

## ВЛИЯНИЕ НА СРЕДНЮЮ ДЛИНУ СВОБОДНОГО ПРОБЕГА ВОЛН РАССЕЙЯНИЯ ЗВУКОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРЕДМЕТАХ, РАЗМЕЩЕННЫХ В ПОМЕЩЕНИИ

В производственных помещениях всегда находится определенное количество оборудования, выступающих элементов строительных конструкций и других предметов, падая на которые звуковые волны рассеиваются в общем случае вероятностным образом. Рассеяние звуковой энергии на указанных выше предметах приводит к изменению длин свободного пробега и, соответственно, к перераспределению звуковой энергии в помещении [1].

Влияние рассеивающих звук предметов на изменение длин свободного пробега исследовано с использованием метода прослеживания лучей. Для расчетов средних длин пробега при наличии в помещении рассеивающих звук предметов использована специально разработанная компьютерная программа [2]. Программа позволяет выполнять расчеты средней длины свободного пробега в помещениях с различными рассеивателями (в виде колонн, кулис, оборудования и др.). В ней обеспечивается возможность учета характера излучения шума, модели отражения звука от поверхностей помещения и рассеивателей, их звукопоглощающих свойств, место положения в объеме помещения источника шума и рассеивателей и др.

Ниже приведены результаты исследования влияния рассеивателей на изменение средней длины пробега волн в трех помещениях: плоском ( $36 \times 36 \times 6$  м), длинном ( $54 \times 9 \times 6$  м), соразмерном ( $36 \times 36 \times 12$  м).

Во всех исследованных помещениях равномерно, начиная от центра, размещались рассеиватели в виде кубов с размерами граней 1,5 м. Расстояние между гранями соседних предметов принималось равным 2,0 м. Рассматривались варианты с размещением в помещении 9, 25, 49 и 81 рассеивателя. Для каждого варианта размещения рассеивателей положение источника шума принималось в центре помещения на высоте 1,5 м от пола. Коэффициенты звукопоглощения стен  $\alpha_{ст}$  и пола  $\alpha_{пол}$  принимались равными 0,10, а рассеивателей  $\alpha_{рас} = 0,05$ . Коэффициент звукопоглощения потолка  $\alpha_{пот}$  изменялся при всех вариантах размещения предметов от 0,10 до 0,60 через 0,10.

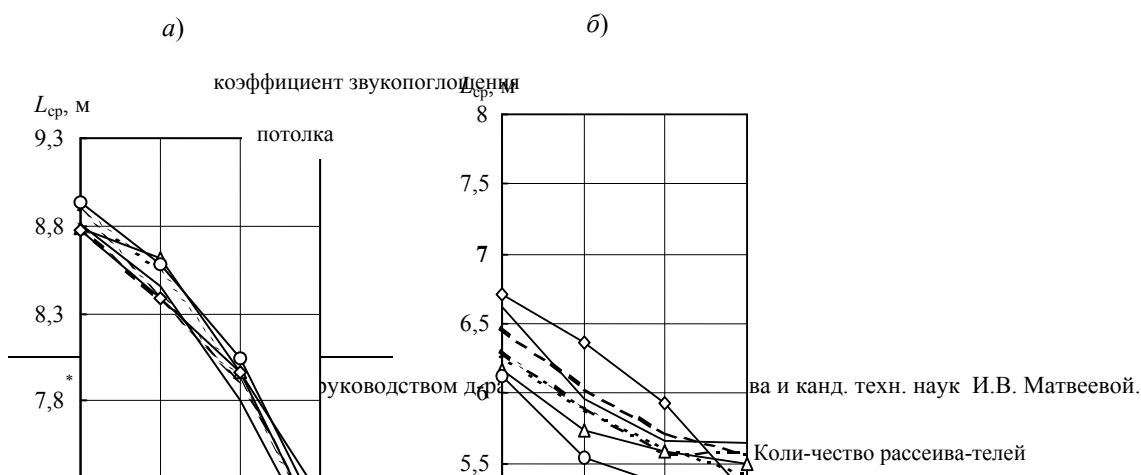
Для указанных вариантов выполнены расчеты средних длин свободного пробега волн при зеркальном и диффузном характерах отражения звука от ограждений. Отражение от рассеивателей в данных случаях принималось соответственно зеркальным или диффузным. Источник шума излучал энергию равномерно в сферу. Для каждого варианта прослеживались пути 1000 испускаемых источником лучей. Расчеты повторялись во всех случаях не менее 7 раз. Оценка производилась с доверительной вероятностью 0,95.

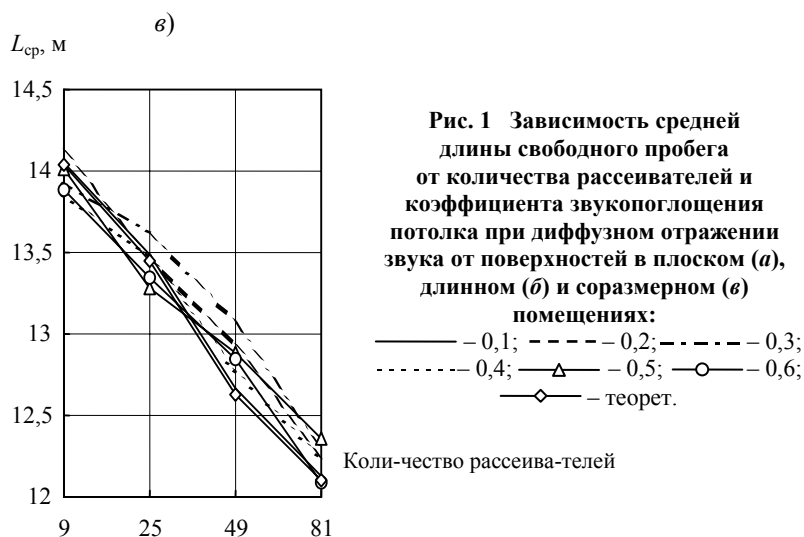
Результаты расчетов средней длины свободного пробега при зеркальном и диффузном характерах отражения в помещении с рассеивателями  $l_{расч.р}$  приведены в табл. 1. В ней также приведены расчетные средние длины, определенные методом прослеживания лучей для пустого помещения,  $l_{расч.п.}$  и средние длины, рассчитанные с учетом наличия рассеивателей по формуле

$$l_{теор.р} = 4 \frac{V_{пом} - V_{рас}}{S_{пом} + \Delta S'_{рас}} \quad (1)$$

где  $V_{пом}$  – объем помещения;  $V_{рас}$  – объем, занимаемый в помещении рассеивателями;  $S_{пом}$  – площадь всех ограждений помещения;  $\Delta S'_{рас}$  – дополнительная площадь, вносимая в помещение рассеивателями.

Средние длины пробега звуковых лучей  $l_{теор.р}$  и  $l_{расч.р}$ , вычисленные при диффузном отражении звука, даны также на графиках рис. 1.





Из табл. 1 и графиков рис. 1 видно, что рассеиватели существенно изменяют среднюю длину пробега. Изменения зависят от числа рассеивателей, характера отражения звука поверхностями и от коэффициента звукопоглощения потолка. При увеличении числа рассеивателей средняя длина уменьшается как при диффузном, так и зеркальном характерах отражения звука. Наибольшие уменьшения наблюдаются при зеркальном отражении, и особенно, в плоском помещении. Закономерности сохраняются при различных коэффициентах звукопоглощения, однако при этом меняется абсолютная величина уменьшения средней длины. При диффузном отражении влияние звукопоглощения потолка на изменение длины проявляется менее существенно (рис. 1).

### 1 Средние длины свободного пробега волн в помещениях с рассеивающими звук предметами при диффузном и зеркальном характере отражения звука и разном звукопоглощении поверхностей потолка

Количество рассеивателей	Средние длины свободного пробега звуковых волн			КОЭФ ФИ-
	плоское помещение	длинное помещение	соразмерное помещение	

										<b>ЦИ- ЕНТ ЗВУ- КОПО ГЛО- ЩЕ- НИЯ ПО- ТОЛ- КА <math>\alpha_{лот}</math></b>
	$l_{теор.р}$	$l_{расч.р}$	$l_{расч.п}$	$l_{теор.р}$	$l_{расч.р}$	$l_{расч.п}$	$l_{теор.р}$	$l_{расч.р}$	$l_{расч.п}$	

**ДИФФУЗНЫЙ ХАРАКТЕР ОТРАЖЕНИЯ**

9	8,77	8,81	8,92 4	6,7 1	6,62	7,18	14,0 4	14,0 5	15,22	0,1
		8,80 5	9,03 7		6,47	7,18		14,1 2	15,71	0,2
		8,88 5	9,10 7		6,31	7,15		13,9 4	16,13	0,3
		8,90 2	9,21 1		6,27	7,11		13,8 6	16,47	0,4
		8,79 4	9,26 0		6,17	7,12		14,0 1	16,79	0,5
		8,92 5	9,27 5		6,13	7,04		13,8 8	17,26	0,6
25	8,39	8,45	8,92 4	6,3 6	5,96	7,18	13,4 5	13,4 9	15,22	0,1
		8,35 9	9,03 7		6,03	7,18		13,4 7	15,71	0,2
		8,40 2	9,10 7		5,9	7,15		13,6 3	16,13	0,3
		8,54 4	9,21 1		5,88	7,11		13,4 8	16,47	0,4
		8,61 5	9,26		5,73	7,12		13,2 8	16,79	0,5
		8,57 6	9,27 5		5,54	7,04		13,3 5	17,26	0,6

**ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 1**

Количества рассейвателей	Средние длины свободного пробега звуковых волн									<b>КОЭФ- ФИ- ЦИ- ЕНТ ЗВУК ОПО- ГЛОЩ ЕНИЯ ПОТО ЛКА <math>\alpha_{лот}</math></b>
	плоское помещение			длинное помещение			соразмерное помещение			
	$l_{теор.р}$	$l_{расч.р}$	$l_{расч.п}$	$l_{теор.р}$	$l_{расч.р}$	$l_{расч.п}$	$l_{теор.р}$	$l_{расч.р}$	$l_{расч.п}$	

81	7,26	6,95	8,92 4	5,2 7	5,64	7,18	12,1 0	12,1 3	15,22	0,1
		7,07 9	9,03 7		5,57	7,18		12,2 5	15,71	0,2
		7,01 3	9,10 7		5,59	7,15		12,2 9	16,13	0,3
		7,01 7	9,21 1		5,42	7,11		12,2 3	16,47	0,4
		7,04 1	9,26 0		5,5	7,12		12,3 6	16,79	0,5
		7,12 5	9,27 5		5,51	7,04		12,0 9	17,26	0,6

Зеркальный характер отражения

9	8,77	10,2 1	10,7 5	6,7 1	7,26	7,95	14,0 4	14,3 6	15,22	0,1
		10,7 8	11,2 9		7,28	8,17		14,7 7	15,71	0,2
		11,1 9	11,7 4		7,36	8,31		14,9 2	16,13	0,3
		11,5 9	12,0 3		7,50	8,38		15,0 9	16,47	0,4
		11,9 6	12,3 8		7,47	8,51		15,2 2	16,79	0,5
		12,4 2	12,6 3		7,49	8,58		16,1 8	17,26	0,6

25	8,39	9,65	10,7 5	6,3 6	6,71	7,95	13,4 5	13,5 7	15,22	0,1
		10,2 1	11,2 9		6,48	8,17		13,7 8	15,71	0,2
		10,4 7	11,7 4		6,86	8,31		13,9 0	16,13	0,3
		10,7 8	12,0 3		6,72	8,38		13,9 2	16,47	0,4
		11,3 1	12,3 8		6,57	8,51		14,1 2	16,79	0,5
		11,3 4	12,6 3		6,71	8,58		14,2 7	17,26	0,6

81	7,26	7,71	10,7 5	5,2 7	5,74	7,95	12,1 0	11,9 5	15,22	0,1
		7,98	11,2 9		5,75	8,17		12,2 8	15,71	0,2
		8,27	11,7 4		5,98	8,31		12,2 0	16,13	0,3
		8,21	12,0 3		5,95	8,38		12,2 8	16,47	0,4
		8,33	12,3 8		5,77	8,51		12,6 8	16,79	0,5

		8,39	12,6 3		6,19	8,58		13,0 5	17,26	0,6
--	--	------	-----------	--	------	------	--	-----------	-------	-----

Важное практическое значение имеют полученные сведения о соотношении средних длин  $l_{\text{теор.р}}$  и  $l_{\text{расч.р}}$ . Из графиков рис. 1 и табл. 1 видно, что при диффузном отражении звука величины  $l_{\text{теор.р}}$  и  $l_{\text{расч.р}}$  хорошо согласуются между собой и, следовательно, использование в расчетах уровней звукового давления величин  $l_{\text{теор.р}}$  вместо  $l_{\text{расч.р}}$  не приведет к существенным погрешностям. При зеркальном отражении расхождения между  $l_{\text{теор.р}}$  и  $l_{\text{расч.р}}$  весьма существенны и особенно в несоразмерных помещениях. Расхождения уменьшаются при росте количества рассеивателей. Это связано с тем, что при большом количестве рассеивателей звуковые лучи распределяются по помещению более равномерно, приближаясь к диффузному характеру распределения волн.

Выполненные исследования показывают, что средняя длина свободного пробега в помещениях с рассеивателями 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. Однако при достаточно большом количестве рассеивателей, их хаотичном распределении в помещении и диффузном характере отражения звука от ограждений (что проявляется в большинстве производственных помещений) расчет средней длины пробега можно с достаточной точностью выполнять по формуле (1).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Леденев В.И., Антонов А.И., Матвеева И.В. Влияние оборудования на длину среднего свободного пробега отраженного звука в помещении // Труды IV Всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности», 16 – 18 июня 1999 г. / Под ред. Н.И. Иванова. СПб. 1999. Т. 3. С. 317.

2 Антонов А.И., Демин О.Б., Колесникова О.Д., Матвеева И.В., Леденев В.И. Математическая модель помещения для решения задач строительной акустики // Информационно-компьютерные технологии в решении проблем промышленности, строительства, коммунального хозяйства и экологии: Сб. материалов Международной научно-практической конференции. Пенза, 2000. С. 9 – 11.