

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ТРОЙНОЙ ПАНЕЛИ С ПОРОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТАМАТЕРИАЛОМ

Федоров Б. М.<sup>1</sup>, Семенов В. А.<sup>1</sup>

Научный руководитель - студент 3 курса Васильев Е. О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Лицей «Физико-техническая школа», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

bogdanfedorov733@gmail.com

### Введение

Проблема эффективного подавления шума в широком диапазоне частот (от 100 Гц до 10 кГц) сохраняет актуальность для промышленности, транспорта и жилого строительства. Традиционные звукоизоляционные материалы часто громоздки и теряют эффективность на низких и средних частотах. Перспективной альтернативой являются акустические метаматериалы - искусственные структуры, позволяющие управлять звуковыми волнами. Теоретические основы одного из классов - пороакустических структур - изложены в работе Myong-Jin Kim [1], где методом конечных элементов показана эффективность тройной панели со стекловатой и акустическим кристаллом. Однако экспериментального подтверждения эти расчёты не получили. Существует разрыв между идеализированной математической моделью и её практической реализацией: без физического эксперимента невозможно оценить реальную эффективность структуры и учесть факторы, не вошедшие в расчёт (потери в материалах, погрешности сборки). Целью настоящей работы является определение оптимальной конфигурации тройной панели с пористым наполнителем и акустическим кристаллом с помощью численного моделирования, проведение экспериментальной верификации и сравнение полученных результатов.

### Основная часть

Работа состояла из нескольких этапов. На первом этапе на основе статьи [1] были выделены ключевые параметры конструкции: материал панелей - алюминий, геометрические размеры обозначенных панелей, а также размеры воздушных зазоров, акустических кристаллов из цилиндрических стержней, пористого наполнителя - стекловаты с плотностью 12 кг/м<sup>3</sup>. [2] Для моделирования пористого материала использована эмпирическая модель Делани-Бэзли [3], которая делает возможным вычисление частотной зависимости звукового импеданса и волнового числа стекловаты через удельное сопротивление потоку.

На втором этапе в среде COMSOL Multiphysics была создана конечно-элементная модель тройной панели. Для учёта периодичности структуры применялись условия Флоке. При рассмотрении этих условий расчёт был сведён к рассмотрению одного горизонтального «ряда» конструкции с целью сократить вычислительные затраты на имеющемся компьютерном оборудовании. В ходе этого использовался пакет «Multiphysics» для учёта взаимодействия звукового поля с панелями, совершающими упругие колебания. Граничные условия задавались следующим образом: на входе и выходе - условия бесконечного поглощения звуковой волны, на боковых границах - абсолютно жёсткие стены. Расчёты проводились в частотном диапазоне 100–10000 Гц. Верификация модели осуществлялась путём сравнения с графиками из статьи [1].

На третьем этапе (после рассмотрения всех конфигураций с материалами из статьи [1]) было произведено моделирование всех ранее рассмотренных конфигураций, но при условии, что материал акустических кристаллов и панелей – акриловый пластик,

который был предоставлен лабораторией ИТМО. Конфигурация с акриловыми элементами (и стекловатой) показала себя лучше, нежели с алюминиевыми (и стекловатой) – она оказалась легче, сохранив имевшиеся у алюминиевой конструкции звукоизоляционные свойства.

На четвёртом этапе на основе полученных данных был собран экспериментальный макет в акриловой вариации. Были проведены измерения с помощью динамика (источника звуковых волн) и микрофона в диапазоне частот 100–10000 Гц. Сравнение расчётных и экспериментальных данных показало совпадение общей тенденции при количественных расхождениях, что может быть связано с неидеальностью реальных материалов, упрощениями в модели пористого наполнителя и погрешностями изготовления экспериментальной установки.

### **Выводы**

В результате работы освоена методика конечно-элементного моделирования акустических структур в COMSOL Multiphysics с учётом условий Флоке. Впервые выполнено сопоставление данных численного моделирования и физического эксперимента в лаборатории для тройной панели с пороакустическим метаматериалом. Подтверждена общая тенденция поведения конструкции, как звукоизолирующего элемента, однако выявлены количественные расхождения, указывающие на необходимость уточнения модели (например, учёта вязких потерь в узких зазорах и неоднородности пористого материала). Полученные данные могут быть использованы для дальнейшей оптимизации конструкции с учётом того факта, что программное моделирование не отражает действительность в полной мере. Практическая значимость работы заключается в возможности применения результатов при создании компактных звукоизолирующих конструкций для транспорта и производств.

### **Литература**

1. Kim M.-J. Improving Sound Transmission Through Triple-Panel Structure Using Porous Material and Sonic Crystal // Archives of Acoustics. 2019. Vol. 44, no. 3. P. 533–542.
2. Bies D. A., Hansen C. H. Flow resistance information for acoustical design // Applied Acoustics. 1980. Vol. 13, no. 5. P. 357–391.
3. Delany M. E., Bazley E. N. Acoustical properties of fibrous absorbent materials // Applied Acoustics. 1970. Vol. 3, no. 2. P. 105–116.