

УДК 534.833.5

Применение низкочастотных резонансных поглотителей в конструкциях монументальных объектов больших помещений

Попова Инесса Юрьевна^(*)

popovainessa2905@gmail.com

SPIN-код: 6223-5192, Author ID: 1336083

Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А.Л. Штиглица, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассмотрены вопросы численного моделирования снижения уровней акустического поля в замкнутом помещении. Источник звука в помещении с большими пространственными размерами и хорошо отражающими стенками приводит к формированию неоднородного акустического поля с максимумами, определяемыми нормальными частотами. Известны инженерные методы, позволяющие выбрать геометрию, место размещения и упрощенно оценить эффект при использовании универсального низкочастотного резонансного глушителя. В данной работе для выбора геометрии глушителя был использован метод геометрического формообразования, являющийся одним из основных подходов в проектировании объектов дизайна и раскрывающий большие возможности создания новых форм. На численной модели приводится расчет снижения уровня звукового поля в контрольной точке за счет выбранной конструкции резонансного поглотителя, настроенного на одну из нормальных частот помещения.

Ключевые слова: резонансный поглотитель, монументальный объект, формообразование, акустическое поле

Application of low-frequency resonant absorbers in the structures of monumental objects in large rooms

Popova Inessa Yuryevna^(*)

popovainessa2905@gmail.com

SPIN-код: 6223-5192, Author ID: 1336083

Saint Petersburg Stieglitz State Academy of Art and Design, Saint-Petersburg, Russia

Abstract. Numerical modeling of acoustic field level reduction in an enclosed space is considered. A sound source in a large room with highly reflective walls creates a non-uniform acoustic field with peaks determined by normal frequencies. Engineering methods exist for selecting the geometry, placement, and simplified assessment of the effect of a universal low-frequency resonant muffler. In this paper, geometric shaping, a key approach in designing design objects and offering significant potential for creating new forms, was used to select the muffler geometry. A numerical model is used to calculate the sound field level reduction at a reference point using the chosen resonant absorber design, tuned to one of the normal frequencies of the room.

Keywords: resonant absorber, monumental object, shaping, sound absorption

Введение. Известно, что в больших залах и помещениях с хорошо отражающими стенками возможно формирование сильно неоднородного акустического поля, как по частоте, так и пространственному распределению. Поле помещения в низкочастотной области определяется нормальными частотами, которые оказываются достаточно далеко расположены друг от друга [1]. Резонансные поглотители могут эффективно снижать уровни акустического поля на отдельных частотах и широко используются как рассеиватели звуковых волн [1, 2]. Теория рассеяния звука резонатором подробно описана в технической литературе [3–6], получены инженерные формулы для настройки на заданную резонансную частоту, а также реализуемый эффект от их размещения в заданных точках пространства. С эстетической точки зрения низкочастотные поглощающие и рассеивающие структуры могут быть громоздки и тем самым кардинально влиять на изначальный архитектурный стиль помещения. Однако требования к геометрии и размещению резонансных структур в помещении могут быть на общих принципах объединены с эстетическими требованиями формообразования монументальных объектов для данного помещения. В статье рассматривается дополнение монументального объекта в виде колонны в замкнутом помещении конструкцией резонансного поглотителя, настроенного на одну из нормальных частот. Приводится расчет снижения уровня звукового поля в контрольной точке на численной модели за счет видоизмененной формы колонны, дополненной формообразованием в виде резонансной поглощающей структуры.

Методы и материалы. Геометрическое формообразование предполагает создание устойчивых объектов из «базовых форм» [6–10]. Данный принцип при выборе геометрии действует как для отдельного помещения, так и для комплекса больших высотных зданий. На практике, рассматриваемая в статье задача, может выполняться путем трансформации геометрии исходного модуля в новую форму. Используется принцип вычитания (удаления) модулей такого же типа, проектирования облегченной или более тяжеловесной формы исходного объекта. Разнообразие геометрических форм и структур на их основе создает большие возможности для проектирования новых выразительных и функциональных объектов. На рис. 1 показан прием сложения и вычитания модулей с базовой формой одного типа на основе геометрии цилиндрической колонны.

Для рассматриваемой задачи геометрией добавляемых модулей должна служить геометрия самих резонансных поглотителей. Классическим примером резонансной рассеивающей (поглощающей) конструкции является резонатор Гельмгольца. В прикладных задачах акустики внешний вид резонатор Гельмгольца может иметь разнообразные размеры и формы [3–5]. Однако из описания физического процесса рассеяния звуковой волны важным для выбора геометрии модуля является следующее: резонатор всегда представляет собой некоторый объем с жесткими стенками, который сообщается с внешней средой через небольшое отверстие или трубу, называемую горлом (рис. 2).

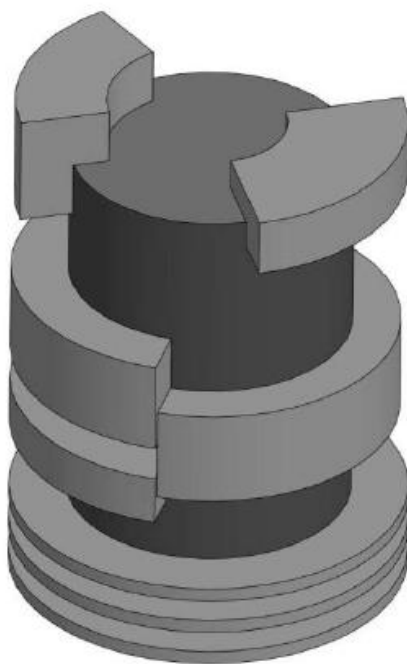


Рис. 1. Прием сложения и вычитания модулей с базовой формой цилиндра

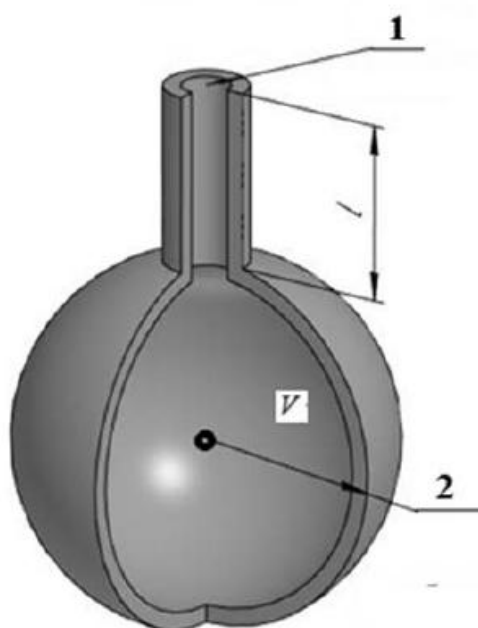


Рис. 2. Элементы резонатора Гельмгольца, определяющие его функциональность:
1 — горло резонатора, 2 — объем резонансной камеры

В рамках классической теории резонатор Гельмгольца на низких частотах рассматривается как колебательная система с сосредоточенными параметрами (определенной массой и упругостью), через которые определяются f_0 — собственная частота, Q — добротность, R_{ah} — потери на трение. Важной осо-

бенностью для описываемой задачи является возможность оценки влияние на акустического поле только через геометрические размеры резонатора, что совершенно нетипично для акустики сплошных сред. Из различных инженерных подходов в данной работе были выбраны формулы, приведенные еще в работах Релэя [4]:

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V(l + l_s)}}, \quad (1)$$

где S — площадь горла резонатора; l — длина горла, $l_{пр}$ — поправка к длине горла резонатора при определении резонансной частоты; V — объем резонансной камеры,

$$Q = \frac{c_0}{f_0} \frac{l + l_{пр}}{S}; \quad (2)$$

$$R_{ah} = \frac{\sqrt{4\pi\rho\eta f_0}}{\pi a^2} (l + l_{ah}), \quad (3)$$

где l_{ah} поправка к длине горла резонатора при определении потерь на излучение ($l_{пр} \neq l_{ah}$). В уравнения входят параметры акустической среды: η , Нс/м² — кинематическая вязкость воздуха и c_0 — скорость звука.

Известно, что резонансные пики передаточной функции можно сгладить путем увеличения потерь на излучения резонатора и снижения добротности. С точки зрения эффективности, резонатор целесообразно помещать в пучностях нормальных мод для рассматриваемого помещения. Инженерные методы рекомендуют также установку резонатора в углах или на стенках помещения.

В рассматриваемой задаче для помещения был выбран монументальный объект (колонна) расположенная в центре, для геометрии которого допускалось изменение в рамках установленных правил для достижения эффекта снижения уровней поля. В дизайне форма определяет целесообразность существования и назначение проектируемого объекта — его эстетичность и функциональность [7]. В данной работе для снижения уровня звукового поля в помещении (на одной из нормальных частот) в центральной части колонны было размещено цилиндрическое формообразование в виде утолщения с полостью внутри и узкой прорезью во всей длине.

Результаты. В качестве расчетной модели (рис. 3) было выбрано помещение прямоугольной формы размером $L = 8$ м, $W = 4$ м и высотой $H = 3$ м. На модели была задана контрольная точка для измерения звукового давления (1), монументальный объект в виде колонны (2), источник звука (3). Расчет уровней звукового осуществлялся для двух случаев: а) колонна имела абсолютно гладкую поверхность, б) колонна была дополнена формообразованием, геометрические размеры которого соответствовали резонатору Гельмгольца, настроенному на одну из низших нормальных частот данного помещения.

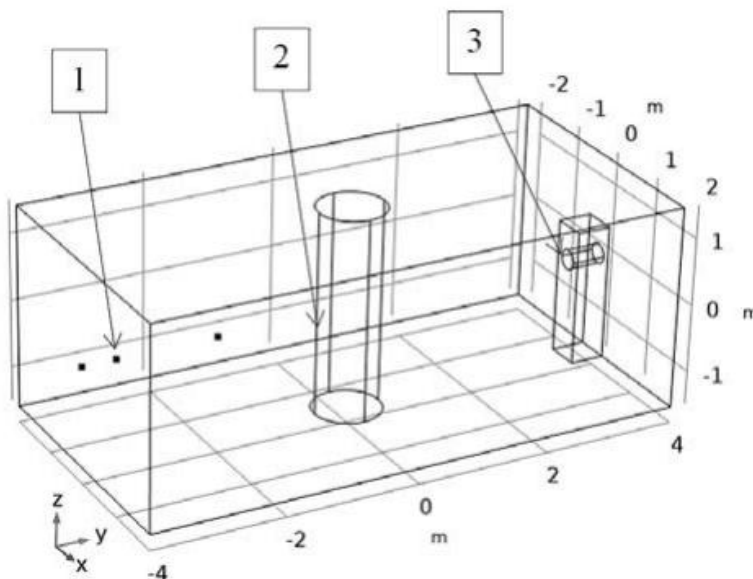


Рис. 3. Описание расчетной модели:

1 — контрольная точка, 2 — монументальный объект (колонна), 3 — источник звука

На рис.4 в качестве примера показано распределение звукового поля в помещении от выбранного источника для случая, когда на поверхности колонны присутствует формообразование, выполняющее функции резонатора. Видно, что при излучении вблизи источника формируется сферическая волна, которая вблизи колонны (в центральной части помещения) трансформируется в волну, фронт которой определяется геометрией помещения. Вблизи резонанса, поглотитель может эффективно рассеивать звуковую волну. Несмотря на относительно небольшие размеры выбранного помещения, на численной модели удалось получить реализуемый эффект от использования выбранной конструкции резонатора. Данный расчет позволил установить связь между выбранной моделью резонатора для данного помещения и ожидаемым эффектом.

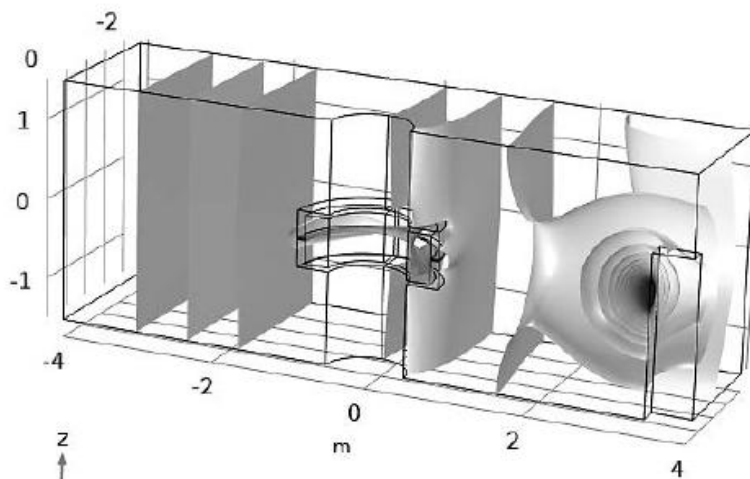


Рис. 4. Распределение звукового поля в помещении при наличии резонатора на выбранной частоте

Обсуждение. Расчет звукового поля от заданного источника на конечно элементной модели позволяет без труда определить нормальные частоты и формы колебаний в помещении, как при наличии монументального объекта (колонны), так и в ее отсутствии. Для выбранной геометрии помещения и наличия полностью отражающих стенок нормальные частоты могут быть получены также по простой аналитической формуле.

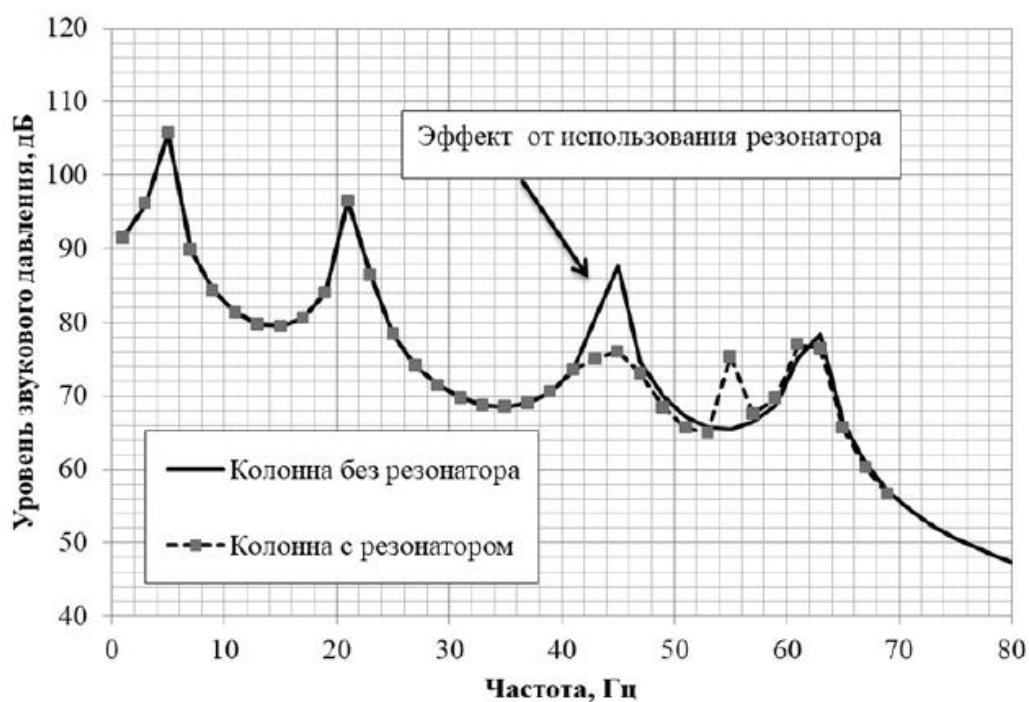


Рис. 5. Изменение уровня звукового давления в контрольной точке при внедрении на колонну резонансной структуры

В процессе решения наибольшую сложность составила задача подбора геометрических размеров для резонатора. Для предложенной формы резонансной конструкции на колонне инженерные формулы не позволяли получить точные значения геометрических размеров. В работах [1, 2] отмечается также тот факт, что эффективность рассеяния энергии различных мод резонатором различна. В данной работе подбор параметров резонатора был осуществлен путем ряда итераций на конечноэлементной модели. Как результат, было достигнуто снижение уровня звукового поля на величину порядка 8 дБ на одной из нормальных частот (рис.5) в заданной контрольной точке.

Заключение. Общеизвестно, что повышенный уровень шума создает дискомфорт и оказывает негативное влияние на человека. С другой стороны не менее сильный дискомфорт может создать неэстетичная окружающая обстановка. В рассматриваемой задаче исходными данными для обеих проблем являются геометрические параметры. В работе на простой модели показано, что исходные задачи оказываются взаимосвязанными и могут решаться совместно. В рамках приведенного расчета на основании инженерных формул

были получены предварительные размеры резонансного поглотителя и требования к его размещению. Далее на численной модели был выполнен расчет акустического поля и откорректированы окончательные размеры резонансного поглотителя для его точной настройки на конкретную нормальную частоту. Окончательная форма резонатора была выбрана на основе принципов геометрического формообразования, используемых в промышленном дизайне, для рассматриваемого монументального объекта (цилиндрической колонны).

Список источников

- [1] Лапин А.Д. Низкочастотное звуковое поле в помещении с резонатором Гельмгольца. *Акустический журнал*, 2000, т. 46, № 4, с. 563–565.
- [2] Лапин А.Д. Сечение рассеяния и поглощения резонатора Гельмгольца в многомодовом волноводе. *Акустический журнал*, 1999, т. 45, № 3, с. 376–379.
- [3] Морз Ф. *Колебания и звук*. Москва-Ленинград, ГИТТЛ, 1949.
- [4] Malkolm J. Crocker Acoustics Handbook. New York, John Wiley & Sons Inc., 1997.
- [5] Рэлей. *Теория звука*. Т. 2. Москва, ГИТТЛ, 1955.
- [6] Исакович М.Л. *Общая акустика*. Москва, Наука, 1973.
- [7] Михеева Е.П. и др. *Основы методологии проектирования в промышленном дизайне*. Владимир, Изд-во ВлГУ, 2014, 80 с.
- [8] Сапрыкина Н.А. *Основы динамического формообразования в архитектуре*. Москва, Архитектура-С, 2005, 312 с.
- [9] Степанов А.В. и др. *Объемно-пространственная композиция*. Москва, Архитектура-С, 2007, 256 с.
- [10] Устин В.Б. *Композиция в дизайне. Методические основы композиционно-художественного формообразования в дизайнерском творчестве*. Москва, АСТ, Астрель, 2008, 239 с.