

Численное решение задачи расчета экологической обстановки в городе по фактору шума методом дискретных особенностей

А. Ю. Анфиногенов

ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, Россия

The problem of indoor traffic noise reduction in a high-rise city can be investigated by means of singular integral equations and MDP. Two- and three-dimensional sound diffraction problem was numerically solved and some examples of sound field computations are discussed.

Шумовая обстановка современного мегаполиса далека от совершенства. Источниками шума могут выступать промышленные предприятия, автомобильные и железные дороги, метро, аэропорты, места проведения массовых мероприятий и т.п. Для эффективного применения мер по снижению шума необходимо располагать удобной и гибкой математической моделью и реализующим ее комплексом программ для расчета звукового поля.

Задача оценки уровня шума по своей природе является инженерной, что означает необходимость получения приближенной информации об уровне шума за приемлемое время. Поэтому математическая модель представляет собой комбинацию трехмерных и двухмерных расчетных схем метода дискретных особенностей (МДО) и асимптотических методов.

Выбор МДО или асимптотики в качестве метода определяется частотой шума. Для наиболее распространенных низкочастотных источников шума прекрасно подходит МДО. Характеристики источника шума определяют выбор модели объекта и модели источника: так, например, для оценки эффективности шумозащитных сооружений около автомобильных дорог достаточно двумерной модели, а для оценки уровня шума внутри двора или между домами потребуется трехмерная модель. Важной особенностью экологических расчетов является необходимость количественной оценки уровня шума, поскольку нормы допустимого шума регламентируются ГОСТ [1], СНИП (санитарными нормами и правилами) [2] и другими нормативными актами [3].

Задача расчета шумовой обстановки означает нахождение звукового давления $p(M) = p_{\text{мгн}}(M) - p_0$ в любой точке пространства для произвольной конфигурации источников и объектов ($p_{\text{мгн}}$ – мгновенное давление звукового поля, p_0 – атмосферное давление). Звуковое давление и интенсивность источника звука выражают в акустических уровнях:

$$N = 20 \lg \left(\frac{P_{\text{зв}}}{P_{\text{зв0}}} \right), P_{\text{зв0}} = 2.02 \cdot 10^{-5} \text{ Па.} \quad (1)$$

При этом интенсивность источника звука от современной улицы в крупном городе составляет от 70-77 дБ (по данным измерений в [4]).

Для городских сооружений естественной является постановка задачи дифракции звуковой волны на абсолютно жестком теле. Она сводится к задаче Неймана для уравнения Гельмгольца:

$$\nabla^2 p(M) + k^2 p(M) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial p(M_0)}{\partial n_{M_0}} = -\frac{\partial p'(M_0)}{\partial n_{M_0}}, \quad M_0 \in L, \quad (3)$$

где $p(M)$ – звуковое давление в точке наблюдения, $p'(M)$ – поле падающей волны.

Решение этой задачи ищем в виде потенциала двойного слоя [5]:

$$p(M_0) = \frac{1}{4\pi} \int_S g(M) \frac{\partial}{\partial n_M} \left(\frac{e^{-ikr_{MM_0}}}{r_{MM_0}} \right) dS_M, \quad M_0 \notin S, \quad (4)$$

где $g(M)$ имеет физический смысл звукового давления в точках на поверхности тела и является решением гиперсингулярного интегрального уравнения (ГСИУ) [6]

$$\frac{1}{4\pi} \frac{\partial}{\partial n_{M_0}} \int_S g(M) \frac{\partial}{\partial n_M} \left(\frac{e^{-ikr_{MM_0}}}{r_{MM_0}} \right) dS_M = f(M_0), \quad M_0 \in S. \quad (5)$$

Для решения ГСИУ (5) используется основанный на МДО численный метод [5,6], позволяющий решать задачу рассеяния на кусочно-гладких поверхностях с изломами, каковыми и являются большинство зданий и строительных конструкций.

Особенностью модели является гибкое совместное использование двумерных и трехмерных численных схем. Рассмотрим, например, задачу оценки уровня воздушного шума в квартире современного жилого дома и приведем в качестве примера расчет шума от транспортного потока для одной из указанных в МГСН 2.04-97 частот и расчет шума от источника в пристройке (дискотека в клубе на первом этаже). Звездочкой на графиках обозначен источник шума, красный цвет соответствует максимуму, а зеленый – минимуму звукового давления.



Рис. 1. Шум 63 Гц (дорога справа)

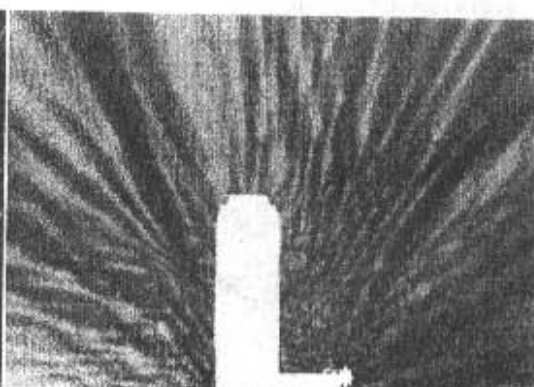


Рис. 2. Шум 125 Гц (источник шума в пристройке)

Приведенные картины расчета звукового поля позволяют оценить уровень звука на каждом этаже. Для расчета распространения шума внутри квартиры воспользуемся цилиндрической моделью, пренебрегая различиями в интенсивности звука по высоте в пределах этажа. Рассмотрим несколько вариантов планировки этажа.

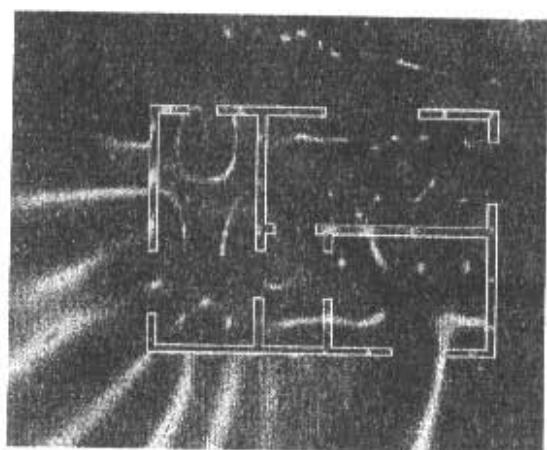


Рис. 3. Шум 250 Гц (источник шума справа сверху)

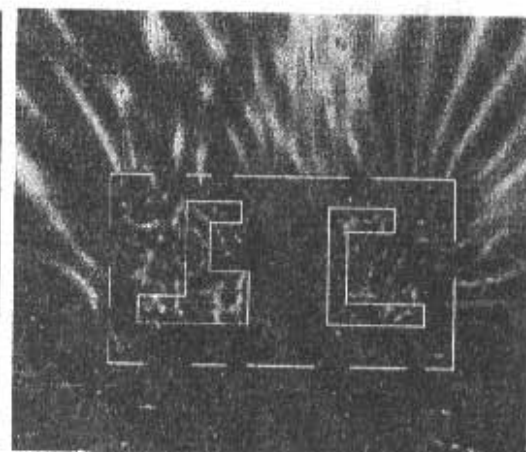


Рис. 4. Шум 500 Гц (источник шума снизу)

И, наконец, пример расчета одного из технических решений (так называемого вентилируемого фасада), которое способно заметно ослаблять уровень шума в здании.

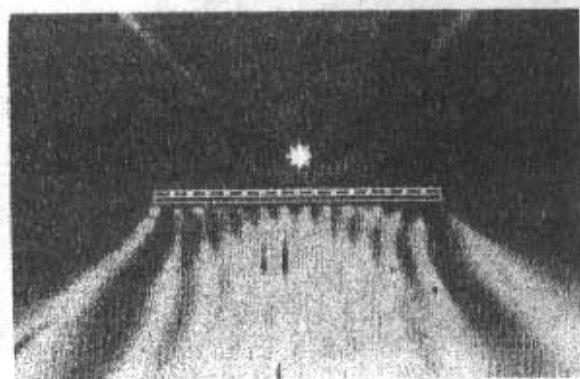


Рис. 5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях. – ГОСТ 12.1.036-81
2. Санитарные нормы допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки. – СН №3077-84.
3. Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях. – Постановление Правительства Москвы 06.04.1997 г. №325-ПП (МГСН 2.04-97).
4. Tang S.K., Au W.H. Statistical structures of indoor traffic noise in a high-rise city. – J. Acoust. Soc. Am. Vol. 106, No.6, 1999, pp. 3415-3423.
5. Anfinogenov A. Yu., Lifanov I.I. On numerical solution of integral equations of planar and spatial diffraction problems. - Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling, Vol. 7, No. 5, 1992, pp. 387-404.
6. Довгий С.А., Лифанов И.К. Методы решения интегральных уравнений. Теория и приложения. – Киев: “Наукова думка”, 2002