

УДК: 699.8
OECD: 1.03.AA

Оценка условий измерения при определении звукоизоляции строительных изделий методом интенсивности в лабораторных условиях

Цукерников И.Е.¹, Невенчанная Т.О.², Щурова Н.Е.^{3*}

¹Главный научный сотрудник, ^{2,3} Ведущий научный сотрудник

^{1,2,3} Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва, РФ

Аннотация

Рассматриваются исследования по оценке условий измерения при определении звукоизоляции строительных изделий в лабораторных условиях с помощью измерения векторной характеристики звукового поля в приемном помещении - интенсивности звука (метод интенсивности). Отмечена актуальность метода. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований критериев, характеризующих применимость измерений интенсивности звука в приемном помещении, рекомендуемых в международном стандарте ИСО 15186-1 при выборе измерительного расстояния и вида измерительной поверхности. Описана методика определения и получены оценки области прямого поля, создаваемого в приемном помещении испытуемым объектом. Дан пример определения границы области прямого поля для малой реверберационной камеры института строительной физики (НИИСФ РААСН). Уточнены рекомендации международного стандарта.

Ключевые слова: звукоизоляция, строительный элемент, испытание, интенсивность звука, измерение.

Assessment of measurement conditions when determining the sound insulation of building products using the intensity method in laboratory conditions

Tsukernikov I.E.¹, Nevenchannaya T.O.², Shchurova N.E.^{3}*

¹Chief Researcher, ^{2,3}Senior Researcher

^{1,2,3}Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN), Moscow, Russia

Abstract

Research is considered to assess measurement conditions when determining the sound insulation of building products in laboratory conditions by measuring the vector characteristic of the sound field in the receiving room - sound intensity (intensity measurement method). The relevance of the method is noted. The results of theoretical and experimental studies of criteria characterizing the applicability of sound intensity measurements in a receiving room, recommended in the international standard ISO 15186-1 when choosing the measuring distance and type of measuring surface, are presented. A method for determining and obtaining estimates of the area of the direct field created in the receiving room by the test object. An example of determining the boundary of the direct field region for a small reverberation chamber of the Institute of Building Physics (NIISF RAASN) is given. The recommendations of the international standard are clarified.

Keywords: *sound insulation, building element, testing, sound intensity, measurement.*

Введение

Обеспечение комфортных условий проживания и безопасных условий трудовой деятельности повышает требования к звукоизолирующим свойствам строительных конструкций. Для выполнения испытаний изделий с повышенными показателями звукоизоляции требуются испытательные установки (реверберационные камеры) с высоким максимальным значением собственной звукоизоляции и пониженной косвенной передачей звука между помещениями высокого (помещение источника – далее ПВУ) и низкого (приемное помещение – далее ПНУ) уровня [1, 2]. Применение интенсиметрии не требует исключать косвенную передачу звука в испытательной установке в приемное помещение [3]. Данное свойство интенсиметрического метода экспериментально проиллюстрировано авторами в работе [4]. Соответствующий метод введен в мировую практику измерения звукоизоляции строительных изделий в лабораторных условиях международным стандартом ISO 15186-1:2000 [3].

В настоящей статье на примере исследований, проведенных в малой реверберационной камере НИИСФ РААСН, дана оценка рекомендуемых в [3] критериев, характеризующих применимость акустических измерений (детально результаты проведенных исследований представлены в отчете по НИР [5]). Определены границы области прямого поля в приемном помещении, в которой отсутствует влияние отраженного звука и интенсивность звука определяется только звуком, исходящим от испытуемого объекта. Полученные результаты приводят к целесообразности уточнения рекомендаций ISO 15186-2000.

1. Определение измерительного расстояния в приемном помещении

В ISO 15186-1[3] в качестве измерительной поверхности рекомендованы два вида поверхностей, отделяющих испытуемый объект от остального пространства приемного помещения: плоская поверхность в нише (проеме в разделяющей помещения камер перегородке) или в отверстии ниши и поверхность «коробчатой» формы, в частности поверхность прямоугольного параллелепипеда. Первую применяют, если испытуемый образец установлен в нише; вторую - если испытуемый образец не установлен в нише или глубина ниши составляет менее 0,1 м. (В примере издательства предлагается выбирать измерительное расстояние (расстояние от испытуемого объекта до измерительной поверхности) от 0,1 м до 0,3 м). Рекомендуется избегать расстояний, меньших 0,1 м, из-за ближнего поля испытуемого объекта, так как в ближнем поле интенсивность звука часто меняет знак в пространстве. Для оценки годности акустических условий измерения в приемном помещении с выбранным измерительным расстоянием и видом измерительной поверхности используют параметр «поверхностные давление-интенсивность» F_{pI} , равный разности между средним уровнем звукового давления \bar{L}_p средним уровнем нормальной интенсивности звука \bar{L}_{In} на измерительной поверхности. Акустические условия признаются годными для измерений, если параметр F_{pI} удовлетворяет неравенствам:

для звукоотражающего испытуемого объекта

$$F_{pI} = \bar{L}_p - \bar{L}_{In} \leq 10 \text{ дБ}, \quad (1a)$$

для испытуемого объекта с поглощающей звук поверхностью в приемном помещении

$$F_{pI} = \bar{L}_p - \bar{L}_{In} \leq 6 \text{ дБ}. \quad (1б)$$

Отмечается также, что выполнение этих условий требует, как правило, выполнения неравенства:

$$\frac{S_m}{A} < 1,25, \quad (2)$$

где S_m – площадь измерительной поверхности, м²; A – эквивалентная площадь звукопоглощения приемного помещения, м², определяемая в соответствии с [1].

В случае невыполнения неравенств (1а) или (1б) в [3] предлагается увеличивать измерительное расстояние на 5 - 10 см. Если после увеличения расстояния данные неравенства все еще не удовлетворены, рекомендуется увеличить звукопоглощение в приемном помещении.

2. Определение границы области прямого звука

Интенсивность звука в точках приемного помещения является суммой интенсивностей прямого звука I_d , исходящего от испытуемого объекта, и интенсивности звука I_r , отраженного от ограждающих поверхностей помещения:

$$I = I_d + I_r \quad (3)$$

В работе [6] (со ссылкой на [7]) приведены выражения для интенсивностей прямого и отраженного звука для модели плоского источника звука мощностью W_0 в прямоугольном помещении на расстоянии L , м, вдоль оси источника:

$$I_d = \frac{W_0}{2S} \log_e \left[1 + \frac{S}{\pi L_0^2} \frac{L_0^2}{L^2} \right] \quad (4)$$

$$I_r = \frac{W_0}{2S} \sum_{n=1}^{\infty} \log_e \frac{1 + \frac{S}{\pi L_0^2} 1 / ((2n + L/L_0)^2)}{1 + \frac{S}{\pi L_0^2} 1 / ((2n - L/L_0)^2)}, \quad (5)$$

где S – площадь поверхности испытуемого объекта, обращенной в приемное помещение, м²; L_0 – расстояние от испытуемого объекта до противоположной стены помещения, м. Выполняя расчеты для различных расстояний L , можно найти предельное значение L_b , менее которого отношение $I_d/I_r > 10$, и вкладом отраженного звука в выражении (3) можно пренебречь. Значение L_b соответствует границе области прямого звука.

3. Граница области прямого звука для приемного помещения малой реверберационной камеры НИИСФ РААСН

Малая реверберационная камера НИИСФ РААСН представляет собой два смежных по горизонтали помещения ПВУ и ПНУ, между которыми находится проем для размещения испытываемых конструкций. Размеры проема составляют 4,05 м в ширину и 2,5 м в высоту, что позволяет испытывать крупногабаритные строительные элементы. ПВУ имеет площадь 33 м² и объем 200 м³. ПНУ имеет площадь 23,8 м² и объем 112 м³. Помещения выполнены по принципу «коробка в коробке» на отдельном фундаменте с резиновыми виброизоляторами, отделяющими помещения друг от друга и от испытываемой конструкции. Таким образом, косвенная передача звука в ПНУ по примыкающим к испытуемому объекту конструкциям отсутствует. Ограждающие конструкции камеры – жесткие и гладкие, покрашены металлизированной краской, и имеют ассиметричную компоновку для создания диффузного звукового поля. Покрытие пола – керамическая плитка.

Выполнив расчеты по выражениям (4), (5) для приемного помещения реверберационной камеры НИИСФ РААСН с $L_0 = 5,52$ м с двумя размерами проема между помещениями: полноразмерным проемом с размерами $4,05 \times 2,5$ м, $S = 10,125$ м² и малоразмерным проемом с размерами $2,0 \times 1,5$ м, $S = 3$ м², - получили для обоих проемов отношение $I_d/I_r > 10$ при $L/L_0 < 0,5$, т.е. до расстояний, не превышающих $L_b = 2,76$ м. В результате для таких расстояний от испытуемого объекта вкладом отраженного звука можно пренебречь, и интенсивность I звукового поля в приемном помещении реверберационной камеры будет полностью определяться интенсивностью I_d звука, излучаемого испытуемым объектом. Увеличение звукопоглощения в приемном помещении в данном случае никак не повлияет на выполнение условий (1а), (1б) и улучшение результатов измерений.

Для иллюстрации этого факта приведем результаты экспериментальных исследований для испытуемого образца в виде светопрозрачной конструкции, представляющей собой оконный блок с поворотной-откидной створкой (фурнитура Roto), размером $1,1 \times 1,8$ м.

Проведено определение звукоизоляции в малой реверберационной камере НИИСФ РААСН по измерениям нормальной составляющей интенсивности звука в приемном помещении на поверхностях прямоугольного параллелепипеда, схематически представленного на рис.1, с измерительным расстоянием $r_m = 0,3$ м (размер фронтальной поверхности $1,1 \times 1,8$ м), а также по измерениям нормальной составляющей интенсивности звука только на фронтальной поверхности измерительного параллелепипеда. Измерения выполняли с помощью 4-х канальный шумомер-вибромметр-анализатора спектра SVAN 958 производства компании "SVANTEK Sp.zo.o." (Польша) с использованием интенсиметрического зонда фирмы G.R.A.S. (Дания) с двумя совпадающими по фазе, преполяризованными полудюймовыми микрофонами типа 40GI и совпадающими по фазе четверть дюймовыми предусилителями типа 26CB.

Так как $r_m < L_b$ интенсивность I звукового поля на измерительном параллелепипеде полностью определяется интенсивностью I_d прямого звука, излучаемого испытуемым объектом. Поскольку в рассматриваемом случае нет косвенной передачи звука в приемное помещение, в нем отсутствует поле помехи, и нет необходимости в выборе замкнутой измерительной поверхности, полностью охватывающей испытуемый объект. В результате в качестве измерительной поверхности можно использовать, например, только фронтальную поверхность параллелепипеда.

1/3-октавные спектры уровней нормальной интенсивности звука на гранях измерительного параллелепипеда, определенные по результатам измерения, приведены в таблице 1.

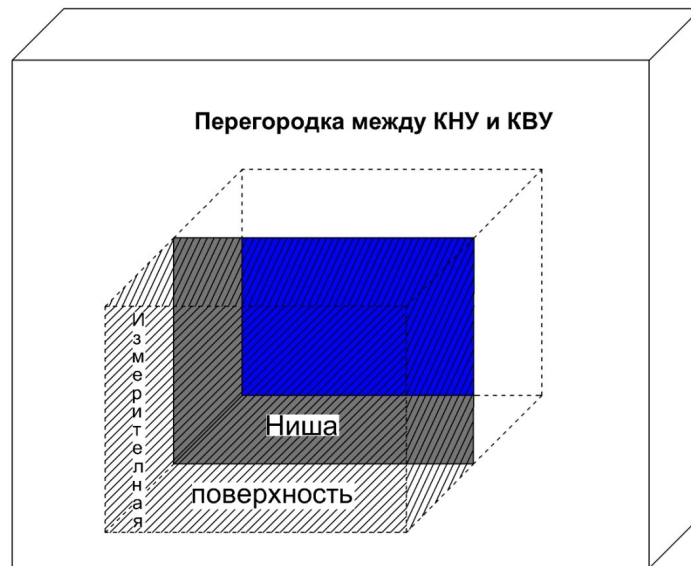


Рис. 1. Измерительная поверхность в виде прямоугольного параллелепипеда (заштрихованная область), охватывающая нишу (серая область) со смонтированным в ней испытуемым объектом (синяя область)

Таблица 1

Уровни нормальной интенсивности звука на участках измерительного параллелепипеда

Участок	Уровень нормальной интенсивности звука, дБ, в 1/3-октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц															
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Фронт	61,9	52,6	66,4	68,2	64,7	60,7	55,7	51,0	53,8	51,3	49,9	48,5	50,5	52,6	48,3	43,2
Слева	64,7	50,2	66,3	69,3	64,3	60,8	52,6	52,7	47,2	42,6	45,3	39,6	52,7	55,8	54,3	32,7
Снизу	65,6	56,3	69,4	71,4	66,7	62,4	57,3	55,0	51,4	46,2	48,3	48,5	52,9	54,4	53,0	43,2
Справа	61,0	44,8	57,7	62,1	56,6	45,6	49,7	43,8	47,7	44,5	40,8	43,3	41,8	48,7	50,6	35,7
Сверху	53,6	54,2	68,7	67,1	64,7	59,4	58,1	56,5	55,1	52,1	50,1	49,9	52,1	55,1	52,1	40,3
Среднее	56,5	52,4	64,6	65,4	62,7	58,2	54,5	50,2	52,2	49,5	47,9	47,3	47,6	48,8	38,4	41,6
Примечание. Бирюзовой заливкой выделены уровни с отрицательным направлением (внутри измерительной поверхности) нормальной интенсивности звука.																

Значения уровней на гранях прямоугольного параллелепипеда и средних уровней на поверхности измерительного параллелепипеда рассчитывали в соответствии с выражениями:

$$L_{I_n,1/3-oct,j,l} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^{n_j} \epsilon_i 10^{L_{I_n,m,j,l,i}/10} \right), \quad (6)$$

$$L_{I_n,1/3-oct,j} = 10 \lg \left(\sum_{l=1}^5 \epsilon_l 10^{L_{I_n,1/3-oct,j,l}/10} \right), \quad (7)$$

где $L_{I_n,1/3-oct,j,l}$ – уровень нормальной интенсивности звука в j -й 1/3-октавной частотной полосе на l -ой грани параллелепипеда, дБ; $L_{I_n,m,j,l,i}$ – измеренный на l -м участке параллелепипеда уровень нормальной интенсивности на i -й гармонике, входящей в j -ю 1/3-октавную частотную полосу, дБ; n_j – число гармоник, содержащихся в j -й 1/3-октавной частотной полосе; $\epsilon_{i(l)} = 1$ или -1 в зависимости от направления измеренной i -й гармонике нормальной интенсивности звука (рассчитанной на l -м участке параллелепипеда нормальной интенсивности звука); $L_{I_n,1/3-oct,j}$ – средний на поверхности параллелепипеда уровень нормальной интенсивности звука в j -й 1/3-октавной частотной полосе, дБ.

Виден сложный характер звукового поля с наличием отрицательно направленных нормальных интенсивностей звука, особенно на боковых замыкающих гранях параллелепипеда. Это, вероятно, связано с тем, что отверстие ниши является вторичным излучателем звука, и боковые грани параллелепипеда частично расположены в его ближнем поле.

В таблице 2 проведено сравнение значений звукоизоляции (индексов R_W и 1/3-октавных спектров R), определенных в соответствии с ISO 15186-1 [3] по измерениям нормальной интенсивности звука на всей поверхности параллелепипеда и только на фронтальной поверхности. Расхождение не превышает 2,7 дБ (совпадение по индексу звукоизоляции) и находится в пределах доверительного интервала по ISO 15186-1.

Таблица 2

Сравнение значений звукоизоляции оконного блока, полученных по измерениям интенсивности звука на гранях измерительного параллелепипеда и только на его фронтальной поверхности

R_W , дБ	Звукоизоляция R , дБ, в 1/3-октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц															
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
по измерениям на гранях измерительного параллелепипеда																
35	12,5	24,8	22,1	25,6	27,1	29,1	30,3	34,0	31,2	33,7	35,1	35,1	38,0	35,5	42,2	42,1
по измерениям только на фронтальной поверхности																
35	10,0	27,5	23,2	25,7	27,9	29,4	32,0	36,1	32,4	34,8	35,9	36,8	37,9	34,6	42,8	43,2
Разность $\Delta R_{\text{пар,-фронт}}$																
0	2,5	-2,7	-1,1	-0,1	-0,8	-0,3	-1,7	-2,1	-1,2	-1,1	-0,8	-1,7	0,1	0,9	-0,6	-1,1

Таким образом, на рассматриваемом измерительном расстоянии нет необходимости выполнять измерение нормальной интенсивности звука на охватывающей испытуемый объект измерительной поверхности прямоугольного параллелепипеда. Достаточно использовать в качестве измерительной поверхности более простую ограниченную плоскость, расположенную напротив испытуемого объекта.

4. Пример определения измерительного расстояния

Рекомендации [3] экспериментально проверили на примере определения измерительного расстояния в приемном помещении малой реверберационной камеры НИИСФ РААСН. Испытуемый образец представлял собой фасадную конструкцию из профилей «Alutech ALT EF65», включающую светопрозрачную часть с заполнением: двухкамерный стеклопакет с СПД 18СМ4См - 16Аг - И8З - 16Аг - И10З и непрозрачную часть с заполнением: алюминиевый лист 2 мм, однокамерный стеклопакет с СПО 18СМ4См - 18 - 6З и вент. створка. Размер фасадной конструкции 4 м (ширина)х2,3 м (высота).

Измерения уровней нормальной интенсивности звука выполняли на плоской измерительной поверхности в нише на измерительном расстоянии 0,1 м и вне ниши на двух измерительных расстояниях 0,3 м и 0,5 м от испытуемого образца. Размер области сканирования соответствует размеру ниши и составляет 4 м (ширина)х2,3 м (высота). Глубина ниши – 0,15 м. Использование плоской измерительной поверхности обосновано, так как все измерительные расстояния меньше L_b , и измерительная плоскость находится в области прямого звука.

В таблице 3 приведены значения параметра поверхностные давление-интенсивность F_{pI} и отношения S_m/A для плоской поверхности с тремя измерительными расстояниями.

Таблица 3

Значения параметра годности F_{pI} условий измерения

r_m , м	Параметр F_{pI} , дБ, в 1/3-октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц															
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
0,1	2,3	2,9	8,0	7,5	4,6	6,9	6,7	6,1	5,8	4,9	4,5	4,5	3,3	3,5	3,9	5,9
0,3	24,5	7,8	8,8	10,1	10,2	5,0	5,8	7,0	7,9	6,0	5,4	6,0	4,5	4,9	5,0	6,6
0,5	7,4	7,4	8,8	9,1	6,0	6,4	8,2	7,7	7,9	6,1	5,4	6,7	5,3	5,1	5,2	6,3
S_m/A	2,82	1,85	1,54	2,41	2,67	2,31	2,57	2,05	1,8	1,59	1,59	1,64	1,54	1,54	1,44	1,44

Значения параметра F_{pI} находятся в диапазоне 2,3÷8 дБ при измерениях на расстоянии 0,1 м; 4,5÷24,5 дБ при измерениях на расстоянии 0,3 м и 5,1÷9,1 дБ при измерениях на расстоянии 0,5 м. Следовательно, акустические условия признаются годными для этих измерений за исключением трех 1/3-октавных полос со среднегеометрическими частотами ($f_{сг}$) 100, 200 и 250 Гц для расстояния 0,3 м.

Неравенство (2) не выполняется ни в одной 1/3-октавной полосе. Следовательно, использовать его в данном случае нецелесообразно. Кроме того, увеличивать звукопоглощение в приемном помещении для улучшения результатов измерения в соответствии с рекомендацией ИСО 15186-1 [3] в данном случае также бессмысленно, так как измерительная поверхность для всех расстояний находится в зоне прямого звука.

Результаты сравнения значений звукоизоляции, определенной по методу ISO 15186-1 [3] из измерений на трех выбранных расстояниях приведены в таблице 4. Разность между линиями сканирования для всех расстояний принята равной 0,1 м. В таблице даны также значения звукоизоляции, определенные по ГОСТ 27296 [1].

Таблица 4

Сравнение значений звукоизоляции фасадной конструкции, полученных по измерениям уровней нормальной интенсивности звука на измерительных расстояниях 0,1 м, 0,3 м и 0,5 м (шаг сканирования 0,1 м)

R_W , дБ	Звукоизоляция R , дБ, в 1/3-октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц															
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
по ГОСТ 27296																
42	31,9	34,4	33,4	35,9	40,4	40,3	41,2	39	38,7	39	38,3	39,9	43,1	45,2	47,1	49,6
по ISO 15186-1 с измерениями на расстоянии 0,1 м																
35	20,6	23,8	27,8	29,3	30,7	33,2	34	34	33,2	31,8	30,6	31,6	33,9	37,2	38,6	43,9
разность $R_{ГОСТ} - R_{ISO}$																
7	11,3	10,6	5,6	6,6	9,7	7,1	7,2	5	5,5	7,2	7,7	8,3	9,2	8	8,5	5,7
по ISO 15186-1 с измерениями на расстоянии 0,3 м																
36	43,2	29,4	29,6	33,4	38,4	33,7	34,4	35	34,7	33,5	32,5	33,3	35	38,3	39,2	43,4
разность $R_{ГОСТ} - R_{ISO}$																
6	-11,3	5	3,8	2,5	2	6,6	6,8	4	4	5,5	5,8	6,6	8,1	6,9	7,9	6,2
разность $R_{ГОСТ;0,3м} - R_{ISO;0,1м}$																
1	22,6	5,6	1,8	4,1	7,7	0,5	0,4	1	1,5	1,7	1,9	1,7	1,1	1,1	0,6	-0,5
по ISO 15186-1 с измерениями на расстоянии 0,5 м																
37	27,2	30,4	31,2	33,8	35,9	35,7	36,7	35,6	35,4	34,2	33,3	35,3	36,7	39,4	40,4	44,7
разность $R_{ГОСТ} - R_{ISO}$																
5	4,7	4	2,2	2,1	4,5	4,6	4,5	3,4	3,3	4,8	5	4,6	6,4	5,8	6,7	4,9
разность $R_{ГОСТ;0,5м} - R_{ISO;0,1м}$																
2	6,6	6,6	3,4	4,5	5,2	2,5	2,7	1,6	2,2	2,4	2,7	3,7	2,8	2,2	1,8	0,8

Разность между значениями звукоизоляции, определенными по ГОСТ 27296 и ISO 15186-1, снижается с увеличением измерительного расстояния, достигая минимальных значений: 5 дБ для индекса звукоизоляции и $2,1 \div 6,7$ дБ в спектре для расстояния 0,5 м.

Разность между значениями звукоизоляции, определенными на различных расстояниях по ISO 15286-1, составила 1 и 2 дБ для индекса звукоизоляции $1,8 \div 22,6$ дБ в низкочастотной части спектра (до полосы с $f_{ср} = 250$ Гц) и $-0,5 \div 3,7$ дБ в средней и высокочастотной частях спектра. При этом необходимо отметить, для измерительного расстояния 0,3 м в измерениях присутствуют отрицательно направленные нормальные составляющие интенсивности звука в низкочастотных полосах с $f_{ср} = 100$ Гц и 250 Гц, что связано с неоднородностью звукового поля, вызванной влиянием ближнего поля от излучения звука из отверстия ниши. Отверстие ниши может рассматриваться как вторичный источник излучения звука в приемное помещение, для которого измерительное расстояние равно 0,19 м, т.е. меньше $\lambda/2$ для обеих полос (λ - длина звуковой волны, м, в воздухе на среднегеометрической частоте 1/3-октавной полосы).

Таким образом, получаем, что, для средней и высокочастотной частей спектра все измерительные расстояния практически равнозначны. Для низкочастотной части спектра предпочтительным является измерительное расстояние 0,5 м. Это больше рекомендуемого ISO 15186-1 предельного расстояния 0,3 м.

Заключение

1. Перед выполнением измерений целесообразно выделить область прямого звука в приемном помещении.

2. При отсутствии косвенной передачи звука в приемное помещение в качестве измерительной поверхности в области прямого звука целесообразно выбирать ограниченную плоскую поверхность, расположенную напротив испытуемого объекта.

3. При расположении измерительной поверхности в области прямого поля бесполезно увеличивать звукопоглощение в приемном помещении с целью улучшения условий измерения.

4. Полученные в настоящей статье результаты отражены в положениях национального стандарта России, разработанного в 2023 г., как частичное введение в Российской Федерации международного стандарта ISO 15186-1:2000 [8].

Кроме того, из материалов настоящей статьи следует, что нормальная интенсивность звука I_n может принимать отрицательное значение. Вместе с тем в ISO 15186-1:2000 для уровня нормальной интенсивности L_{I_n} использовано выражение с I_n под знаком десятичного логарифма, которое для отрицательного I_n не может быть вычислено. В проекте ГОСТ Р [8] в формуле расчета L_{I_n} используется абсолютное значение $|I_n|$.

Список литературы

1. ГОСТ 27296-2012. Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций (с Поправкой).– М.: Стандартинформ, 2014.
2. ГОСТР ИСО 10140-2-2012. Акустика. Лабораторные измерения звукоизоляции элементов зданий. Часть 2. Измерение звукоизоляции воздушного шума.– М.: Стандартинформ, 2013.
3. ISO 15186-1:2000. Acoustics—Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity—Part 1: Laboratory measurements. – Geneva, International Organization for Standardization, 2000.
4. Цукерников И.Е. Измерения звукоизоляции строительных изделий с помощью интенсивности/Цукерников И.Е. Невенчанная Т.О., Тихомиров Л.А., Щурова Н.Е.//Сборник Трудов XXXIV сессии Российского акустического общества. – М.: ГЕОС. 2022. – С.519-527. ISBN978-5-89118-849-5, DOI:10.34756/GEOS.2021.17.38058.
5. Исследование методов определения параметров изоляции воздушного шума строительных изделий на основе интенсивности и использования оператора Гельмгольца/Цукерников И.Е., Невенчанная Т.О., Щурова Н.Е. и др.// Отчет о НИР (промежуточный) за 2021 г. по теме 3.1.4.10. № госрегистрации121032400092-2. –М.: НИИСФ РААСН.2022.
6. Joseph C. S. Sound transmission loss measurements using the sound intensity technique Part 1 The effects of reverberation time/ Joseph C. S. Lai & Dan Qi//Appl. Acoust. – 1993 vol. 40 – P. 311-324.
7. Bies D.A. and Hansen C.H. Engineering Noise Control. Unwin Hyman, Sydney,1988.

8. ГОСТ Р (ИСО15186-1:2000) «Здания и сооружения. Лабораторные измерения звукоизоляции строительных элементов с использованием интенсивности звука», окончательная редакция проекта национального стандарта.–М.: НИИСФ РААСН, 2023.

References

1. GOST 27296-2012. Buildings and constructions. Methods for measuring sound insulation of enclosing structures (with Amendment), М.: Standartinform, 2014.
2. GOSTR ISO 10140-2-2012. Acoustics. Laboratory measurements of sound insulation of building elements. Part 2. Measuring sound insulation of airborne noise, М.: Standartinform, 2013.
3. ISO 15186-1:2000. Acoustics—Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity—Part 1: Laboratory measurements, , International Organization for Standardization, 2000
4. Tsukernikov I.E. Measuring the sound insulation of building products using intensity measurements / Tsukernikov I.E. Nevenchannaya T.O., Tikhomirov L.A., Shchurova N.E. // Collection of Proceedings of the XXXIV session of the Russian Acoustical Society. – М.: GEOS. 2022. – P.519-527. ISBN978-5-89118-849-5, DOI:10.34756/GEOS.2021.17.38058.
5. Research of methods for determining airborne noise insulation parameters of building products based on intensity measurements and the use of the Helmholtz operator/ Tsukernikov I.E., Nevenchannaya T.O., Shchurova N.E. and others // Research report (interim) for 2021 on topic 3.1.4.10. State registration number 121032400092-2. –М.: NIISF RAASN.2022.
6. Joseph C. S. Sound transmission loss measurements using the sound intensity technique Part 1 The effects of reverberation time / Joseph C. S. Lai & Dan Qi // Appl. Acoust. – 1993 vol. 40 – P. 311-324.
7. Bies, D.A. and Hansen, C.H. Engineering Noise Control. Unwin Hyman, Sydney, 1988.
8. GOST R (ISO15186-1:2000) “Buildings and structures. Laboratory measurements of sound insulation of building elements using sound intensity,” final version of the draft national standard. – М.: NIISF RAASN, 2023