



ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ЛЕГКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

Т. А. Чернышева¹, Г. Т. Космин², Н. Г. Прищенко³

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: ¹gtp280a@mail.ru, ²cosmin@yandex.ru, ³pri-nic@yandex.ua

Получена 26 октября 2017; принята 24 ноября 2017.

Аннотация. В данной статье приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований звукоизоляции многослойных легких ограждений. Расчет звукоизоляции конструкций выполнялся согласно теории самосогласования параметров внешних звуковых полей и волнового поля колебаний ограждений, разработанной научной школой профессора М. С. Седова. Этот метод позволяет исследовать прохождение звука через многослойное ограждение конечных размеров с учетом его двойственной природы (резонансное и инерционное прохождение), определять предельную звукоизоляцию ограждений и их внутренние резервы, необходимые для разработки рациональных по звукоизоляции конструктивных решений многослойных легких ограждений. Определены основные способы повышения звукоизоляции путем использования внутренних резервов: уменьшения резонансного прохождения звука за счет снижения цилиндрической жесткости ограждения без значительного изменения его массы с применением слоистых ограждений разной толщины; введения акустического разобщения между облицовками и каркасом; наличия звукопоглощающего слоя в воздушном промежутке и снижения модуля упругости материала этого слоя. Полученные результаты исследования рекомендованы к внедрению при проектировании межкомнатных перегородок в проектах жилых и общественных зданий.

Ключевые слова: звукоизоляция, легкие многослойные ограждения, каркасно-обшивные перегородки, индекс изоляции воздушного шума.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ ЛЕГКИХ БАГАТОШАРОВИХ ОГОРОДЖЕНЬ

Т. О. Чернышева¹, Г. Т. Космін², М. Г. Прищенко³

ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: ¹gtp280a@mail.ru, ²cosmin@yandex.ru, ³pri-nic@yandex.ua

Отримана 26 жовтня 2017; прийнята 24 листопада 2017.

Анотація. У даній статті наведені результати теоретичних та експериментальних досліджень звукоізоляції багатошарових легких огорожень. Розрахунок звукоізоляції конструкцій виконувався згідно з теорією самоузгодження параметрів зовнішніх звукових полів і хвильового поля коливань огорожень, розробленої науковою школою професора М. С. Седова. Цей метод дозволяє досліджувати проходження звуку через багатошарове огороження з урахуванням його подвійної природи (резонансна і інерційна проходження); визначати граничну звукоізоляцію огорожень і їх внутрішні резерви, необхідні для розроблення раціональних щодо звукоізоляції конструктивних рішень багатошарових легких огорожень. Визначено основні способи підвищення звукоізоляції шляхом використання внутрішніх резервів: зменшення резонансного проходження звуку за рахунок зниження циліндричної жорсткості огороження без значної зміни його маси із застосуванням багатошарових огорожень різної товщини; введення акустичного роз'єднання між облицюванням і каркасом; наявності звукопоглинального шару в повітряному

проміжку і зниження модуля пружності матеріалу цього шару. Отримані результати дослідження рекомендовані до впровадження при проектуванні міжкімнатних перегородок в проектах житлових і громадських будівель.

Ключові слова: звукоізоляція, легкі багат шарові огороження, каркасно-обшивні перегородки, індекс ізоляції повітряного шуму.

INVESTIGATION OF SOUND INSULATION OF LIGHT MULTI-LAYERED ENCLOSURES

Tamara Chernysheva¹, Gennady Kosmin², Nikolai Prishchenko³

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.

E-mail: ¹gtp280a@mail.ru, ²cosmin@yandex.ru, ³pri-nic@yandex.ua

Received 26 October 2017; accepted 28 November 2017.

Abstract. This article presents the results of theoretical and experimental studies about sound insulation of multi-layered light barriers. Calculation of sound insulation of structures was performed according to the theory of self-consistency of the parameters of external sound fields and the wave field of fence oscillations developed by the scientific school of professor M. S. Sedov. This method makes it possible to investigate the passage of sound through a multi-layered enclosure taking into account its dual nature (resonant and inertial passage) to determine the ultimate sound insulation of fences and their internal reserves; they are necessary for the development of rational soundproof solutions for multi-layered light fences. The main ways to increase sound insulation by using internal reserves are defined as follows: to reduce the resonant sound transmission; to reduce the cylindrical rigidity of the fence without significantly changing its mass with the use of layered fences of different thicknesses; the introduction of acoustic separation between the lining and the frame due to the presence of a sound-absorbing layer in the air gap; and to reduce the modulus of elasticity of the material of this layer. The obtained results of the research are recommended for introduction in the design of interior partitions in the projects with residential and public buildings.

Keywords: sound insulation, light layered fencing, framed partition, the index of airborne sound insulation.

Актуальность и цель

Создание благоприятного акустического режима в здании – одна из актуальных проблем современного строительства. В строительной практике на смену громоздким, материалоемким и соответственно трудоемким в процессе строительства внутренним ограждающим конструкциям приходят легкие многослойные ограждения.

В практике проектирования и строительства нашли применение следующие конструктивные решения многослойных ограждающих конструкций: отдельные ограждения, однослойные ограждения с гибкими плитами на отnose, ограждения типа «сэндвич», конструкции междуэтажных перекрытий и конструкции окон. Под отдельными ограждениями подразумеваются конструкции, состоящие из двух жестких слоев (плит), разделенных воздушной прослойкой или звуко-

поглощающим материалом незначительной жесткости.

Преимущественное распространение получили отдельные ограждения из листовых материалов, в частности каркасно-обшивные перегородки. Существующие в настоящее время конструктивные решения каркасно-обшивных перегородок представляют собой ограждающие конструкции, состоящие из наружных листов обшивки одинаковой толщины, жестко соединенных с каркасом [17]. Такие конструкции обладают низкой звукоизоляцией в диапазоне средних и высоких частот (630÷1 250 Гц), вызванной резонансом системы «масса – упругость – масса» [14].

Для реализации всего потенциала многослойной конструкции должно выполняться требование послойного прохождения звука через толщу

перегородки. При этом места жесткого соединения облицовки с каркасом образуют акустические мостики, через которые происходит передача колебаний с одной облицовки на другую, минуя промежуточный звукопоглощающий слой, и соответственно в изолируемое помещение. В данный момент недостаточно исследовано влияние акустических мостиков ограждающих конструкций на их звукоизолирующие свойства в различных частотных диапазонах, что не позволяет рационально проектировать ограждающие конструкции повышенной звукоизоляции.

Эти недостатки, являясь сдерживающим фактором широкого внедрения каркасно-обшивных перегородок в практику строительства, хорошо известны специалистам в области строительной акустики [15, 16]. Поэтому целью исследования является определение неиспользованных резервов звукоизоляции многослойных конструкций. Использовать данные резервы можно, оптимизировав некоторые элементы конструкций.

Таким образом, разработка конструкций многослойных легких ограждений повышенной звукоизоляции из современных материалов является актуальной задачей в проектировании зданий и сооружений.

Теоретические основы исследования

На основании методики расчета звукоизоляции двойных ограждений конечных размеров с воздушным промежутком, разработанной научной школой профессора М. С. Седова, определяется звукоизоляция многослойных ограждений [1]. По теории самосогласования волновых полей вся частотная шкала делится на пять участков: дорезонансную область, область простых резонансов, область простых пространственных резонансов (ПрПР), неполных пространственных резонансов (НПР) и полных пространственных резонансов (ППР). Для двойного ограждения с воздушным промежутком выбраны три важных диапазона частот: область простых пространственных резонансов (ПрПР), неполных пространственных резонансов (НПР) и полных пространственных резонансов (ППР), находящихся в нормируемом диапазоне частот ($100 \div 3150$ Гц). Анализируя обобщенную частотную характеристику звукоизоляции двойных ограждений, приведенную на рис. 1, можно видеть две области, где наблюдаются резонансные отклонения и, соответственно, области наибольших резервов повышения звукоизоляции. Первая из них расположена в диапазоне средних частот вблизи резонансной частоты «масса – упругость – масса» (f_p), вторая область расположена в диапазоне

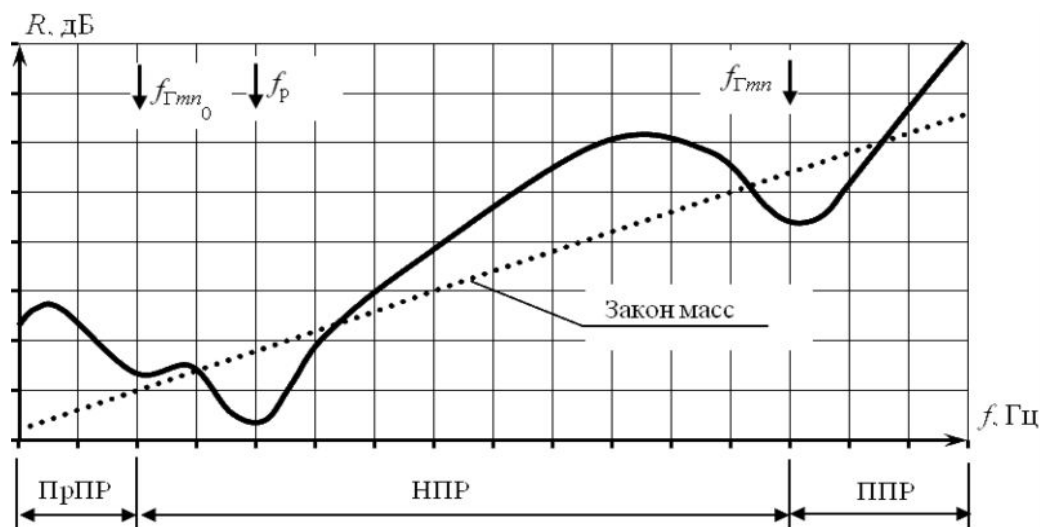


Рисунок 1. Обобщенная частотная характеристика звукоизоляции двойного ограждения с воздушным промежутком по теории М. С. Седова.

высоких частот вблизи граничной частоты ППР ($f_{гmn}$). В данных областях частот происходит наибольшее снижение звукоизоляции ограждений вследствие резонансного прохождения звука.

Расположение области резервов повышения звукоизоляции вблизи частоты $f_{гmn}$ на частотной шкале определяется отношением цилиндрической (изгибной) жесткости и поверхностной плотности облицовок перегородки. Расположение области резервов повышения звукоизоляции вблизи частоты f_p на частотной шкале определяется параметрами звукопоглощающего слоя, а также наличием акустического разобщения между конструктивными слоями.

Теория самосогласования волновых полей устанавливает, что ограждающие конструкции конечных размеров во всех частотных диапазонах обладают предельными значениями звукоизоляции и зависят от соотношения резонансного и инерционного прохождения звука через многослойное ограждение. Собственная звукоизоляция реального ограждения всегда меньше своих предельных значений из-за наличия резонансной составляющей прохождения звука W_{1c} . Подавляющее большинство ограждающих конструкций зданий и сооружений обладают резонансными свойствами, которые в той или иной степени снижают их звукоизоляцию. Из этого следует, что ограждающие конструкции зданий и сооружений обладают резервами повышения звукоизоляции, которые количественно можно охарактеризовать как разницу между собственной звукоизоляцией ограждения и ее предельными значениями Δr :

$$\Delta r = R_{\text{пред}} - R, \quad (1)$$

где Δr – величина резонансных отклонений, показывающая, насколько снижается звукоизоляция ограждения относительно своих предельных значений за счет резонансного прохождения звука, дБ;

$R_{\text{пред}}$ – предельная звукоизоляция ограждения конечных размеров, дБ;

R – собственная звукоизоляция ограждения конечных размеров, дБ.

Звукоизолирующая способность ограждения характеризуется коэффициентом звукопроницаемости τ , который определяется по формуле:

$$\tau = \frac{W_1}{W_2}, \quad (2)$$

где W_1 – мощность звуковых волн, прошедших через ограждение;

W_2 – мощность падающих звуковых волн при диффузном падении звука.

В волновом движении ограждения при воздействии на него звуковых волн участвуют собственные и инерционные волны. Согласно теории [9], инерционные волны существуют на каждой частоте, а на частотах собственных колебаний ограждения инерционная и свободная волны отличаются начальной фазой движения. Следовательно, можно говорить о независимости этих волн и справедливости принципа суперпозиции для коэффициента звукопроницаемости τ , [10]:

$$\tau = \tau_{\text{пи}} + \tau_{\text{ин}}\tau_{2\text{и}} + \tau_{1c}\tau_{2c} + \tau_{\text{пс}}, \quad (3)$$

где $\tau_{\text{пи}}$ – коэффициент инерционного прохождения звука через облицовки с упругой связью между ними;

$\tau_{\text{ин}}\tau_{2\text{и}}$ – коэффициенты инерционного прохождения звука через первую (на которую падают звуковые волны) и вторую облицовки, соответственно;

$\tau_{1c}\tau_{2c}$ – коэффициенты резонансного прохождения звука через первую и вторую облицовки, соответственно;

$\tau_{\text{пс}}$ – коэффициент резонансного прохождения звука через облицовки с упругой связью между ними.

Выражение (3) отражает двойственную природу прохождения звука через ограждение, резонансное и инерционное прохождение. Инерционное прохождение звука зависит от поверхностной массы ограждения и его размеров, а резонансное – от степени самосогласования звуковых полей и волнового поля собственных колебаний ограждения, а также от потерь энергии на рассеяние. С учетом двойственной природы прохождения звука выражение общей звуковой мощности, излучаемой ограждением, имеет вид [1]:

$$W_1 = W_{1c} + W_{\text{ин}}, \quad (4)$$

где W_{1c} – мощность, излучаемая свободными упругими волнами;

$W_{\text{ин}}$ – мощность, излучаемая инерционными волнами.

Звукоизоляция ограждающей конструкции R , (дБ) – это величина, обратно пропорциональная коэффициенту звукопроницаемости τ [4]:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau}. \quad (5)$$

Звуковая мощность в изолируемое помещение излучается как свободными упругими, так и инерционными волнами, тогда выражение собственной звукоизоляции принимает следующий вид:

$$R = 10 \lg \frac{W_2}{W_1} = \frac{W_2}{W_{1c} + W_{1i}}, \quad (6)$$

где W_1, W_2 – то же, что в формуле (2);

W_{1c}, W_{1i} – то же, что в формуле (4).

В области частот ниже граничного ППР ($f < f_{\Gamma mn}$) формула для определения звукоизоляции имеет вид:

$$R = 10 \lg \frac{\pi^2}{\rho_0^2 c_0^2} \left(\frac{\mu^2 f^2}{\frac{F_{1i}^2}{\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_{2i}}} + \frac{\mu^2 f^2}{\frac{\pi}{1,15} \cdot \frac{A^4}{2\eta \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_{2c}}} \right) \quad (7)$$

где μ – поверхностная масса ограждения;

η – коэффициент потерь материала;

$\rho_0 c_0$ – характеристический импеданс среды;

θ_1 – угол падения звуковых волн на ограждение;

θ_{2i}, θ_{2c} – углы излучения звуковых волн инерционными и свободными колебаниями соответственно;

F_{1i} – функция отклика ограждающей конструкции;

$A^4 = A_1^2 \cdot A_2^2$ – характеристика самосогласования звуковых полей перед и за панелью (A_1 и A_2 соответственно) с волновым полем собственных колебаний ограждения:

$$A = \frac{\int_0^a \int_0^b \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{m\pi y}{b} \sin \frac{n_0\pi x}{a} \sin \frac{n_0\pi y}{b} dx dy}{\int_0^a \int_0^b \sin^2 \frac{m_0\pi x}{a} \sin^2 \frac{n_0\pi y}{b} dx dy}, \quad (8)$$

где m, n – числа, характеризующие собственное волновое поле ограждающей конструкции;

m_0, n_0 – числа, характеризующие звуковое поле в плоскости ограждения.

Для частот выше граничного ППР ($f > f_{\Gamma mn}$) звукоизоляция ограждений вычисляется по формуле:

$$R = 10 \lg \frac{\pi^2}{\rho_0^2 c_0^2} \left(\frac{\mu^2 f^2}{\frac{F_{1i}^2}{\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_{2i}}} + \frac{\mu^2 f^2}{\frac{\pi}{8} \cdot \frac{f_{\Gamma mn}^2 \bar{s}_{mn}}{f \eta \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_{2c}}} \right) \quad (9)$$

где $\mu, \eta, \theta_1, \theta_{2i}, \theta_{2c}, F_{1i}$ – то же, что в формуле (7);

\bar{s}_{mn} – коэффициент излучения панели, усредненный по полосе пропускания Δf .

В знаменателях выражений (7) и (9) первое слагаемое в круглых скобках характеризует инерционное прохождение звука через ограждение, а второе слагаемое – резонансное прохождение. Перепишем формулу (7) для случая, когда $F_{1i}^2 / \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_{2i} \gg (\pi / 1,15) \cdot (A^4 / 2\eta \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_{2c})$, т. е. когда основной вклад в излучение звука вносят инерционные волны:

$$R = 20 \lg \frac{\mu \cdot f}{F_{1i}} - 46,7. \quad (10)$$

Формула (10) выражает предельную звукоизоляцию ограждающих конструкций конечных размеров [1]. Для ограждения заданной массы предельная звукоизоляция определяется величиной функции отклика F_{1i} и текущей частотой звука $\cdot f$.

Согласно теоретическим выводам, изложенным в [1], сформулировано основное правило, которым необходимо руководствоваться при проектировании эффективных звукоизолирующих ограждающих конструкций – максимально использовать резервы звукоизоляции ограждения, определяемые соотношением инерционного и резонансного прохождения звука, путем решения задачи уменьшения резонансной составляющей W_{1c} в выражении общей звуковой мощности, излучаемой ограждением.

Используя внутренние резервы, определены основные способы снижения резонансного прохождения звука через многослойные ограждения:

1. Снижение цилиндрической жесткости ограждения без значительного изменения его массы путем применения слоистых ограждений разной толщины, когда за счет сочетания листов разной цилиндрической жесткости возможно увеличение звукоизоляции в зоне пространственного резонанса одного слоя ограждения за счет другого вблизи граничной частоты ППР ($f < f_{\Gamma mn}$) [6, 13]. На рисунке 2 приведены частотные характеристики звукоизоляции многослойных ограждений на примере каркасно-обшивных перегородок, полученные по методике, изложенной в СП-23-103-2003 [11].
2. Повышение звукоизоляции вблизи граничной частоты путем оптимизации узлов крепления между обшивками и каркасом [7, 8].

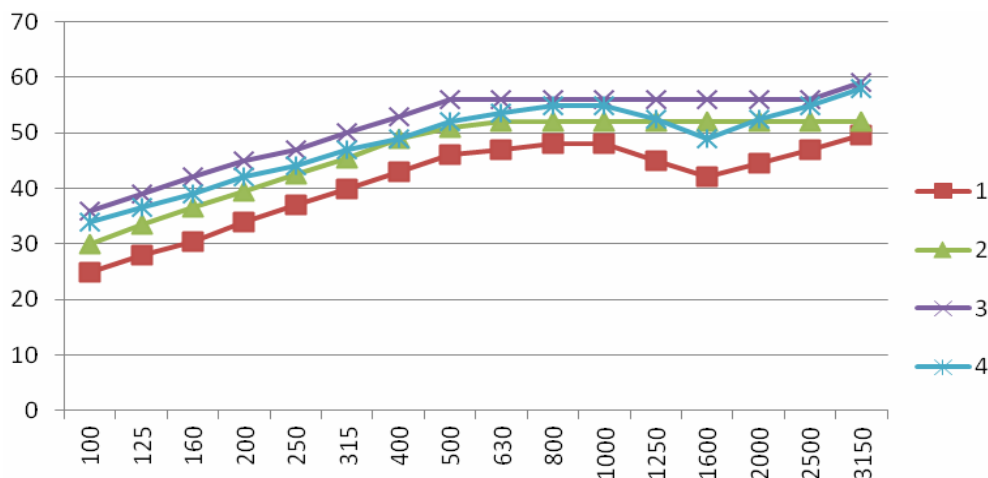


Рисунок 2. Сравнение теоретически полученных частотных характеристик звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок из ГКЛ одинаковой поверхностной плотностью $50 \div 60 \text{ кг/м}^2$. Конструкции перегородок: 1 – металлический профиль ПС100/50, гипсокартонные листы толщиной 12,5 мм по 2 с каждой стороны с воздушным промежутком; 2 – металлический профиль ПС100/50, гипсокартонные листы толщиной 12,5 мм с разной толщиной стенок (1+3) с воздушным промежутком; 3 – металлический профиль ПС100/50, минераловатная плита плотностью 40 кг/м^3 и толщиной 50 мм, гипсокартонные листы толщиной 12,5 мм с разной толщиной стенок (1+3); 4 – металлический профиль ПС100/50, минераловатная плита плотностью 40 кг/м^3 и толщиной 50 мм, гипсокартонные листы толщиной 12,5 мм по 2 с каждой стороны.

Жесткое соединение каркаса с облицовочными слоями обшивки и облицовочных слоев двухслойной обшивки между собой, так называемые акустические мостики, заменяется и выполняется на клею через упругие прокладки.

3. За счет уменьшения жесткости материала среднего слоя, когда средний слой максимально близок к характеристикам воздуха. При уменьшении жесткости среднего слоя происходит смещение резонансной частоты всей конструкции системы «масса – упругость – масса» (f_p) в область более низких частот. Однако снижение модуля упругости материала среднего слоя не является достаточным условием для значительного повышения звукоизоляции легких многослойных ограждений, но может применяться в комплексе мер, направленных на вывод резонансной частоты f_p за пределы нормируемого диапазона частот [3, 12].
4. Применение акустического разобщения в виде дополнительных слоев упругого материала между облицовками и средним слоем, что позволяет повысить звукоизоляцию в области ППР (выше частоты $f_{\Gamma_{mn}} = 3150 \text{ Гц}$) за счет увеличения потерь энергии. Звукоизо-

ляция с акустическим разобщением зависит от толщины разобщающих слоев упругого материала и в меньшей степени зависит от упругих характеристик самого материала [3].

5. За счет уменьшения изгибной жесткости путем устройства пропилов в наружных слоях и увеличения коэффициента потерь путем заполнения пропилов вибродемпфирующим материалом. Изменение изгибной жесткости и заполнение пропилов вибродемпфирующим материалом приводит к росту звукоизоляции от 1 до 5 дБ. Для материалов с поверхностной плотностью $75 \div 203 \text{ кг/м}^2$ эта величина составляет $4 \div 5 \text{ дБ}$, что равносильно увеличению поверхностной плотности однослойных ограждений на $80 \div 100 \%$ [5].

Результаты экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования по определению изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями на основе каркасно-обшивных перегородок, приближенные к натурным условиям, проведены в лаборатории акустики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Определение собственной и фактической звукоизоляции исследуемых

конструкций проведено по стандартной методике [2].

Результаты проведенных экспериментальных исследований звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок подтверждают теоретически установленные резервы повышения звукоизоляции, расположенные вблизи резонансных частот f_p и $f_{Гmn}$.

Экспериментальные исследования влияния обшивки из гипсокартонных листов со стенками разной толщины и звукопоглощающим слоем на звукоизоляцию каркасно-обшивных перегородок

На рисунке 3 приведены экспериментально полученные частотные характеристики звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок.

Сравнение звукоизолирующих качеств каркасно-обшивных перегородок из гипсокартонных листов со стенками разной толщины и звукопоглощающим слоем показывает, что если у перегородки, состоящей из двух листов одинаковой толщины, убрать один лист, как показано на рис. 3, что равноценно снижению массы на 25 %, и этим самым изменить соотношение цилиндрических жесткостей наружного и внутреннего слоя в 8 раз, то звукоизоляция такой конструкции увеличивается за счет взаимного перекрытия провалов на границах волнового совпадения. Повышение звукоизоляции наблюдается и в случае наличия звукопоглощающего слоя. Индекс изоляции менее массивной пере-

городки увеличивается на 2÷3 дБ, а на высоких частотах (1 600 Гц) на 5÷7 дБ. То есть снижение массы на 25 % не ухудшает, а улучшает звукоизоляцию. Применение перегородок, состоящих из одного и двух листов (один плюс два), с точки зрения звукоизоляции, оказывается более эффективным, чем применение перегородок со стенками одинаковой толщины (два плюс два).

Установлено, что наилучшей звукоизоляцией при одних и тех же материальных затратах обладают конструкции, когда ограждающие стенки имеют разную толщину. Применение двуслойных перегородок со стенками разной толщины приводит к улучшению индекса изоляции в среднем на 4 дБ, а на некоторых частотах звукоизолирующая способность повышается на 6÷8 дБ по сравнению с другими конструкциями одинаковой массы.

Установлено, что применение таких конструкций со звукопоглощающим слоем еще увеличивает звукоизоляцию на 5÷6 дБ.

Таким образом, нами рекомендуются к применению перегородки с обшивкой, состоящей из одного и двух (1+2), одного и трех (1+3) листов вместо традиционных два плюс два листа (2+2).

Экспериментальные исследования влияния акустических мостиков на звукоизоляцию каркасно-обшивных перегородок

На рисунке 4 приведены экспериментально полученные частотные характеристики звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок из

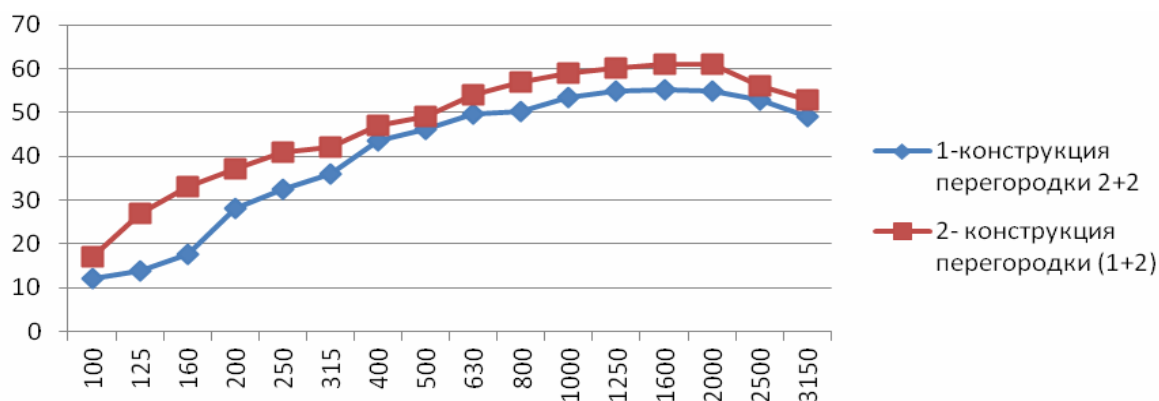


Рисунок 3. Сравнение экспериментально полученных частотных характеристик звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок (размер всех образцов 3,0×2,2 м). Конструкция перегородок: 1 – металлический профиль ПС50/50, минераловатная плита плотностью 40 кг/м³ и толщиной 50 мм, гипсокартонные листы толщиной 12,5 мм по 2 с каждой стороны; 2 – металлический профиль ПС50/50, минераловатная плита плотностью 40 кг/м³ и толщиной 50 мм, гипсокартонные листы толщиной 12,5 мм с разной толщиной стенок (1+2).

гипсокартонных листов на металлическом каркасе с жестким креплением элементов между собой и на клею через упругие прокладки.

На основании проведенного комплекса экспериментальных исследований разработано рациональное конструктивное решение каркасно-обшивных перегородок с акустическим разобщением между облицовками и каркасом. Жесткое соединение каркаса с облицовочными слоями обшивки между собой и облицовочных слоев двухслойной обшивки между собой и каркасом, так называемые акустические мостики, заменяется и выполняется на клею через упругие

прокладки. Схемы предложенных конструкций каркасно-обшивных перегородок представлены на рисунке 5.

Анализируя рисунок 4, можно заключить, что полное акустическое разобщение между обшивками и каркасом повышает звукоизоляцию от 1 до 5 дБ.

Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что повышение звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок достигается за счет смещения граничной частоты волнового совпадения в область более высоких частот.

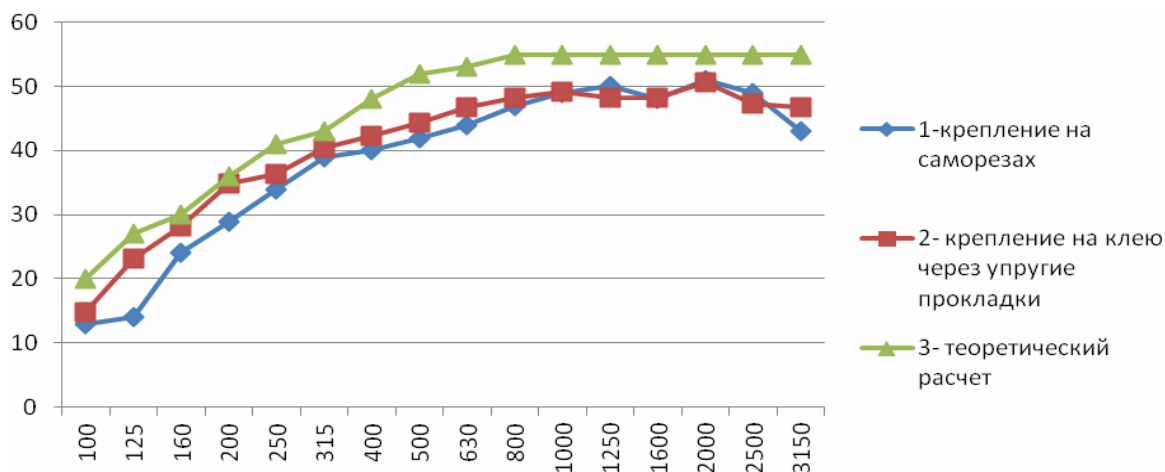


Рисунок 4. Сравнение экспериментально полученных частотных характеристик звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок (размер всех образцов $3,0 \times 2,2$ м) с разными узлами крепления. Конструкция перегородок: 1 – металлический профиль ПС50/50, минераловатная плита плотностью 40 кг/м^3 и толщиной 50 мм, гипсокартонные листы толщиной 12,5 мм с разной толщиной стенок (1+2). Крепление на саморезах; 2 – металлический профиль ПС50/50, минераловатная плита плотностью 40 кг/м^3 и толщиной 50 мм, гипсокартонные листы толщиной 12,5 мм с разной толщиной стенок (1+2). Крепление на клею через упругие прокладки; 3 – теоретически определенная звукоизоляция такой же перегородки по методике, изложенной в СП-23-103-2003.

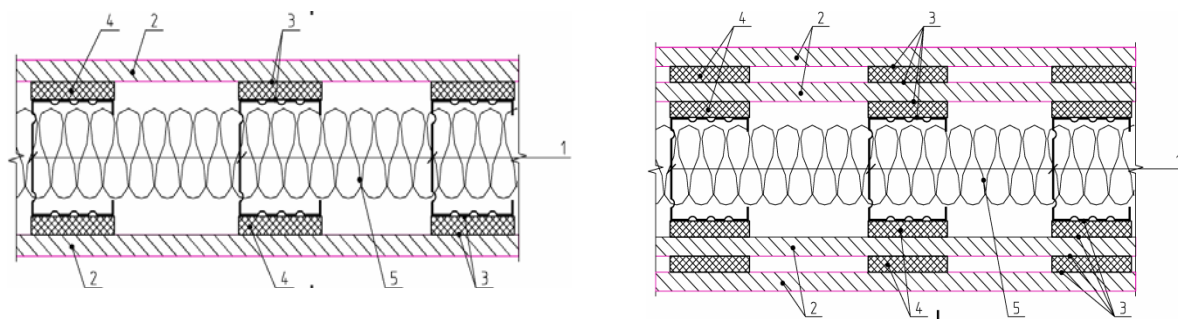


Рисунок 5. Схемы каркасно-обшивных перегородок с рациональным конструктивным решением узлов крепления облицовки и каркаса. Конструкция перегородки: 1 – профильный металлический каркас; 2 – гипсокартонные листы; 3 – клей; 4 – упругая прокладка; 5 – звукопоглощающий материал.

Основные выводы

1. Разработаны и предложены эффективные конструктивные решения многослойных легких ограждений повышенной звукоизоляции из современных материалов, в частности каркасно-обшивные перегородки из гипсокартонных листов:
 - с обшивкой, состоящей из одного и двух (1+2), одного и трех (1+3) листов вместо традиционных два плюс два листа (2+2);
 - жесткое соединение каркаса с облицовочными слоями обшивки и облицовочных слоев двухслойной обшивки между собой, так называемые акустические мостики, заменяется и выполняется на клею через упругие прокладки.
2. Определены основные способы повышения звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок путем использования внутренних резервов (без значительного увеличения массы и толщины):
 - уменьшение резонансного прохождения звука путем снижения цилиндрической жестко-

сти ограждения без значительного изменения его массы с применением слоистых ограждений разной толщины;

- наличие акустического разобщения между обшивками и каркасом путем оптимизации узлов крепления элементов конструкции;
 - за счет наличия звукопоглощающего слоя в воздушном промежутке и снижения модуля упругости материала этого слоя.
3. Результаты численных расчетов легли в основу планирования экспериментальных исследований по определению предельной звукоизоляции ограждения конечных размеров.
 4. Проведен комплекс экспериментальных исследований звукоизоляции разработанных каркасно-обшивных перегородок в лабораторных и натурных условиях. Подтверждена высокая эффективность разработанных конструкций и возможность их применения при проектировании жилых и общественных зданий.

Литература

1. Техническая акустика транспортных машин [Текст] : справочник / Л. Г. Балишанская, Л. Ф. Дроздова, Н. И. Иванов, М. С. Седов. – СПб. : Политехника, 1992. – 365 с.
2. ГОСТ 27296-2012. Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций [Текст]. – Взамен ГОСТ 27296-87 и ГОСТ 24210-80 ; введ. 2014-01-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 16 с.
3. Гребнев, П. А. Звукоизоляция ограждающих конструкций зданий из сэндвич-панелей [Текст] : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.23.01 / П. А. Гребнев. – Москва, 2016. – 20 с.
4. Заборов, В. И. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций [Текст] / В. И. Заборов. – М. : Стройиздат, 1969. – 185 с.
5. Кочкин, А. А. Влияние измененной изгибной жесткости вибродемпфированного слоистого ограждения на его звукоизоляцию [Текст] / А. А. Кочкин, Л. Э. Шашкова // Проблемы и пути развития энергосбережения и защиты от шума в строительстве и ЖКХ: материалы XV международной научно-практической конференции / под ред. И. Л. Шубина. – Москва ; Будва : НИИСФ РААСН, 2011. – С. 189–191.
6. Пат. 19169 Україна, МПК E04C 2/26. Звукоізоляційна перегородка [Текст] / Космін Г. Т., Чернишева Т. О., Чупраковська О. В. ; заявник і

References

1. Balishanskaya, L. G.; Drozdova, L. F.; Ivanov, N. I.; Sedov, M. S. Technical acoustics of transport cars: guide. St. Petersburg: Polytechnic, 1992. 365 p. (in Russian)
2. GOST 27296-2012. Buildings and constructions. Methods for measurement of sound insulation of protecting designs. Moscow: Standartinform, 2014. 16 p. (in Russian)
3. Grebnev, P. A. Soundproofing of enclosing structures of buildings from sandwich panels: Author's abstract the thesis submitted for the Scientific Degree on competition of Candidate of Engineering: 05.23.01. Moscow, 2016. 20 p. (in Russian)
4. Zaborov, V. I. The theory of sound insulation of protecting designs. Moscow: Stroizdat, 1969. 185 p. (in Russian)
5. Kochkin, A. A.; Shashkova, L. E. The effect of the Flexural rigidity of vibrodamping layered fencing on its sound insulation. In: *Shubin, I. L. (Ed.) Problems and ways of development of energy saving and noise protection in building and housing: materials of the XVth international scientific-practical conference*. Moscow; Budva: NIISF RAASN, 2011, pp. 189–191. (in Russian)
6. Patent 19169 Ukraine, MPK E04C 2/26. Soundproof partition / Kosmin, G. T.; Chernysheva, T. O.; Chuprakovska, O. V.; applicant and patentee Kosmin, G. T.; Chernysheva, T. O.; Chuprakovska, O. V. No. u

- патентовласник Косьмін Г. Т., Чернишева Т. О., Чупраковська О. В. – № у 200603908 ; заявл. 10.04.2006 ; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12. – 4 с.
7. Пат. 87948 Україна, МПК E04C 2/26. Звукоізоляційна перегородка [Текст] / Прищенко М. Г., Трохименко М. П., Чернишева Т. О. ; заявник і патентовласник Прищенко М. Г., Трохименко М. П., Чернишева Т. О. – № у 2013 11016 ; заявл. 16.09.2013 ; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4. – 4 с.
 8. Пат. 87949 Україна, МПК E04C 2/26. Звукоізоляційна перегородка [Текст] / Прищенко М. Г., Трохименко М. П., Чернишева Т. О. ; заявник і патентовласник Прищенко М. Г., Трохименко М. П., Чернишева Т. О. – № у 2013 11017 ; заявл. 16.09.2013 ; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4. – 4 с.
 9. Седов, М. С. Теория инерционного прохождения звука через ограждающие конструкции [Текст] / М. С. Седов // Изв. вузов. Сер.: Строительство и архитектура. 1990. № 2. С. 37–42.
 10. Седов, М. С. Собственные волны и собственные колебания свободных прямоугольных пластин [Текст] / М. С. Седов // Изв. вузов. Строительство. 1999. № 5. С. 27–31.
 11. СП 23-103-2003. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий [Текст] / Гос. ком. Рос. Федерации по стр-ву и жилищ.-коммунал. комплексу (Госстрой России). – Взамен Руководства по расчету и проектированию звукоизоляции ограждающих конструкций зданий. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 35 с. – ISBN 5-88111-150-8.
 12. Старцева, О. В. Теоретические и экспериментальные исследования звукоизоляции перегородок [Текст] / О. В. Старцева, С. Н. Овсянников // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 2. С. 176–184.
 13. Чернышева, Т. А. Звукоизолирующие свойства двойных перегородок из тонких гипсокартонных листов различной толщины [Текст] / Т. А. Чернышева // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2008. Вип. 2008–6 (74) : Проблеми містобудування і архітектури. С. 94–97.
 14. Craik, R. J. M. Non-resonant sound transmission through double walls using statistical energy analysis [Текст] / R. J. M. Craik // Appl. Acoust. 2003. Vol. 64, No. 3. P. 325–341.
 15. Fasold, W. Shallschutz und Raumakustik in der Praxis [Текст] / W. Fasold, E. Veres. – Berlin : Verlag fur Bauwesen, 1998. – 376 p.
 16. Heckl, M. The tenth sir Richard Fairey memorial lecture: Sound transmission in buildings [Текст] / M. Heckl // Journal of Sound and Vibration. 1981. No. 2, Vol. 77. P. 165–189.
 17. Produkt und systemkatalog [Текст] : GEBR. KNAUF WEST-DEUTSHEGIPSWERKE. – Ihhofen : [s. n.], 1998. – 146 s.
 - 200603908; declaration 10.04.2006; published 15.12.2006, Bul. No. 12. 4 p. (in Ukrainian)
 7. Patent 87948 Ukraine, MPK E04C 2/26. Soundproof partition / Prishchenko, M. G.; Trohymenko, M. P.; Chernysheva T. O.; applicant and patentee Prishchenko, M. G.; Trohymenko, M. P.; Chernysheva T. O. No. u 2013 11016; declaration 16.09.2013; published 25.02.2014, Bul. No. 4. 4 p. (in Ukrainian)
 8. Patent 87949 Ukraine, MPK E04C 2/26. Soundproof partition / Prishchenko, M. G.; Trohymenko, M. P.; Chernysheva T. O.; applicant and patentee Prishchenko, M. G.; Trohymenko, M. P.; Chernysheva T. O. No. u 2013 11017; declaration 16.09.2013; published 25.02.2014, Bul. No. 4. 4 p. (in Ukrainian)
 9. Sedov, M. S. The theory of inertial passage of a sound through the building envelope. In: *News of Higher Educational Institutions. Series: Civil Engineering and Architecture*, 1990, No. 2, pp. 37–42. (in Russian)
 10. Sedov, M. S. Own waves and vibrations of free rectangular plates. In: *News of Higher Educational Institutions. Series: Civil Engineering*, 1999, No. 5, pp. 27–31. (in Russian)
 11. SP 23-103-2003. Projection of sound insulation of separating constructions in domestic and public buildings. Moscow: FGUP TsPP, 2004. 43 p. (in Russian)
 12. Startseva, O. V.; Ovsyannikov, S. N. Theoretical and experimental researches of sound insulation of partitions. In: *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*, 2013, No. 2, pp. 176–184. (in Russian)
 13. Chernysheva, T. O. Sound-proof properties of double partitions of the thin gypsum board panels of different thickness. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2008, Issue 2008–6 (74): The problems of city planning and architecture, pp. 94–97. (in Russian)
 14. Craik, R. J. M. Non-resonant sound transmission through double walls using statistical energy analysis. In: *Appl. Acoust.*, 2003, Vol. 64, No. 3, pp. 325–341.
 15. Fasold, W.; Veres, E. Shallschutz und Raumakustik in der Praxis. Berlin: Verlag fur Bauwesen, 1998. 376 p.
 16. Heckl, M. The tenth sir Richard Fairey memorial lecture: Sound transmission in buildings. In: *Journal of Sound and Vibration*, 1981, No. 2, Vol. 77, pp. 165–189.
 17. Produkt und systemkatalog: GEBR. KNAUF WEST-DEUTSHEGIPSWERKE. Ihhofen, 1998. 146 p.

Чернышева Тамара Александровна – старший преподаватель кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: звукоизоляция легких многослойных ограждений; проектирование зданий.

Космин Геннадий Тимофеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: строительная и архитектурная акустика.

Прищенко Николай Григорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: строительная физика, проектирование зданий.

Чернишева Тамара Олександрівна – старший викладач кафедри архітектури промислових і цивільних будівель ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: звукоізоляція легких багатошарових огорожень; проектування будівель.

Космін Геннадій Тимофійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри архітектури промислових і цивільних будівель ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: будівельна і архітектурна акустика.

Пріщенко Микола Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри архітектури промислових і цивільних будівель ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: будівельна фізика, проектування будівель.

Chernysheva Tamara – senior lecturer, Architecture of Industrial and Civil Buildings Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: sound insulation of light multi-layer fences; designing of buildings.

Kosmin Gennady – Ph.D. (Engineering), Associate Professor; Architecture of Industrial and Civil Buildings Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: building and architectural acoustics.

Prishchenko Nikolai – Ph.D. (Engineering), Associate Professor; Architecture of Industrial and Civil Buildings Department Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: building physics, designing of buildings.