

*А.Ю. Воронков, А.М. Макаров, П.Ю. Потылицин\**

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ПРОСЛЕЖИВАНИЯ ЗВУКОВЫХ ЛУЧЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ШУМА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

При оценке акустических параметров помещений и определении энергетических характеристик отраженных звуковых полей в производственных зданиях с источниками шума в последнее время начинает

---

\*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. В.И. Леденева.

применяться метод прослеживания звуковых лучей (ray tracing), разработанный в 70-х гг. XX столетия для целей архитектурной акустики [1]. Метод позволяет производить компьютерное моделирование процессов распространения звуковых лучей с учетом объемно-планировочных параметров помещения, места размещения оборудования в объеме помещения, звукопоглощающих характеристик ограждений, оборудования и других факторов.

Для реализации метода разработана компьютерная программа, построенная в соответствии с принципами прослеживания траекторий и изменения энергий заданного набора звуковых лучей. При этом вся излучаемая источником звуковая энергия  $P$  равномерно распределяется между  $N$  лучами. На каждый луч приходится акустическая мощность  $P/N$ . Направления лучей задаются вероятностным образом в соответствии с диаграммой направленности источника. Отражение звука от поверхностей при расчетах может быть принято зеркальным или рассеянным по закону Ламберта. В последнем случае предполагается, что отраженная энергия луча распространяется в одном из направлений, определяемом вероятностным образом в соответствии с законом отражения. При достаточно большом количестве лучей распределение "отраженных лучей" повторяет в совокупности всю диаграмму рассеяния отраженной энергии. Прослеживание и учет энергетического вклада каждого из  $N$  лучей позволяют определять результирующие энергетические параметры поля. Звуковые лучи прослеживаются до тех пор, пока их энергия не уменьшится в  $10^6$  раз.

Имеющийся опыт использования метода прослеживания лучей показывает, что по способу регистрации звуковой энергии в расчетных точках существует два подхода.

В работе [2] пространственный угол распространения луча принимается равным  $4\pi/N$  с круглым поперечным сечением, а сам луч распространяется по центральной оси угла. Радиус поперечного сечения луча увеличивается пропорционально пройденному лучом пути. Если расчетная точка попадает в пределы пространственного угла, то в ней учитывается вклад энергии луча. При таком представлении лучей уменьшается погрешности дискретизации, и следовательно, можно ограничивать количество лучей  $N$ . В то же время данный способ задания лучевой картины имеет существенный недостаток. Связано это с тем, что по мере прослеживания луча происходит увеличение размеров трубки, а так как коэффициенты звукопоглощения учитываются только на центральной оси луча, то возникают различия между учитываемым и действительным поглощением поверхности. Особенно заметно это проявляется в помещениях с большими различиями в звукопоглощающих характеристиках, например, в помещениях

со звукопоглощающими потолками. Исследования, выполненные с использованием метода прослеживания лучей при рассмотренном выше подходе, показали, что такое представление лучей обеспечивает достаточно надежное решение задач в помещениях с примерно одинаковыми коэффициентами звукопоглощения. В случае больших различий звукопоглощения поверхностей метод дает значительные погрешности. При этом величина погрешностей зависит от принимаемого количества лучей.

В работах [3 – 5] лучи задаются с бесконечно малыми пространственными углами распространения. Это представление в наибольшей мере соответствует понятию луча. При таком подходе точка приема лучей может быть представлена в виде прозрачного круглого экрана или шара. Размеры областей в точке приема должны быть достаточными для усреднения проходящих через них лучей. Как показано в [5 – 6], радиусы областей могут быть 1,0 м и более. Плотность звуковой энергии в расчетной точке определяется путем суммирования энергии отдельных лучей, проходящих через область в течение единицы времени, и деления суммы на площадь области. Исходя из соотношения размеров области приема и помещения определяется необходимое количество испускаемых источником лучей [7]. Их количество может достигать десятков тысяч [8]. Большое количество лучей необходимо для уменьшения погрешностей при замене непрерывного фронта волны ограниченным количеством лучей. Исследования, выполненные с использованием такого подхода, показали, что метод обеспечивает более точное решение задач и даже при больших различиях коэффициентов звукопоглощения.

Данный подход используется нами в настоящее время при оценке распространения шума в производственных помещениях. Сравнение расчетных и экспериментальных данных показало достаточную точность расчетов. Расхождения не превышают  $\pm 2.0 \dots 3.0$  дБ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Schroeder M.R. Computer models for concert hall acoustics // Amer. J. Phys., 1973. V. 41. № 4. P. 461 – 471.
- 2 Бенцианова Ю.Е., Виноградова Э.Л., Индлин Ю.А. Методика расчета акустических параметров залов с помощью ЭВМ // Труды НИКФИ, 1986. Вып. 126. С. 5 – 17.
- 3 Krokstand A., Strom S., Sordal S. Calculating the acoustical room response by the use of a ray tracing technique // Sound and Vibration, 1968. V. 8. № 1. P. 118 – 125.
- 4 Wayman I.L., Vanyo I.P. Three-dimensional computer simulation of reverberation in an enclosure // IASA, 1977. V. 62. № 1. P. 213 – 215.
- 5 Krokstand A., Strom S. Acoustical design of the multipurpose Hjertnis hall in Sanderfjord // Applied Acoustics, 1979. V. 12. № 1. P. 45 – 63.
- 6 Бенцианова Ю.Е., Виноградова Э.Л., Индлин Ю.А. и др. Методика и расчет на ЭВМ импульсного отклика зала // Тезисы докладов X Всесоюзной акустической конференции. М., 1983. С. 87 – 90.
- 7 Кочергин И.А. Расчет уровней звукового давления, создаваемых источником в несоразмерном помещении // Повышение безопасности труда на предприятиях черной металлургии. М., 1985. С. 28 – 35.
- 8 Giuliana B., Renato S. A computers simulation procedure for the optimization of the joint effect of barriers and absorbing material in industrial halls / Internoise 83, 1983. P. 599 – 603.