

## Расчет индекса изоляции воздушного шума перегородками из блоков The index calculation of airborne sound insulation walls of the blocks

старший преподаватель Головкова Наталья Владимировна  
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
golovkova17@mail.ru

Senior lecturer Natalia Vladimirovna Golovkova  
Saint-Petersburg State Polytechnical University  
golovkova17@mail.ru

**Ключевые слова:** индекс изоляции, воздушный шум, перегородка из блоков, модуль динамической упругости.

В настоящее время при строительстве и эксплуатации зданий стало уделяться много внимания такой проблеме, как шум. Длительное воздействие шума на организм человека приводит к развитию утомления, нередко переходящего в переутомление, к снижению производительности и качества труда. Ведущие производители строительных материалов стремятся к разработкам специальных составов и конструкций, обладающие хорошей звукоизоляцией. Цель данной работы - расчет индекса изоляции воздушного шума перегородки из силикатных стеновых пустотелых блоков и определение среднего модуля динамической упругости материала при известном индексе изоляции воздушного шума.

**Key words:** insulation index, airborne sound, wall, dynamic modulus of elasticity.

Currently, the construction and operation of buildings has been paid much attention to this issue, as noise. Prolonged exposure to noise on the human body leads to the development of fatigue, often rolling in fatigue, poor performance and quality of work. Of great importance in the control of noise are architectural planning and construction activities. Leading manufacturers of building materials seek to develop specific products and designs, with good sound insulation. When a new construction, such as building blocks, you must define the index of airborne sound insulation, sound insulation as the main characteristic. The aim of this work is the calculation of the index of airborne sound insulation of walls silicate wall of hollow blocks and determine the average dynamic modulus of elasticity of the material at a known index of airborne sound insulation.

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных физических факторов окружающей среды, приобретающих важное социально-гигиеническое значение, в связи с урбанизацией, а также механизацией и автоматизацией технологических процессов, дальнейшим развитием авиации, транспорта [18]. Длительное воздействие шума на организм человека приводит к развитию утомления, нередко переходящего в переутомление, к снижению производительности и качества труда. Большое значение в борьбе с шумом имеют архитектурно-планировочные и строительные мероприятия [15]. Ведущие производители строительных материалов стремятся к разработкам специальных составов и конструкций, обладающие хорошей звукоизоляцией [7-16, 19-21]. При появлении новой конструкции, например, стенового блока, необходимо определить его индекс изоляции воздушного шума, как основную характеристику звукоизоляции.

Целью данной работы является расчет индекса изоляции воздушного шума перегородки из силикатных стеновых пустотелых блоков и определения среднего модуля динамической упругости материала при известном индексе изоляции воздушного шума  $R_w = 52 \text{ dB}$ .

Конструкция ограждения состоит из перегородки из силикатных стеновых пустотелых блоков размером 300x198x130 мм с круглыми пустотами диаметром 36 мм (по 8 отверстий в каждом блоке),  $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$  (рисунок 1).

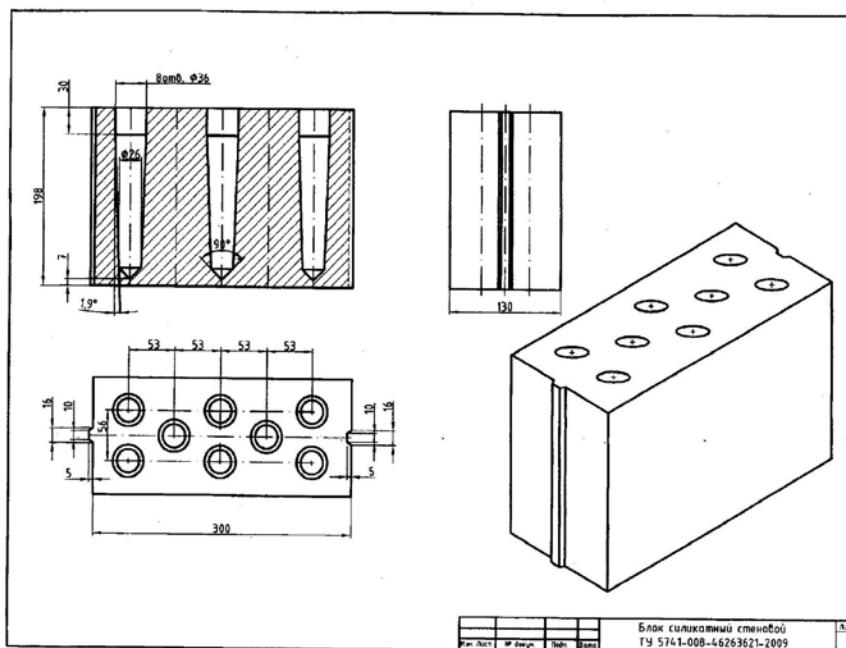


Рисунок 1. Блок силикатный стеновой

## 1. Расчет индекса изоляции воздушного шума нештукатуренной перегородкой

Расчет ведется в соответствии с п.п. 2.1 и 3.1-3.2 [1]. Рассматриваемое ограждение выполняется из силикатных стеновых пустотелых блоков размером 300x198x130 мм с круглыми пустотами диаметром 36 мм (по 8 отверстий в каждом блоке).

Эквивалентная поверхностная плотность  $m_э$  определяется по формуле

$$m_э = K \times m,$$

где  $m$  - поверхностная плотность, кг/м<sup>2</sup>

$K$  - коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов и т.п. по отношению к конструкциям из тяжелого бетона с той же поверхностной плотностью.

Для ограждающих конструкций из легких бетонов с круглыми пустотами коэффициент  $K$  принимается как произведение коэффициентов, определенных отдельно для сплошных конструкций из легких бетонов и конструкций с круглыми пустотами.

$$K = K_1 \times K_2,$$

Для ограждающих конструкций из железобетона и бетона с круглыми пустотами плотностью более 1800 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $K_1$  следует определять по формуле [1]:

$$K_1 = 1,54 \sqrt{\frac{J}{bh_{np}^3}},$$

где  $J$  – момент инерции сечения, м<sup>4</sup>;

$b$  – ширина рассматриваемого сечения, м;

$h_{np}$  – приведенная толщина сечения, м;

Для ограждающих конструкций из бетонов на пористых наполнителях и цементном вяжущем коэффициент  $K_2$  следует определять по формуле [2]:

$$K_2 = 2,26 \sqrt{\frac{E}{\rho^3}},$$

где  $E$  – модуль упругости материала, кгс/м<sup>2</sup>;

$\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

### 1.1. Расчет $K_1$

Рассматриваемый пустотный блок шириной 0,3 м, толщиной 0,13 м имеет 8 отверстий круглого сечения  $D=0,036$  м. Два отверстия располагаются вдоль центральной оси блока (ось  $y$ ), остальные - по 3 с каждой стороны, симметрично на расстоянии 0,028 м от оси (см. Приложение 1). Момент инерции сечения пустотного блока находим как разность моментов инерции прямоугольного сечения и восьми круглых пустот.

Момент инерции прямоугольного сечения шириной 0,3 м и толщиной 0,13 м относительно центральной оси  $y$  определяем по формуле:

$$j_{сеч.y} = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,3 \times 0,13^3}{12} = 5,5 \times 10^{-5} \text{ м}^4.$$

Момент инерции круглого отверстия, расположенного посередине сечения на оси  $y$ , определяется по формуле:

$$j_{отв.y} = \frac{\pi r^4}{4} = \frac{3,14 \times \left(\frac{0,036}{2}\right)^4}{4} = 8,2 \times 10^{-8} \text{ м}^4.$$

На оси  $y$  расположены 2 отверстия. Суммарный момент инерции двух отверстий определится:

$$j_{\Sigma 2.отв.y} = 2 \times 8,2 \times 10^{-8} = 1,64 \times 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Момент инерции отверстия, сдвинутого относительно центральной оси, определяется по формуле:

$$j_{отв.вне.y} = j_{отв.y} + S_{отв} \times h_2^2 \text{ м}^4.$$

где  $h_2$  - расстояние между осями (центральной и параллельной, проходящей через центр отверстия).

$$j_{отв.вне.оси} = j_{отв.y} + \pi r^2 \times h_2^2 = 8,2 \times 10^{-8} + \frac{3,14(0,036)^2 \times 0,028^2}{4} = 8,7 \times 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Суммарный момент инерции 6 отверстий:

$$j_{\Sigma 6.отв.вне.y} = 6 \times 8,7 \times 10^{-7} = 5,2 \times 10^{-6} \text{ м}^4.$$

Суммарный момент инерции всех отверстий:

$$j_{\Sigma \text{всех.отв.y}} = 1,64 \times 10^{-7} + 5,2 \times 10^{-6} = 5,4 \times 10^{-6} \text{ м}^4.$$

Момент инерции сечения с учетом отверстий:

$$j_{сеч.с.отв} = j_{сеч.y} - j_{\Sigma \text{всех.отв.y}} = 5,5 \times 10^{-5} - 5,4 \times 10^{-6} = 4,96 \times 10^{-5} = 5 \times 10^{-5} \text{ м}^4.$$

Определим приведенную толщину сечения.

Площадь сечения блока:

$$S_{сеч} = 0,3 \times 0,13 = 0,039 \text{ м}^2.$$

Площадь сечения одного отверстия диаметром 0,036 м:

$$S_{оме} = \frac{\pi D^4}{4} = \frac{3.14 \times 0.036^4}{4} = 1.017 \times 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Для 8 отверстий:

$$S_{\Sigma оме} = 8,13 \times 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Площадь сечения без отверстий (приведенная):

$$S_{np} = 0,039 - 8,13 \times 10^{-3} = 3,08 \times 10^{-2} \text{ м}^2.$$

Приведенная толщина сечения:

$$h_{np} = \frac{S_{np}}{b} = \frac{3,08 \times 10^{-2}}{0.3} = 0,1027 \approx 0.103 \text{ м}.$$

Тогда по формуле [1]:

$$K_1 = 1,5^4 \sqrt{\frac{J}{bh_{np}^3}} = 1,5^4 \sqrt{\frac{5 \times 10^{-5}}{0,3 \times 0,103^3}} = 1,5^4 \sqrt{0.154} = 1,5 \times 0.626 = 0.94.$$

## 1.2. Расчет $K_2$

Заказчиком задан:

1. средний модуль динамической упругости материала при нагрузке 2000 Н/м<sup>2</sup> ( $E = 9.0 \times 10^9$  Па)
2. плотность материала -  $\rho = 1700$  кг/м<sup>3</sup>;
3. толщина -  $\delta = 0,13$  м.

$$E = 9.0 \times 10^9 \text{ Па} = 9.0 \times 10^9 \text{ Н/м}^2 = 9,18 \times 10^8 \text{ кгс/м}^2$$

$$K_2 = 2,26 \sqrt{\frac{9,18 \times 10^8}{1700^3}} = 2,26 \times 0,43 = 0,97$$

Находим коэффициент:

$$K = K_1 \times K_2 = 0,94 \times 0,97 = 0,91,$$

$$m_3 = K \times m = K \times \rho \times \delta = 0,91 \times 1700 \times 0,13 = 201 \text{ кг/м}^2.$$

Частотную характеристику (ЧХ) изоляции воздушного шума конструкцией ограждения определим графическим способом, изображая ее в виде ломаной линии ABCD по методике, рассмотренной в 1.СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий» [1]. Начинаем строить линию с построения точки В.

Абсциссу точки В -  $f_B$  определяем по интерполяции по таблице 8 [1] по плотности материала конструкции 1700 кг/м<sup>3</sup> и толщине 0,13 м.

$$f_B = 30000 / h = 30000 / 130 = 231 \text{ Гц}.$$

Значение  $f_B$  следует округлять до среднегеометрической частоты, в пределах которой находится  $f_B$  по таблице 9 [1], получаем:  $f_B = 250 \text{ Гц}$ .

Ординату точки В -  $R_B$  определяем в зависимости от эквивалентной поверхностной плотности  $m_3$  по формуле 5 [1]:

$$R_B = 20 \times \lg m_3 - 12 = 20 \times \lg 201 - 12 = 20 \times 2,3 - 12 = 34,06 \approx 34 \text{ дБ}.$$

Значение  $R_b$  следует округлять до 0,5 дБ [1].

Таким образом, получаем координаты точки В: (250 Гц, 34 дБ).

Построение ЧХ показано на графике (рисунок 2).

Отмечаем точку В. Далее из точки В влево до 100 Гц проводим горизонтальный участок ВА, а вправо от точки В – отрезок ВС с подъемом 6 дБ на октаву до точки С с ординатой  $R_c = 65 \text{ дБ}$ .

Из точки С вправо проводится горизонтальный отрезок CD. Если точка С лежит за пределами нормируемого диапазона частот ( $f_c > 3150 \text{ Гц}$ ), отрезок CD отсутствует.

Индекс изоляции воздушного шума  $R_w$ , дБ, ограждающей конструкцией с рассчитанной частотной характеристикой изоляции воздушного шума определяется путем сопоставления этой частотной характеристики с оценочной кривой, приведенной в таблице 4, п.1. [1]. Полученные величины изоляции воздушного шума приведены в таблице 1. Там же указана оценочная частотная характеристика и приведен расчет индекса изоляции воздушного шума  $R_w$  рассматриваемой конструкцией.

Для определения индекса изоляции воздушного шума  $R_w$  необходимо определить сумму неблагоприятных отклонений данной частотной характеристики от оценочной кривой. Неблагоприятными считаются отклонения вниз от оценочной кривой [1]. При сравнении полученной ЧХ с оценочной (см. таблицу 1) видно, что сумма неблагоприятных отклонений значительно превышает 32 дБ.

Если сумма неблагоприятных отклонений превышает 32 дБ, оценочная кривая смещается вниз на целое число децибел так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений не превышала указанную величину [1]. Необходимо сместить оценочную кривую на 7 дБ вниз, чтобы сумма неблагоприятных отклонений не превышала 32 дБ.

За величину индекса  $R_w$  принимается ордината смещенной оценочной кривой в трехоктавной полосе со среднегеометрической частотой 500 Гц [1].

Следовательно (см. таблицу 1), индекс изоляции воздушного шума рассматриваемой конструкцией ограждения составляет  $R_w = 45 \text{ дБ}$

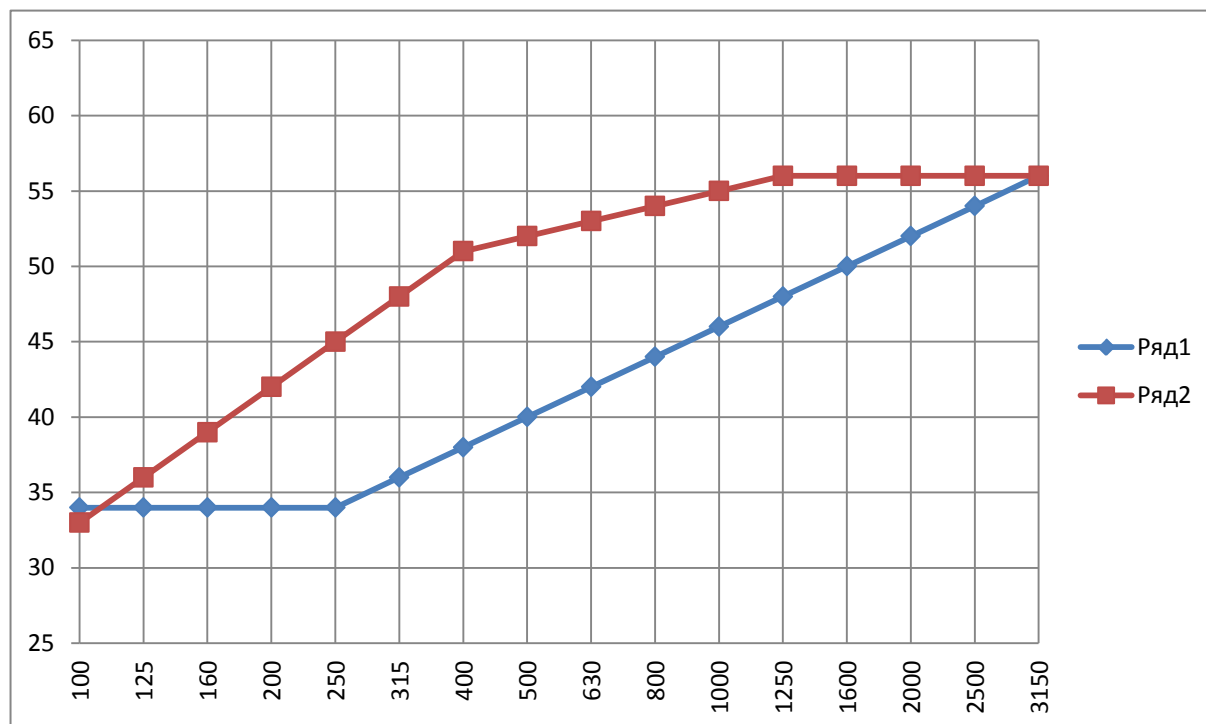


Рисунок 2. Частотная характеристика воздушного шума конструкцией перегородки (ряд 1) и оценочная кривая (ряд 2)

Таблица 1. Частотная характеристика изоляции воздушного шума рассматриваемой конструкцией ограждения и расчет индекса изоляции воздушного шума  $R_w$

№	ЧХ изоляции воздушного шума	Изоляция воздушного шума, дБ, Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы, Гц															Среднее неблагоприятное отклонение, дБ		
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500		3150	
1	Расчетная частотная характеристика R, дБ	34	34	34	34	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56		
2	Оценочная кривая, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56		
3	Неблагоприятные отклонения, дБ	-	2	5	8	11	12	13	12	11	10	9	8	6	4	2	-	113>32	
4	Оценочная кривая, смещенная вниз на 7 дБ, дБ	26	29	32	35	38	41	44	45	46	47	48	49	49	49	49	49		
5	Неблагоприятные отклонения от смещенной оценочной кривой, дБ	-	-	-	1	4	5	6	5	4	3	2	1	-	-	-	-	31<32	
6	Индекс изоляции воздушного шума $R_w$ , дБ									45									

### 1.3. Вывод

Расчетный индекс изоляции воздушного шума перегородкой из силикатных стеновых пустотелых блоков размером 300x198x130 мм, с круглыми пустотами диаметром 36 мм (по 8 отверстий в каждом блоке), с плотностью материала  $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$ , при заданном среднем модуле динамической упругости материала при нагрузке  $2000 \text{ Н/м}^2$   $E = 9.0 \times 10^9 \text{ Па}$  - равен  $R_w = 45 \text{ дБ}$ .

## 2. Расчет среднего модуля динамической упругости материала при известном индексе изоляции воздушного шума

Нужно совершить обратный расчет для определения среднего модуля динамической упругости материала при известном индексе изоляции воздушного шума  $R_w = 52 \text{ дБ}$ , конструкция и основные параметры не изменились.

Из таблицы 2 получим значение  $R_B = 41 \text{ дБ}$ , взяв его из частотной характеристики R при  $f_B = 250 \text{ Гц}$ .

По формуле 5 [1] зная  $R_B$ , определим  $m_s$ :

$$\lg m_s = \frac{20}{R_B + 12} = 2,65, \quad m_s = 450 \text{ кз/м}^2.$$

Таблица 2. Построение частотной характеристики по заданному индексу  $R_w = 52 \text{ дБ}$

№	ЧХ изоляции воздушного шума	Изоляция воздушного шума, дБ, Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы, Гц															Среднее неблагоприятное отклонение, дБ	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500		3150
1	Расчетная частотная характеристика R, дБ	41	41	41	41	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	
2	Оценочная кривая, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	
3	Неблагоприятные отклонения, дБ	-	2	5	8	11	12	13	12	11	10	9	8	6	4	2	-	113>32
4	Оценочная кривая, смещенная вниз на 7 дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	
5	Неблагоприятные отклонения от смещенной оценочной кривой, дБ	-	-	-	1	4	5	6	5	4	3	2	1	-	-	-	-	31<32
6	Индекс изоляции воздушного шума $R_w$ , дБ								52									

Находим коэффициент  $K$ :

$$K = \frac{m_3}{\rho \times \delta} = \frac{450}{1700 \times 0,13} = 2,04$$

Определим коэффициент  $K_2$ , зависящий от искомой величины модуля упругости материала:

$$K_2 = \frac{K}{K_1} = \frac{2,04}{0,94} = 2,17$$

Найдём модуль упругости материала по формуле (28) [2]:

$$E = \left( \frac{K_2}{2,26} \right)^2 \times 1700^3 = \left( \frac{2,17}{2,26} \right)^2 \times 1700^3 = 45,2 \times 10^8 \text{ кгс} / \text{м}^2$$

$$E = 45,2 \times 10^8 \text{ кгс} / \text{м}^2 = 44,33 \times 10^9 \text{ Па}$$

## 2.1. Выводы

1. Для заданного индекса изоляции воздушного шума  $R_w = 52 \text{ дБ}$  определен средний модуль динамической упругости материала  $E = 44,33 \times 10^9 \text{ Па}$ .

2. Расчетный индекс изоляции воздушного шума перегородкой из силикатных стеновых пустотелых блоков размером 300x198x130 мм, с круглыми пустотами диаметром 36 мм (по 8 отверстий в каждом блоке), с плотностью материала  $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$ , при заданном среднем модуле динамической упругости материала при нагрузке  $2000 \text{ Н/м}^2$  - равен  $R_w = 45 \text{ дБ}$ .

3. При расчете коэффициент  $K$  подсчитывать не следует. Учет коэффициента  $K$  дает здесь погрешность меньше 1 дБ, что практически не влияет на конечный результат (реальная погрешность между расчетом и измерением  $\pm 10 \text{ дБ}$ ). Действительно, с учетом этого коэффициента и без учета имеем

$$m_3 = K \times m = K \times \rho \times \delta = 0,91 \times 1700 \times 0,13 = 201 \text{ кг} / \text{м}^2$$

$$m = \rho \times \delta = 1700 \times 0,13 = 221 \text{ кг} / \text{м}^2$$

а далее имеем:



$$R_{BЭ} = 20 \times \lg m_s - 12 = 20 \times \lg 201 - 12 = 20 \times 2,3 - 12 = 34,06 \approx 34 \text{ дБ.}$$

$$R_B = 20 \times \lg m - 12 = 20 \times \lg 221 - 12 = 20 \times 2,34 - 12 = 34,88 \approx 35 \text{ дБ.}$$

Разница малая – расчетные и экспериментальные данные имеют большую величину погрешности (порядка  $\pm 10$  дБ).

4. Определение звукоизоляции осуществляется методом расчета ожидаемой шумности или методом нормируемых параметров. В любом случае определения речь идет о преграде площадью не менее 9-10 м<sup>2</sup> (см., например, ISO 140). Только тогда величина звукоизоляции не зависит от величины площади преграды. Поэтому «изоляция воздушного шума нормальной перегородки из тысячи блоков» и «изоляция воздушного шума отдельного маленького блока-кирпичика, из которых сделана эта перегородка» – это две большие разницы. Для оценки звукоизоляции перегородки нужна сама перегородка, сделанная по определенной технологии из большого числа блоков-кирпичиков, и площадь которой не менее 9-10 м<sup>2</sup>. Только тогда расчет звукоизоляции имеет практический смысл [17].

5. Частотную характеристику звукоизоляции перегородкой из блоков силикатных стеновых пустотелых следует иметь путем измерения в натуральных условиях по ГОСТ 27296-87 «Звукоизоляция ограждающих конструкций. Методы измерения».

6. Определение звукоизоляции расчетом методом ожидаемой шумности или методом нормируемых параметров проводится для сравнительных оценок. Абсолютные оценки остаются исключительно за измерениями.

#### Литература

1. СП 23-103-2003. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий.
2. СНиП II-12-77. Защита от шума.
3. СНиП 23-03-2003 Защита от шума.
4. Боголепов И. И. Строительная акустика. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2006. 323 с.
5. Боголепов И. И., Гладких А. А. Акустический расчет системы вентиляции и кондиционирования в современных зданиях // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 5. С. 30-42.
6. Боголепов И. И. Современные способы борьбы с шумом в зданиях и на селитебных территориях // Инженерно-строительный журнал. 2008. № 2. С. 45-49.
7. Боголепов И. И. Увеличение звукоизоляции двустенных конструкций за счет применения звукоизолирующих мостиков // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 2. С. 46-53.
8. Gerretsen E. A new system for rating impact sound insulation // Applied Acoustics. Vol. 9. Issue 4. 1976. Pp. 247–263.
9. Боголепов И. И. Вакуумные звукоизолирующие конструкции // Инженерно-строительный журнал. 2008. № 1. С. 22-29.
10. Lee L. J. Development of a simplified field method of measuring sound insulation // Applied Acoustics. 1985. Vol.18. Issue 2. Pp. 99–113.
11. Абрамитов В. Э. Звукоизолирующая панель с максимально возможной звукоизолирующей способностью // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 2. С. 56-58.
12. Walker C., Maynard K. New techniques for sound insulation against external noise // Applied Acoustics. 1975. Vol. 8. Issue 4. Pp. 257–269.
13. Боголепов И. И., Лаптева Н. А. Шумовая карта городов и агломераций // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 6. С. 5-11.
14. Kurra S. Comparison of the models predicting sound insulation values of multilayered building elements // Building and Environment. 2012. Vol. 73. Issues 6–7. Pp. 575–589.
15. Шемякин Д. Д. Эффективность строительно-акустических средств и методов снижения шума в жилой застройке: Дис. на соиск. учен. степ. к.т.н.: Спец. 05.23.03. М., 1983. 162 с.
16. Kurra S., Dal L. Sound insulation design by using noise maps // Building and Environment. 2012. Vol. 49. Pp. 291–303.
17. Матвеева И. В. Оценка звуковых полей помещений при проектировании объемно-планировочных и конструктивных решений производственных зданий с учетом защиты от шума: Дис. на соиск. учен. степ. к.т.н.: Спец. 05.23.01. Тамбов, 2000. 187 с.



18. Овсянников С. Н. Распространение структурного звука в гражданских зданиях: Дис. на соиск. учен. степ. д.т.н.: Спец. 05.23.01. Томск, 2001. 436 с.
19. Rasmussena B., Rindel J. H. Sound insulation between dwellings – Descriptors applied in building regulations in Europe // *Applied Acoustics*. 2010. Vol.71. Issue 3. Pp. 171–180.
20. Schwartz A., Leonov P. Acoustic aspects of building sites // *Applied Acoustics*. 1974. Vol. 7. Issue 4. Pp. 281–294.
21. Vercammen M. L. S., Martin H. J., Cornelissen W. M. J. Application of the intensity measurement technique to building acoustics and the influence of an absorbing partition wall on the measured intensity // *Applied Acoustics*. 1988. Vol. 23. Issue 1. Pp. 45–62.