

УДК 534.414

ФОНОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ ДЛЯ ШИРОКОПОЛОСНОГО ШУМОПОДАВЛЕНИЯ

Красикова М.В.

Университет ИТМО

Научный руководитель – к.т.н, старший научный сотрудник Капитанова П.В.

Университет ИТМО

Основная задача проекта состоит в разработке периодической структуры на основе резонаторов Гельмгольца для подавления акустических шумов в широком диапазоне слышимых частот (от 20 до 5500 Гц). Проведено теоретическое описание системы, численное моделирование и определены оптимальные параметры, позволяющие добиться наибольшей суммарной ширины запрещенных зон, а также экспериментальное исследование рассматриваемой системы. Разрабатываемая структура может стать основой для реализации систем пассивного шумоподавления, работающих в широком диапазоне слышимых частот.

Введение. Одной из важнейших проблем современной городской среды и урбанистики, является шумовое загрязнение, уровень которого возрастает с каждым годом. Постоянное воздействие шума, в том числе создаваемого дорожным транспортом, приводит к развитию большого количества физиологических, психосоматических и психологических заболеваний. При этом существующие системы пассивной шумоизоляции не позволяют в полной мере ограничить воздействие шума на людей.

Возможной альтернативой традиционным системам шумоподавления могут стать акустические метаматериалы и фононные кристаллы, характеризующиеся наличием запрещенных зон. Ширина таких зон зависит только от периодических свойств структуры и не связана с массой или объемом. Однако, существующие системы на основе метаматериалов или фононных кристаллов позволяют добиться подавления шумов только в узком спектральном диапазоне, в связи с чем необходим поиск и разработка иных вариантов исполнения таких структур.

Таким образом, научная проблема заключается в отсутствии эффективных систем пассивного шумоподавления, работающих в широком спектре слышимых частот. Соответственно, необходимо разработать периодическую структуру, характеризующуюся большой суммарной шириной запрещенных зон (более 70% рассматриваемого спектра).

Научная новизна исследований заключается в разработке периодической структуры с особой конфигурацией элементарной ячейки, которая позволяет добиться большей суммарной ширины запрещенных зон в интересующей области спектрального диапазона (от 20 до 5500 Гц), по сравнению со структурами, представленными в литературе. Такая характеристика обуславливается локальной связью резонаторов Гельмгольца, составляющих элементарную ячейку. Кроме того, исследуемая структура не будет существенным образом препятствовать распространению воздуха, в отличие от традиционных систем шумоподавления. При этом структура также может обладать оптической прозрачностью, коэффициент прохождения в таком случае будет зависеть от периода структуры.

Основная часть. Рассматриваемая периодическая структура выполнена из пар резонаторов Гельмгольца, представляющих собой элементарную ячейку. В численном моделировании внешний и внутренний радиус резонаторов Гельмгольца совпадали с параметрами коммерчески доступных ПВХ-труб для холодного водоснабжения, которые могут быть использованы для экспериментальной реализации структуры конечных размеров.

Численное моделирование было произведено при помощи метода конечных разностей (FEM) с использованием программного обеспечения COMSOL Multiphysics. Далее, с использованием модуля LiveLink for MATLAB был произведен поиск оптимальных геометрических параметров рассматриваемой элементарной ячейки, при которых наблюдается максимальная ширина запрещенной зоны.

Теоретическое описание рассматриваемой системы заключается в анализе собственных мод бесконечной структуры с точки зрения теории групп. В частности, был проведен анализ симметрии мод и их классификация с точки зрения неприводимых представлений.

Далее, полубесконечная двумерная структура была реализована экспериментально. Для этого была разработана специальная измерительная камера, представляющая собой трубу прямоугольного сечения, стенки которой представляют собой абсолютно жесткие границы (три стенки выполнены из алюминия и одна из органического стекла). Размеры сечения таковы, что для всего спектрального диапазона измерений по ширине и высоте трубы укладывается менее одной длины волны, что позволяет имитировать периодические условия Флоке. На одном конце трубы располагался электродинамический громкоговоритель, а на другом – микрофон для измерения спектра прохождения структуры. Между громкоговорителем и микрофоном располагался одномерный массив из нескольких пар резонаторов Гельмгольца. Таким образом, эффективно структура конечна вдоль направления распространения волны и бесконечна в других направлениях.

Резонаторы Гельмгольца были изготовлены путем печати на 3D-принтере. Геометрические параметры резонаторов соответствовали оптимальным параметрам, найденным на этапе численного моделирования с учетом масштабирования системы, так как имеющаяся установка позволяет проводить измерения от 200 до 2300 Гц. Также были произведены измерения давления внутри одного из резонаторов при помощи расположенного в нем микрофона. Коэффициент прохождения структуры и усиления поля внутри резонатора был вычислен при помощи сравнения измеренных сигналов с референсными значениями (полученными при отсутствии резонаторов в трубе).

Выводы. Полученные результаты станут основой для разработки систем шумоподавления, работающих в широком спектральном диапазоне слышимых частот, а также внесут вклад в развитие акустических метаматериалов и систем шумоподавления нового поколения на их основе. Кроме того, техническая простота исполнения предлагаемого решения и коммерческая доступность материалов, лежащих в его основе, позволят широко использовать разрабатываемые системы для благоустройства городских парковых зон. Таким образом, в долгосрочной перспективе результаты проекта внесут вклад в развитие методов борьбы с шумовым загрязнением. Кроме того, результаты проекта могут быть востребованы компаниями, осуществляющими работы по ландшафтному строительству и благоустройству территории.

Красикова М.В. (автор)

Подпись

Капитанова П.В. (научный руководитель)

Подпись