

УДК: 699.844  
OECD: 02.01.FA

## Оценка эффективности дополнительной звукоизоляции (приставных оболочек) основных конструкций стен и перегородок

Герасимов А.И.<sup>1</sup>, Васильев М.Д.<sup>2\*</sup>, Рудь Н.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> К.т.н., доцент, <sup>2,3</sup> Студент-магистр

<sup>1,2,3</sup> Кафедра «Проектирование зданий и сооружений»,  
НИУ МГСУ, г. Москва, РФ

### Аннотация

В настоящей статье приводится анализ акустической эффективности дополнительной изоляции воздушного шума стен и перегородок гражданских зданий при помощи приставных оболочек (гибких плит на относе) на основании результатов лабораторных измерений. Обращается внимание на существующую практику использования акустически однородных перегородок из легких бетонов и обосновывается необходимость дополнительной звукоизоляции подобных конструкций.

В статье рассмотрены разные варианты конструкций дополнительной звукоизоляции: каркасная и бескаркасные конструкции. Проведен анализ акустической эффективности звукоизоляционной конструкции, в основе которого лежит анализ аналоговой электроакустической модели.

Также в статье обращается внимание на важность учета коэффициента акустической эффективности приставной оболочки, при расчетах индекса дополнительной изоляции воздушного шума для конструкций стен и перегородок с гибкой плитой на относе. В статье выведена графическая зависимость эффективности дополнительной изоляции воздушного шума перегородки от ее исходной поверхностной плотности.

**Ключевые слова:** дополнительная звукоизоляция, архитектурно-строительная акустика, перегородки гражданских зданий.

### *Estimation of the efficiency of additional sound insulation of the basic constructions of walls and partitions*

*Gerasimov A.I.<sup>1</sup>, Vasilyev M.D.<sup>2\*</sup>, Rud N.S.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup> PhD, associate professor, <sup>2,3</sup> Master student*

*<sup>1,2,3</sup> The department of Design of Buildings and Structures, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia*

### **Abstract**

*This article provides an analysis of the acoustic efficiency of additional isolation of airborne noise from walls and partitions of civil buildings with the help of attached shells (flexible slabs on a relative) based on the results of laboratory measurements. Attention is drawn to the existing practice of using acoustically homogeneous partitions made of lightweight concrete and the need for additional sound insulation of such structures is substantiated.*

*The article discusses different options for additional sound insulation structures: frame and frameless structures. An analysis of the acoustic efficiency of a soundproof structure is carried out, which is based on the analysis of an analog electroacoustic model.*

*The article also draws attention to the importance of taking into account the coefficient of acoustic efficiency of the attached shell, when calculating the index of additional insulation of airborne noise for structures*

of walls and partitions with a flexible slab on the relative. The article shows a graphical dependence of the effectiveness of additional isolation of airborne noise of a partition from its initial surface density.

**Keywords:** additional sound insulation, architectural and building acoustics, partitions of civil buildings.

## Введение

Несомненно, что окружающая и, в частности, акустическая среда, оказывает воздействие не только на психическое, но и на их физическое здоровье[1]. Поэтому подход к проектированию комфортной среды должен быть, несомненно, ответственным и технически правильным. Любая комфортная среда – это результат качественной и слаженной работы архитекторов, инженеров и технологов. Однако, при выборе материалов и конструкций перегородок часто руководствуются правилом минимизации трудозатрат и облегчения нагрузок на перекрытия и все чаще используют поризованные блоки невысокой плотности, а плотность, как известно, является критически важной характеристикой для звукоизоляции воздушного шума. И такая строительная практика «облегчения конструкций» уже показала свои сомнительные результаты в плане звукоизоляции[2,3]. Как следствие перегородки из таких материалов не выполняют требований существующих нормативных документов[4].

Таким образом, с целью улучшения ситуации, в настоящее время в строительстве наиболее широкое применение находят два варианта конструкций дополнительной звукоизоляции: каркасного и бескаркасного типа[5]. Первый вариант – каркасный - на основе металлического или деревянного каркаса с облицовкой листами ГВЛ или ГКЛ или их комбинацией с заполнением внутреннего пространства минеральными или стеклянными плитами – звукопоглощающими материалами (см. рис. 1).



Рис. 1. Схема устройств дополнительной звукоизоляции базовой конструкции стены

В то же время, в строительстве и реконструкции гражданских зданий все большее распространение получает устройство дополнительной бескаркасной звукоизоляции - гибкой плиты на основе (приставной оболочки) к исходным конструкциям стены или перегородки с целью повышения ее звукоизоляционных характеристик.

Второй вариант звукоизоляции – бескаркасная – приставная оболочка имеет меньшую толщину и несколько менее эффективна с позиции звукоизоляции, однако имеет свои преимущества: более экономична, меньшая толщина, меньшие трудозатраты

на монтаж, по сравнению с первым вариантом (рис. 1).

### 1. Измерения и результаты измерений

Для проведения анализа акустической эффективности приставных оболочек (плит на отnose), использовались протоколы акустических испытаний конструкций дополнительной звукоизоляции, смонтированных на различных конструкциях стен.

Испытания проводились в больших реверберационных камерах Лаборатории акустики ННГАСУ по стандартной методике ГОСТ 27296-2012. «Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций (с Поправкой)»[6].

Повторяемость измерения изоляции воздушного шума в рабочем диапазоне частот при доверительной вероятности 0,95 отвечает требованиям п. 8 ГОСТ 27296-2012.

В камере высокого уровня (КВУ объемом 150 м<sup>3</sup>) создавались необходимые уровни звукового давления в пределах 100 – 120 дБ.

В камере низкого уровня (КНУ объемом 66 м<sup>3</sup>) полезные сигналы превышали собственные шумы по уровню не менее чем на 25 дБ на всех частотах нормируемого диапазона.

Стены и потолок камер не параллельны друг другу, оштукатурены по металлической сетке по полнотелому кирпичу. Полы бетонные. Для создания диффузного поля, на стенах и потолке имеются звукорассеивающие элементы.

Величины изоляции воздушного шума в третьоктавных полосах частот определялись по формуле:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A}, \text{ дБ}, \quad (1)$$

где:  $L_1$  – средний уровень звукового давления в КВУ, дБ;  $L_2$  – средний уровень звукового давления в КНУ, дБ;  $S$  – площадь перегородки, м<sup>2</sup>;  $A$  – эквивалентная площадь поглощения в КНУ, м<sup>2</sup>.

Для определения звукопоглощения  $A$  в камере низкого уровня было измерено время реверберации  $T$  в третьоктавных полосах частот. Величина звукопоглощения определялась по формуле:

$$A = \frac{0,163 \cdot V}{T}, \text{ м}^2, \quad (2)$$

где:  $V$  – объем камеры, м<sup>3</sup>;  $T$  – время реверберации, с.

После обработки результатов лабораторных измерений, были построены частотные характеристики изоляции воздушного шума двух вариантов перегородок и изоляции воздушного шума тех же перегородок, но уже со смонтированными конструкциями дополнительной звукоизоляции (приставной оболочки). Кривые представлены на рис. 2.

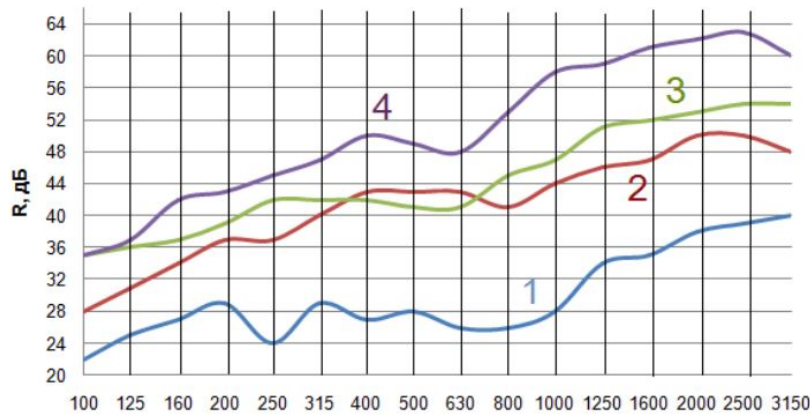


Рис. 2. Частотные характеристики изоляции воздушного шума перегородок с гибкой плитой «на отnose» (приставной оболочки)

**1 кривая** – основная перегородка из пеносиликатных блоков, плотностью  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ , поверхностной плотностью  $47 \text{ кг/м}^2$ .  $R_w^0 = 32 \text{ дБ}$ .

**2 кривая** – основная перегородка из пеносиликатных блоков, плотностью  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ , поверхностной плотностью  $47 \text{ кг/м}^2$  + приставная оболочка: деревянный каркас 25 мм, один слой ГКЛ, минераловатная плита толщиной 25 мм, плотностью  $\rho = 75 \text{ кг/м}^3$ .  $\Delta R_w = 14 \text{ дБ}$ .

**3 кривая** – основная перегородка в половину обыкновенного, полнотелого глиняного кирпича (120 мм), плотностью  $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ , поверхностной плотностью  $\rho = 228 \text{ кг/м}^2$ .  $R_w^0 = 48 \text{ дБ}$ .

**4 кривая** – основная перегородка в половину обыкновенного, полнотелого глиняного кирпича (120 мм), плотностью  $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ , поверхностной плотностью  $\rho = 228 \text{ кг/м}^2$  + приставная оболочка: деревянный каркас 25 мм, один слой ГКЛ, минераловатная плита толщиной 25 мм, плотностью  $\rho = 75 \text{ кг/м}^3$ .  $\Delta R_w = 6 \text{ дБ}$ .

Как видно из сравнения частотных характеристик изоляция воздушного шума, в первом варианте – основная перегородка из пеносиликатных блоков – приставная оболочка более эффективна с позиции улучшения изоляции воздушного шума ( $\Delta R_w = 14 \text{ дБ}$ ), чем во втором варианте основной конструкции из кирпича ( $\Delta R_w = 6 \text{ дБ}$ ).

Таким образом, за счет устройства приставной оболочки можно достичь увеличения звукоизоляции однослойной конструкции от 2 до 15 дБ.

Как показывает практика натурных и лабораторных измерений звукоизоляции подобной приставной оболочки (бескаркасной конструкции) – индекс улучшения изоляции воздушного шума  $\Delta R_w$ , дБ в значительной степени определяется физико-техническими параметрами основной (базовой) конструкции ограждения[7].

## 2. Оценка акустической эффективности

Рассмотрим влияние основной конструкции на акустическую эффективность приставной оболочки. В основу анализа положена аналоговая электроакустическая модель двустенной перегородки с воздушной полостью, заполненной звукоизоляционным материалом. Модель представлена в виде четырехполюсника (рис. 3).

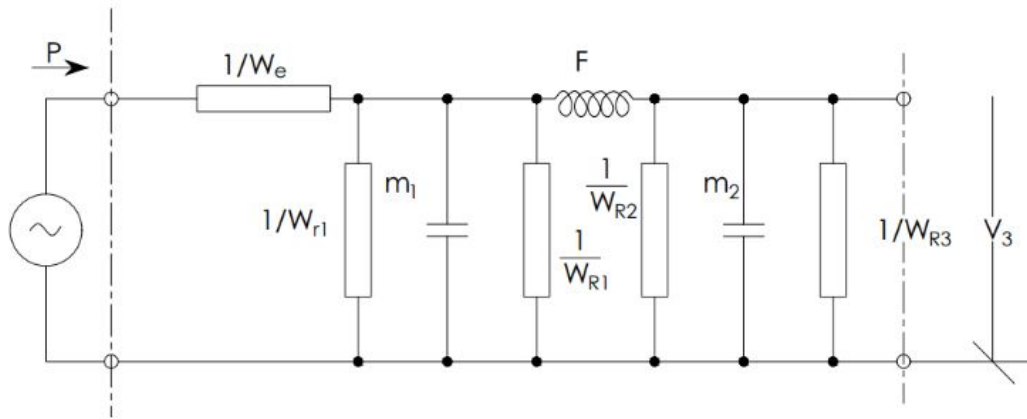


Рис. 3. Аналоговая схема (четыреполюсник) двойной перегородки

В символах механических параметров:

$W_e = \frac{z_0}{\cos \phi}$  - сопротивление плоской волны;

$W_{r1}$  и  $W_{r2}$  - акустические импедансы приставной и основной (базовой конструкции), приводимых в колебательное движение;

$m_1$  и  $m_2$  - поверхностные плотности оболочки и основной конструкции;

$F = 1/S$  - упругий параметр слоя звукоизоляционного материала,  $S$  - динамическая жесткость слоя.

Коэффициент передачи звуковой мощности:

$$\tau(\phi) = \frac{Pa(\phi)}{Pe(\phi)} = \frac{4 \cos \phi}{1/T^2} \cdot \frac{\sigma_2 \cdot Wr(\phi)}{z_0}, \quad (3)$$

где:  $\sigma_2$  - коэффициент излучения основной части перегородки;  $T$  - фактор передачи,

$$T = \frac{v_1}{2v_2} \cdot \cos \phi, \quad (4)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  - колебательные скорости оболочки и основной части перегородки.

Фактор передачи акустической системы (оболочка - звукоизоляционный, звукопоглощающий материал - основная часть перегородки):

$$T = \frac{1}{\left(1 + \frac{z_a}{z_2}\right) \cdot \left(1 + \frac{z_0}{z_1}\right) + \frac{z_0}{z_2}}, \quad (5)$$

где  $z_1$  и  $z_2$  - импедансы приставной оболочки и базовой конструкции;  $z_a$  - импеданс слоя звукопоглощающего, звукоизоляционного материала;  $z_0$  - характеристический (входной, удельный) импеданс воздух;  $z_0 = p_0 \cdot c_0$ , где  $p_0$  - плотность воздуха,  $c_0$  - скорость звука в воздухе.

Анализ выражения показывает, что уменьшение коэффициента передачи потока энергии в значительной степени обусловлено акустическим сопротивлением (импедансом). Чем больше импеданс (акустическое сопротивление) основной конструкции, тем меньше коэффициент передачи энергии.

В оценке акустической эффективности приставной оболочки немалую роль играет показатель изгибной жесткости единицы поперечного сечения элемента шириной 1 м  $E/p^3$

( $E$  - модуль упругости и  $\rho$  - плотность материала  $\text{кг/м}^3$ ) и коэффициент излучения основной конструкции.

Повышение отношения  $E/\rho^3$  и снижение коэффициента излучения и модальной плотности базовой конструкции приводит к уменьшению потока энергии между элементами акустической системы и росту акустической эффективности приставной оболочки, кроме того в упругом материале заполнение воздушного пространства уменьшается скорость распространения звуковой волны на низких частотах по сравнению со скоростью звука в воздухе.

Это изменение скорости распространения звука вызывает изменение коэффициента излучения основной конструкции, тем самым способствует повышению эффективности оболочки. Легкие бетоны, как правило, имеют значение  $E/\rho^3$  в среднем в  $2 \div 2,5$  раза больше, чем обыкновенный глиняный полнотелый кирпич и тяжелые бетоны при одинаковой поверхностной плотности[8].

### 3. Зависимость акустической эффективности основной (базовой) конструкции от ее поверхностной плотности

Для проведения системного анализа были использованы результаты лабораторных измерений звукоизоляции стен и перегородок с устройством приставной оболочки, на рис. 4 представлены графики зависимости индекса изоляции воздушного шума основной (базовой) конструкции от ее поверхностной плотности (кривая 1) с приставными оболочками двух вариантов (кривые 2 и 3).

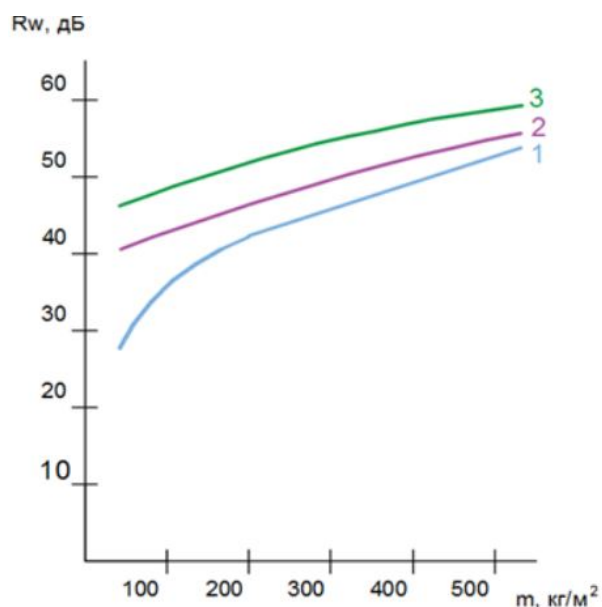


Рис. 4. Графики зависимости индекса изоляции воздушного шума основной (базовой) конструкцией от ее поверхностной плотности с приставными оболочками двух вариантов

**1 кривая** – зависимость индекса изоляции воздушного шума основной (базовой) конструкцией от ее поверхностной плотности.

Для построения кривой 1 проводились лабораторные измерения воздушного шума перегородок различной поверхностной плотности (от 50 до 530  $\text{кг/м}^2$ ).

**2 кривая** – зависимость индекса изоляции воздушного шума основной (базовой) конструкцией от ее поверхностной плотности с бескаркасной конструкцией дополнительной звукоизоляции (рис. 1, вариант 2).

Для построения кривой 2 проводились лабораторные измерения воздушного шума перегородок различной поверхностной плотности (от 50 до 530 кг/м<sup>2</sup>) с дополнительной бескаркасной облицовкой (приставной оболочкой), представляющей из себя слой звукопоглощающей плиты 20 мм плотностью 35 кг/м<sup>3</sup>, 2 ГВЛ плотностью 1250 кг/м<sup>3</sup> и 1 ГКЛ плотностью 800 кг/м<sup>3</sup>.

**3 кривая** – зависимость индекса изоляции воздушного шума основной (базовой) конструкцией от ее поверхностной плотности с каркасной конструкцией дополнительной звукоизоляции (рис. 1, вариант 1).

Для построения кривой 3 проводились лабораторные измерения воздушного шума перегородок различной поверхностной плотности (от 50 до 530 кг/м<sup>2</sup>) с дополнительной каркасной облицовкой (приставной оболочкой), смонтированной на металлическом каркасе, заполненным слоем звукопоглощающей плиты 50 мм плотностью 35 кг/м<sup>3</sup>, обшитым 2 ГВЛ плотностью 1250 кг/м<sup>3</sup> и 1 ГКЛ плотностью 800 кг/м<sup>3</sup>.

Как видно из графиков наибольшей акустической эффективностью обладают приставные оболочки на металлическом каркасе, установленном к основной конструкции плотностью  $p = 500 \div 1000$  кг/м<sup>3</sup> с индексом улучшения изоляции воздушного шума  $\Delta R_w$  от 19 до 8 дБ, соответственно.

По второму варианту  $\Delta R_w$  от 13 до 8 дБ при так же условиях.

Таким образом, суммарный индекс изоляции воздушного шума конструкции перегородки по результатам эксперимента, определяется по формуле:

$$R_w = R_w^0 + \Delta R_w, \text{ дБ}, \quad (6)$$

где  $R_w^0$  – индекс изоляции воздушного шума основной конструкции.

В случае расчета собственной изоляции воздушного шума приставной оболочки со слоем звукоизоляционного материала суммарный индекс изоляции воздушного шума конструкции в целом определяется по формуле:

$$R_w = R_w^0 + k \cdot R'_w, \text{ дБ}, \quad (7)$$

где  $R'_w$  – расчетный индекс собственной изоляции воздушного шума приставной оболочки, дБ;  $k$  – коэффициент акустической эффективности приставной оболочки.

Коэффициент акустической эффективности гибкой плиты на основе (приставной оболочки) определяется по формуле:

$$k = 0,12 \cdot B^{0,5}, \quad (8)$$

где  $B$  – отношение модуля Юнга к кубу плотности рассматриваемого материала (кирпич, легкий бетон, бетон):  $B = E/p^3$ .

### Заключение

Исходя из результатов лабораторных измерений плотность исходной (базовой) стены оказывает непосредственное влияние на индекс дополнительной изоляции воздушного шума. Данное влияние особенно заметно при низкой плотности исходной конструкции – индекс дополнительной звукоизоляции максимально эффективен, с увеличением плотности индекс дополнительной звукоизоляции уменьшается, т.е. мы говорим об обратной зависимости между плотностью и индексом дополнительной звукоизоляции.

Таким образом, при расчетах индекса изоляции воздушного шума конструкциями стен и перегородок с гибкой плитой на основе (формула (6)), целесообразно учитывать

коэффициент акустической эффективности приставной оболочки (формула (7)), который определяется в зависимости от типа основной конструкции, его модуля упругости и плотности материала.

Полученные результаты могут быть полезны при расчетах дополнительной звукоизоляции воздушного шума и для получения более точных результатов инженерами-проектировщиками, акустиками.

### Список литературы

1. Maryam Banaei, Javad Hatami, Abbas Yazdanfar, Klaus Gramann *Front Hum Neurosci. Walking through Architectural Spaces: The Impact of Interior Forms on Human Brain Dynamics.* 2017; 11: 477. Published online 2017 Sep 27. doi: 10.3389/fnhum.2017.00477 — PMID: PMC5627023.
2. Фадеев А. С, Цукерников И. Е.. Оценка изоляции воздушного шума межквартирной перегородки из поризованных материалов невысокой объемной плотности // Акустика среды обитания АСО – 2019, четвертая всероссийская конференция молодых ученых и специалистов, материалы конференции — М., 2019.
3. Крышов С.И. Натурные измерения звукоизоляции в новостройках Москвы // Материалы Международной Акустической Конференции МАК 2019, Москва, 01.02.2019г.
4. СП 51.13330.2011 Защита от шума, актуализированная версия СНиП 23-03-2003: Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2011.
5. Гребнев Павел Алексеевич Теоретические и экспериментальные исследования звукоизоляции бескаркасных ограждающих конструкций из сэндвич-панелей // Вестник ТГАСУ. 2015. №2 (49).
6. ГОСТ 27296-2012 Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций (с Поправкой).
7. Деркач Наталья Витальевна, Шаповаленко Яна Ивановна Сущность звукоизоляции и способы ее осуществления // Academy. 2017. №11 (26).
8. Бернблит М.В. «Значения модальной эффективности акустического излучения и коэффициентов присоединенных масс для ограниченной цилиндрической оболочки в жестком экране» // Акустический журнал, 23, 4, с. 528-538 (1977).

### References

1. Maryam Banaei, Javad Hatami, Abbas Yazdanfar, Klaus Gramann *Front Hum Neurosci. Walking through Architectural Spaces: The Impact of Interior Forms on Human Brain Dynamics.* 2017; 11:477. Published online 2017 Sep 27. doi: 10.3389 / fnhum.2017.00477 - PMID: PMC5627023.
2. Fadeev A. S, Tsukernikov I. E .. Assessment of the isolation of airborne noise of an interroom partition made of porous materials of low bulk density // Habitat Acoustics ASO - 2019, Fourth All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists, conference proceedings - M., 2019.
3. Kryshov S.I. Full-scale measurements of sound insulation in new buildings in Moscow // Materials of the International Acoustic Conference IAC 2019, Moscow, 01.02.2019.
4. SP 51.13330.2011 Noise protection, updated version of SNIIP 23-03-2003: Gosstroy of Russia. - M .: FGUP TsPP, 2011.



5. Grebnev Pavel Alekseevich Theoretical and experimental studies of sound insulation of frameless enclosing structures made of sandwich panels // Bulletin of TSASU. 2015. No. 2 (49).

6. GOST 27296-2012 Buildings and structures. Methods for measuring sound insulation of building envelopes (as amended).

7. Derkach Natalya Vitalievna, Shapovalenko Yana Ivanovna The essence of sound insulation and methods of its implementation // Academy. 2017. No. 11 (26).

8. Bernblith M.V. "Values of the modal efficiency of acoustic radiation and the coefficients of added masses for a bounded cylindrical shell in a rigid screen" // Acoustic journal, 23, 4, pp. 528-538 (1977)