

# Применение метода трассировки лучей в задаче определения акустических параметров помещения

Бараева Дарья Сергеевна

[baraeva@sfedu.ru](mailto:baraeva@sfedu.ru)

*К докладу на семинаре 24 июня 2022 года*

Расчет акустических свойств помещений — одна из наиболее сложных задач современной архитектурной акустики. Сложность проблемы состоит в том, что основные критерии звучания помещений носят достаточно субъективный характер, и совсем непросто перевести их на язык строгих количественных оценок.

В докладе рассматривается распространение акустической волны в помещении с единственным источником и одним приёмником, положение которых в пространстве фиксировано. Пусть помещение представляет собой замкнутый многогранник, образованный пересечением плоских звукоотражающих поверхностей (стенок), и содержит конечный набор объектов, также описываемых с помощью набора звукоотражающих стенок. При этом акустические свойства такого помещения определяются лишь геометрией и материальными свойствами стенок.

Обозначим боковую поверхность многогранника  $S$ . Внутри  $S$  необходимо решить волновое уравнение для акустического давления  $p(x, y, z, t)$  с некоторыми начальными условиями по времени и граничными условиями на внешних гранях:

$$\begin{aligned}\Delta p &= \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}, \quad (x, y, z \in V); \\ \left. \frac{\partial p}{\partial n} \right|_{S_i} &= \gamma_i p, \quad (x, y, z \in S); \\ p|_{t=0} &= t_0; \quad \left. \frac{\partial p}{\partial t} \right|_{t=0} = v_0,\end{aligned}\tag{1}$$

где  $V$  — внутренний объем многогранника  $S$  ( $S = \partial V$ ). Здесь  $c$  — скорость распространения звука в воздухе,  $n$  — внешняя нормаль к граничной поверхности;  $S_i$  — произвольная  $i$ -я грань многогранника; значение импеданса —  $\gamma_i$  зависит от звукопоглощающих свойств материала, соответствующего грани  $S_i$ .

В такой классической постановке кажется естественным применение различных прямых численных методов, например, часто используемых в граничных задачах акустики метода конечных элементов (МКЭ) или метода граничных уравнений. Тем не менее, на опыте предыдущих исследований известно [1], что наибольшую эффективность при решении подобных задач показывают геометрические методы вычисления, одним из которых является метод трассировки лучей (МТЛ) [2,3].

Настоящий доклад имеет целью проанализировать особенности применения МТЛ для решения задачи распространения звука в замкнутом пространстве, а также представить алгоритм метода пересечения ячеек [4] — одного из вариантов эффективной трассировки.

## Список литературы

1. Помпеи А., Сумбатьян М.А., Тодоров Н.Ф. Виртуальные компьютерные модели в акустике помещений: метод лучевых траекторий и алгоритмы аурализации // Акустический журнал. 2009. Т.55. №6. С.760-771.
2. Kuttruff H. Room Acoustics. (5th ed.). Spon Press: London, 2009.

3. Макриненко Л.И. Акустика помещений общественных зданий. М.: Стройиздат, 1986.
4. Amanatides J., Woo A. A fast Voxel Traversal algorithm for Ray Tracing // Dept. of Computer Science University of Toronto. Toronto, Ontario, Canada M5S 1A4