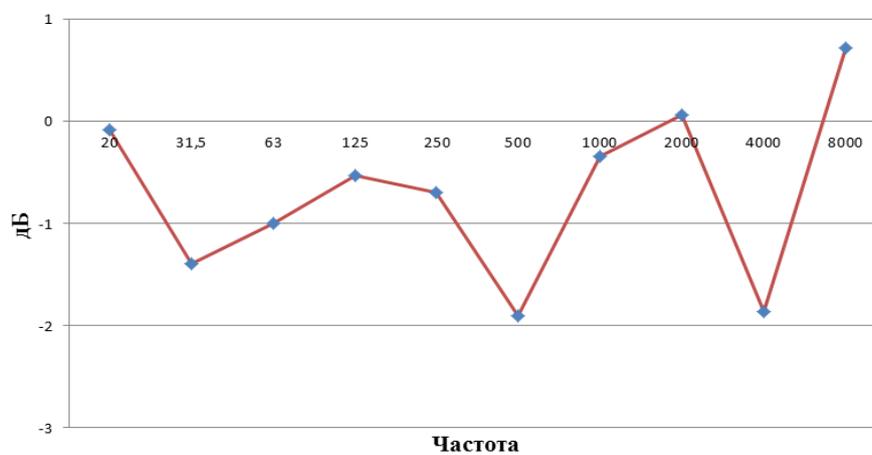


Рис. 3. Уровень акустического сигнала относительно эталонного (полигармонический резонатор).

### Выводы

Полученные результаты не позволяют говорить о высокой степени эффективности использования резонаторов для снижения уровня шума на городских территориях, хотя получаемое значение снижения уровня звукового давления в 5 дБ нельзя назвать незначительным.

Вместе с тем, следует учесть и «относительный» характер полученных результатов, и несовершенство использованной для измерений акустической камеры, которая не может претендовать на замену профессиональной заглушённой камеры, в которой и проводятся прецизионные количественные измерения. Не относится к классу высокоточных измерительных приборов и использованное электроакустическое оборудование. Да и конструкции резонаторов, выполненных в лабораторных условиях, могут обеспечить только качественный результат исследований.

Таким образом, можно говорить о принципиальной возможности применения поглощающих резонаторов для снижения уровня шума на городских территориях, но наиболее разумным вариантом их применения представляется совмещение с акустическими экранами, например, путём объединения их в единую конструкцию [7,8]. В этом случае защитные функции, выполняемые экраном, будут дополняться поглощением падающей на экран звуковой волны, что обеспечит снижение уровня отражаемого сигнала, т.е. будет способствовать решению задачи защиты урбанизированных территорий от акустического загрязнения.

### Литература

1. Минина Н.Н. Снижение шума при строительстве автомобильных дорог. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. – С.Пб., 2006.
2. Иванов Н.И. Защита населения от повышенного шумового воздействия // Приложение

к журналу «Безопасность жизнедеятельности», 2011, октябрь №10.

3. Калиниченко М.В. Некоторые аспекты проблемы загрязнения урбанизированных территорий автотранспортом (на примере г. Муром) // Экология и промышленность России, 2012, №12. – С. 54-59.

4. Иванов Н.И., Семенов Н.Г., Тюрина Н.В. Акустические экраны для снижения шума в жилой застройке // Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности», 2012, №4.

5. Булкин В.В., Беляев В.Е., Сергеев В.Н. Конструкторские расчеты элементов РЭС в условиях механических и акустических воздействий: учеб. пособие. / Под редакцией В.В. Булкина. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2004. – 131 с.

6. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 424 с.

7. Заявка на ПМ, № 2013121429/03, E01F8/00. Шумопоглощающий экран / Булкин В.В., Калиниченко М.В., Фильков Д.Е., Штыков Е.А. – Приоритет от 07.05.2013.

8. Заявка на ПМ, № 2013121443/03, E01F8/00. Шумопоглотитель / Булкин В.В., Калиниченко М.В. – Приоритет от 07.05.2013.

### References

1. Minina N.N. Noise reduction in road building. Abstract of the thesis for the degree of Ph.D. – S.Pb., 2006.
2. Ivanov N.I. Protecting the public from high noise exposure // Supplement to «Safety life», 2011, № 10.
3. Kalinichenko M.V. Some aspects of the problem of pollution in urban areas motor vehicles (for example, Murom) // Ecology and Industry of Russia, 2012, № 12. – Pp. 54-59.
4. Ivanov N.I., Semenov N.G., Tyurina N.V. Acoustic screens to reduce noise in residential areas // Supplement to «Safety life», 2012, № 4.
5. Bulkin V.V., Belyaev V.E., Sergeev V.N. Engineering design elements of RES in terms of

---

mechanical and acoustic effects / Edited by V.V. Bulkin. – Murom: Polygraphic center MI VISU, 2004. – 131 p.

6. *Ivanov N.I.* Engineering Acoustics . Theory and practice of noise control: a tutorial. – Moscow: University Book, Logos, 2008. – 424 p.

7. Application for PM, № 2013121429/03, E01F8/00. Noise reducing screen / *Bulkin V.V.*,

*Kalinichenko M.V., Filkov D.E., Shtykov E.A.* – Priority from 07.05.2013.

8. Application for PM, № 2013121443/03 , E01F8/00. Silencer / *Bulkin V.V., Kalinichenko M.V.* – Priority from 07.05.2013.

**Статья поступила в редакцию 30 сентября 2013 г.**

---

*Калиниченко Марина Валерьевна* – старший преподаватель кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: [marinakali@mail.ru](mailto:marinakali@mail.ru)

---

*Kalinichenko Marina Valerjevna* – Teacher, Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: [marinakali@mail.ru](mailto:marinakali@mail.ru)