

ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛИНЫ СРЕДНЕГО СВОБОДНОГО ПРОБЕГА ЗВУКОВЫХ ЛУЧЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ С ОБОРУДОВАНИЕМ

В настоящее время при расчетах уровней шума статистическими методами [1] используется средняя длина пробега, вычисляемая по формуле

$$l_{cp} = 4V/S_{огр}, \quad (1)$$

где V и $S_{огр}$ – объем и общая площадь ограждений помещения.

Видно, что формула (1) не учитывает пропорций помещений, наличие в помещении рассеивателей и звукопоглощение поверхностей помещения и рассеивателей. Результаты исследований, выполненных в [2, 3], показывают, что в соразмерных пустых помещениях средняя длина свободного пробега близка к длине, определяемой по формуле (1), в несоразмерных помещениях (длинных и плоских) реальная длина пробега может отличаться от нее [2].

Наличие в реальных помещениях оборудования и других рассеивателей приводит к существенному изменению длин пробега лучей [3]. Величина изменений зависит от количества и размеров рассеивателей, их расположения в объеме помещения, звукопоглощения ограждений и рассеивателей, геометрических параметров помещений, характера отражения лучей от ограждений и рассеивателей, места положения источника.

Выполненные в [3] исследования влияния рассеивателей показали, что средние длины свободного пробега при наличии в помещении оборудования и других рассеивателей можно определять по формуле

$$l_{cp}^p = 4(V - V_{рас}) / (S_{огр} + S_{рас}), \quad (2)$$

где V и $S_{огр}$ – то же, что в формуле (1); $V_{рас}$ и $S_{рас}$ – объем и площадь рассеивателей, размещаемых в помещении.

Формула (2) проста и удобна в методическом отношении. Однако в настоящее время нет достаточного количества исследований для определения границ ее применимости. Оценочные расчеты выполнены только для нескольких вариантов

помещений [4]. При этом не учтено влияние на величину l_{cp}^p звукопоглощения оборудования.

Для оценки достоверности формул (1) и (2) произведено компьютерное моделирование звуковых процессов в помещениях с оборудованием на основе метода прослеживания лучей (ray tracing) [5, 6]. Влияние предметов на изменение длин пробега исследовано для помещений разных пропорций при различном размещении рассеивателей и разных коэффициентах звукопоглощения ограждений и рассеивателей.

Помещения имели размеры: плоское – $36 \times 36 \times 6(h)$ м, длинное – $72 \times 18 \times 6(h)$ м и соразмерное – $18 \times 18 \times 6(h)$ м. Расчеты выполнялись при размещении в них от 9 до 81 рассеивателей в виде параллелепипедов, имеющих размеры $1,5 \times 1,5 \times 1,5$ м. Предметы размещались симметрично относительно центра помещения и равномерно заполняли площадь пола. Для каждого варианта принимались два положения источника шума: в центре и со смещением от торца помещения на $(0,5 \dots 1)h$. Источник шума располагался на высоте 1,5 м от пола. Коэффициенты звукопоглощения стен $\alpha_{ст}$ и пола $\alpha_{пол}$ принимались равными 0,05, а поверхностей рассеивателей $\alpha_{рас}$ равными 0,05 и 0,15. Коэффициент звукопоглощения потолка $\alpha_{пот}$ изменялся от 0,05 до 0,60.

Для указанных вариантов выполнены расчеты средних длин пробега волн при диффузном характере отражения звука от ограждений и рассеивателей. Источник шума излучал энергию равномерно в сферу. Для каждого варианта прослеживались пути не менее 10 000 испускаемых лучей. Расчеты повторялись во всех случаях не менее 3 раз.

Ниже приведены результаты исследования средней длины свободного пробега в помещениях с рассеивателями l_{cp}^p .

В качестве примера на рис. 1 даны графики изменения $l_{cp,ray}^p$ в зависимости от количества оборудования и звукопоглощения

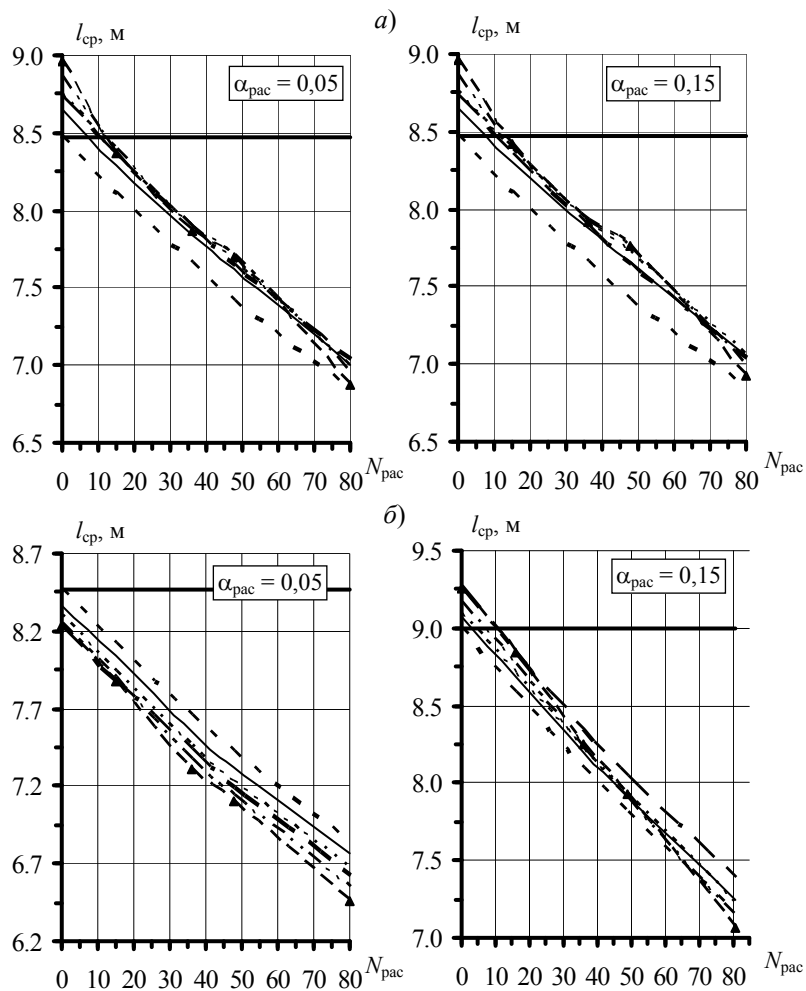
потолка. Здесь же для сравнения приведены значения $l_{cp,ray}^p$ и l_{cp}^p , определяемые по формулам (1) и (2). Исследования показывают, что средняя длина пробега в помещениях с рассеивателями в общем случае является переменной величиной, зависящей от совокупности нескольких факторов. При расчетах в помещениях с рассеивателями ее следует определять в каждом конкретном случае с использованием предложенной методики. В то же время из графиков (рис. 1) видно, что при различных

коэффициентах звукопоглощения потолка и рассеивателей и различных положениях мест источника величины $l_{cp,ray}^p$ и l_{cp}^p хорошо согласуются между собой. Установлено, что при достаточно большом количестве рассеивателей, их хаотичном распределении в помещении и диффузном характере отражения звука, что проявляется в большинстве производственных зданий, расчет средней длины пробега можно с достаточной точностью выполнять по формуле (2) с введенным в ней поправочным коэффициентом k , учитывающим пропорции помещения

$$l_{cp}' = 4k(V - V_{рас}) / (S_{огр} + S_{рас}), \quad (3)$$

где k – коэффициент, равный 1,03 для соразмерных и плоских помещений. Для длинных помещений k зависит от положения источника: при расположении у торца $k = 0,97$, при расположении в центре $k = 1,03$.

Расхождения между расчетной длиной $l_{cp,ray}^p$ и длиной l_{cp}' , определяемой по формуле (3), при диффузном характере отражения звука от поверхностей и большом количестве рассеивателей (объем рассеивателей более 1 % от объема помещения) в помещениях всех пропорций не превысят ± 3 %. В то же время длины, определяемые по формуле (1), могут отличаться от



Средние длины свободного пробега:
 — l_{cp} ; - - - $l_{cp,ray}^p$; - - - - l_{cp}^p ;
 — $l_{cp,ray}$ при $\alpha_{пот} = 0,05$; ···· $l_{cp,ray}$ при $\alpha_{пот} = 0,20$;
 - ···· $l_{cp,ray}$ при $\alpha_{пот} = 0,40$; - - ▲ - - $l_{cp,ray}$ при $\alpha_{пот} = 0,60$

Рис. 1. Зависимость средней длины свободного пробега в длинном помещении размерами $72 \times 18 \times 6(h)$ м от коэффициента звукопоглощения потолка ($\alpha_{пот}$) и количества рассеивателей ($N_{рас}$).

Источник шума расположен: а – в центре помещения; б – в торце помещения

длины $l_{cp,ray}^p$ на 20...30 %, что существенно влияет на точность расчетов уровней шума в помещениях с оборудованием.

В целом результаты расчетов $l_{cp,ray}^p$ показывают, что при незначительном количестве рассеивателей (в пределах до 0,5 % их объема от объема помещения) средние длины l_{cp}^p и l_{cp} практически совпадают. Следовательно, в помещениях с малым количеством оборудования и в пустых помещениях с рассеивающими звук строительными конструкциями длину среднего пробега лучей можно определять по формуле (1). Это обстоятельство, в частности, учитывается при определении коэффициентов звукопоглощения материалов реверберационным методом путем размещения в реверберационных камерах, специально рассеивающих звук диффузоров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. – М. : ФГУП ЦПП, 2004. – 32 с.
2. Комарова, Т.П. Изменение среднего свободного пробега в плоских помещениях в зависимости от их объемно-планировочных и акустических параметров / Т.П. Комарова, И.В. Матвеева // Труды ТГТУ : сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – Вып. 16. – С. 21 – 24.
3. Макаров, А.М. Влияние на среднюю длину свободного пробега волн рассеяния звуковой энергии на предметах, размещенных в помещении / А.М. Макаров // Труды ТГТУ : сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – Вып. 16. – С. 38 – 43.
4. Леденев, В.И. Статистические энергетические методы расчета шумовых полей при проектировании производственных зданий / В.И. Леденев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. – С. 156.
5. Schroeder, M.R. Computer models for concert hall acoustics / M.R. Schroeder // Amer. J. Phys. – 1973. – V. 41, № 4. – P. 461 – 471.
6. Воронков, А.Ю. Особенности использования метода прослеживания звуковых лучей при оценке шума в производственных помещениях / А.Ю. Воронков, А.М. Макаров, П.Ю. Потылицин // Труды ТГТУ : сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – Вып. 17. – С. 208 – 211.