

На правах рукописи



ИВАНОВА АНАСТАСИЯ ВЛАДИМИРОВНА

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ВИБРОПОГЛОЩЕНИЕМ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ
ДВОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СЛОИСТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Специальность 2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Вологодский государственный университет»

Научный руководитель: **Шубин Игорь Любимович**, доктор технических наук, член-корреспондент РААСН, директор НИИСФ РААСН.

Официальные оппоненты: **Антонов Александр Иванович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Архитектура и строительство зданий» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»;

Гречишкин Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Городское строительство и архитектура» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства».

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».**

Защита диссертации состоится «___» _____ 2023 г. в ___ часов ___ минут на заседании диссертационного совета 39.1.001.01 при ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» по адресу: 127328, г. Москва, Локомотивный проезд, 21, светотехнический корпус, тел.: (495) 482-40-76, факс: (495) 482-40-60, e-mail: niisf@niisf.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-методическом фонде НИИ строительной физики РААСН и на сайте <http://niisf.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Шмаров Игорь Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Создание акустического комфорта в помещениях жилых и общественных зданий является одной из важнейших задач в области строительства. При ее решении во многих случаях необходимо обеспечивать изоляцию шума, проникающего в помещения через ограждающие конструкции. Одним из основных способов снижения проникающего шума является устройство звукоизолирующих конструкций. С целью экономии средств на их устройство конструкции должны иметь относительно небольшую массу и толщину, обеспечивая тем самым минимальный расход материалов. По этой причине в практике строительства в качестве звукоизолирующих конструкций широко применяются каркасно-обшивные перегородки. Практика применения таких перегородок показывает возможность повышения их звукоизоляции за счет использования в них слоистых элементов и повышения поглощения звука во внутреннем пространстве перегородок. В этом случае, путем регулирования конструктивных параметров перегородок и целенаправленного изменения физико-механических характеристик их материалов, возможно получать конструкции с более высокой звукоизолирующей способностью. Таким образом, разработка методики проектирования акустически эффективных двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов путем регулирования их параметров и оценки влияния изменений этих параметров на звукоизолирующую способность является актуальной научно-практической задачей в области гражданского строительства.

Степень разработанности темы. В настоящее время выполнены теоретические и экспериментальные исследования слоистых элементов с вибропоглощением как отдельных ограждений, так и в составе легких конструкций. Г.М. Авиловой, Н.И. Наумкиной, В.И. Юлиным были исследованы слоистые конструкции из тонких металлических листов, склеенных вибропоглощающей мастикой. Исследования слоистых элементов с вибропоглощением, устроенных из различных строительных материалов, были также выполнены А.А. Кочкиным и Л.Э. Шашковой. Анализ выполненных исследований показал, что были рассмотрены не все возможные конструктивные приемы и способы повышения звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов с вибропоглощением и звукопоглощающими материалами внутри ограждений. В связи с этим необходимо более широкое проведение комплекса теоретических и экспериментальных исследований влияния слоистых элементов и звукопоглощающих материалов на процессы прохождения звуковой энергии через двойные ограждения и, соответственно, на величину их звукоизоляции.

Целью диссертационной работы является разработка на основе теоретических и экспериментальных исследований методики регулирования параметров двойных звукоизолирующих ограждений из слоистых элементов с листами, соединенными «насухо» или склеенными вибропоглощающей мастикой с пустым воздушным зазором и при его заполнении звукопоглощающим материалом.

Основные задачи работы: разработать акустически эффективные двойные звукоизолирующие конструкции из слоистых элементов с листами, соединенными «насухо» или склеенными вибропоглощающей мастикой с воздушным зазором

и при его заполнении звукопоглощающим материалом; на основе теории самосогласования звуковых полей помещений и вибрационных полей исследовать прохождение и излучение звука двойными ограждающими конструкциями из слоистых элементов с листами, соединенными «насухо» или склеенными вибропоглощающей мастикой с воздушным зазором и при его заполнении звукопоглощающим материалом; разработать метод расчета звукоизоляции, позволяющий на стадии проектирования оценить влияние различных параметров двойных ограждений из слоистых элементов на их акустическую эффективность; исследовать экспериментально влияние конструктивных и физико-механических параметров слоистых элементов на звукоизоляцию двойных ограждающих конструкций; разработать рекомендации по применению двойных ограждений из слоистых элементов с листами, соединенными «насухо» или склеенными вибропоглощающей мастикой с воздушным зазором и при его заполнении звукопоглощающим материалом с учетом обеспечения нормативных требований изоляции воздушного шума в гражданских зданиях различного назначения.

Научную новизну работы составляют:

- результаты теоретических исследований прохождения и излучения звука двойными ограждениями из слоистых элементов;
- результаты экспериментальных исследований влияния конструктивных и физико-механических параметров на звукоизоляцию двойных ограждений из слоистых элементов с листами, соединенными «насухо» или склеенными вибропоглощающей мастикой с воздушным зазором и при его заполнении звукопоглощающим материалом;
- научно и экспериментально обоснованная методика разработки новых конструктивных решений двойных ограждений из слоистых элементов, имеющих более высокую акустическую эффективность за счет регулирования их параметров без увеличения поверхностной плотности и толщины ограждения;
- метод расчета звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов;
- теоретически и экспериментально обоснованные рекомендации по применению двойных звукоизолирующих ограждений из слоистых элементов в гражданских зданиях.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

- предложенная теоретически и экспериментально обоснованная методология проектирования повышения звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов позволяет оценить влияние различных физико-механических, конструктивных и геометрических параметров ограждения на их звукоизоляцию. Это дает возможность более целенаправленно проектировать эффективные звукоизолирующие конструкции;
- разработанные новые рациональные конструктивные решения двойных ограждений из слоистых элементов позволяют за счет повышения их звукоизоляции увеличить область их применения в жилых и общественных зданиях.

Научная методология решения задач и методы исследования. В работе выполнены теоретические и экспериментальные исследования прохождения звуко-

вой энергии через двойные ограждающие конструкции из слоистых элементов с вибропоглощением. Теоретические исследования выполнены на основе теории М.С. Седова о самосогласовании звуковых полей и вибрационных полей ограждений применительно к слоистым элементам с вибропоглощением. Экспериментальные исследования выполнены в больших реверберационных помещениях Вологодского государственного университета с применением прецизионной акустической аппаратуры фирмы «Брюль и Кьер».

Положения, выносимые на защиту: теоретические исследования прохождения звука через двойные ограждающие конструкции из слоистых элементов с учетом физико-механических, конструктивных и геометрических параметров ограждения; результаты экспериментальных исследований двойных ограждений из слоистых элементов, выполненных с целью оценки влияния конструктивных и физико-механических параметров на звукоизоляцию ограждений; метод расчета звукоизоляции двойных ограждений из слоистых элементов, учитывающий физико-механические характеристики материалов, конструктивные и геометрические параметры ограждения; рекомендации по применению двойных ограждений из слоистых элементов с учетом обеспечения нормативных требований изоляции воздушного шума в гражданских зданиях различного назначения.

Степень достоверности результатов. Теоретические исследования двойных ограждений из слоистых элементов выполнены на основе теории самосогласования волновых полей М.С. Седова, широко используемой при расчете и проектировании легких звукоизолирующих конструкций.

Допущения, использованные при теоретических исследованиях и разработке метода расчета, общеприняты в работах как российских, так и зарубежных авторов. Достоверность результатов подтверждается сравнительным анализом расчетных и экспериментальных данных. Расчетные значения звукоизоляции исследованных двойных ограждений получены путем компьютерной реализации разработанного в диссертации метода расчета.

Апробация работы. Материалы диссертации обсуждались на: международных научных конференциях – VII–X, XIII, XIV Академические чтения, посвященные памяти академика Г.Л. Осипова, «Актуальные вопросы строительной физики. Энергосбережение. Надежность строительных конструкций и экологическая безопасность» (Москва, 2016–2019, 2022, 2023 гг.), Всероссийских научных конференциях – XIV–XVI «Вузовская наука – региону» (Вологда, 2016–2018 гг.), Всероссийских научно-технических конференциях – «Актуальные вопросы развития строительной отрасли, экологической и промышленной безопасности» (Вологда, 2020, 2022 гг.), 4–7 международных научно-практических конференциях «Устойчивое развитие региона: Архитектура, строительство, транспорт» (Тамбов, 2017–2020 гг.).

Область исследования соответствует паспорту научной специальности 2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения: п. 8 «Разработка новых и совершенствование рациональных типов несущих и ограждающих конструкций, конструктивных решений зданий и сооружений с учетом протекающих в них процессов, природно-климатических условий, механической, пожарной и экологической безопасности»; п. 9 «Разработка и развитие теоретических основ и методов

расчета ограждающих конструкций зданий и сооружений с учетом природно-климатических, теплофизических, светотехнических, акустических и иных условий».

Реализация результатов работы. Исследования проводились совместно с Научно-исследовательским институтом строительной физики РААСН при выполнении госбюджетной НИР по направлению 7 «Развитие теоретических основ строительных наук», раздел 7.3 «Строительная физика и энергоэффективные инженерные системы. Обеспечение безопасной и комфортной среды проживания населения», подраздел 7.3.4 «Создание комфортной звуковой среды в зданиях с использованием слоистых элементов с вибропоглощением». Запатентованные двойные ограждения из слоистых элементов с вибропоглощением используются в качестве перегородок в помещениях жилых и общественных зданий. По разработанному алгоритму расчета выполнено проектирование конструктивных решений двойных ограждений с целью соблюдения нормативных значений звукоизоляции внутриквартирных перегородок в жилых домах и перегородок в смежных помещениях офисов различных фирм города Вологды. Программа для реализации расчета внедрена в практику проектирования в ООО «ВЦКПиО». Полученные результаты применяются в ВоГУ при обучении магистров, специалистов и бакалавров по направлению подготовки «Строительство».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 работ, из которых 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК, в том числе 1 статья в журнале, входящем в международную базу данных «Scopus», зарегистрировано 3 патента в федеральной службе по интеллектуальной собственности и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка условных обозначений, списка литературы из 136 наименований и 3 приложений. Общий объем диссертации – 154 страницы. Основной текст, включая рисунки и таблицы, изложен на 118 страницах, объем приложений – 16 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы.

В первой главе рассмотрены внутренние двойные ограждения зданий с позиций их соответствия нормам по звукоизоляции, выполнена оценка возможного повышения их звукоизоляции за счет совершенствования конструктивных решений.

Показано, что наиболее рациональным способом повышения звукоизоляции двойных ограждений является регулирование параметров слоистых элементов с вибропоглощением и эффективного заполнения зазора между ними звукопоглощающим материалом. Достоинством способа является высокий рост звукоизоляции при минимальном увеличении массы и толщины ограждения. В настоящее время нет достаточного объема исследований влияния слоистых элементов с вибропоглощением на изменение звукоизоляции двойных ограждений с учетом их параметров. Данные конструкции имеют особенности процесса прохождения через них звуковой энергии, по этой причине при их разработке и оценке их акустической эффективности необходимо использовать определенные теоретические модели.

В главе дан анализ современных теоретических и экспериментальных исследований звукоизоляции двойных ограждений. Такими исследованиями занимались Л. Беранек, И.И. Боголепов, Л.А. Борисов, В.И. Заборов, А.П. Юферев, В.Л. Анджелов, А.А. Климухин, В.Н. Бобылев, А.А. Кочкин, Д.В. Монич, С.Н. Овсянников, Н.А. Минаева, М.А. Пороженко, В.В. Дымченко.

В работах отмечено, что звукоизоляция двойных ограждений зависит от поверхностной плотности слоистых элементов, величины воздушного зазора (ВЗ), его заполнения звукопоглощающим материалом (ЗПМ), шага и геометрических характеристик стоечных профилей.

На основе анализа установлено следующее. Звукоизоляция двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов зависит от физико-механических характеристик слоев и конструктивных решений ограждения (способов соединения элементов друг с другом, способов соединения листовых материалов между собой, толщины воздушного зазора и его заполнения звукопоглощающим материалом) и других значимых факторов. Теоретические исследования по повышению звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов с вибропоглощением возможно выполнить на основе теории М.С. Седова о согласовании звуковых полей помещений и волновых полей ограждений с учетом конечности размеров и условий закрепления элементов, физико-механических характеристик материалов элементов и других параметров. Для подтверждения достоверности теоретической модели и изучения влияния различных параметров ограждения на звукоизоляцию необходимо проведение экспериментальных исследований двойных ограждений из слоистых элементов.

На основании поставленной цели работы и необходимых для ее достижения решаемых задач в главе определены основные направления исследований.

Во второй главе с использованием теории М.С. Седова о самосо согласовании звуковых полей перед ограждением и за ним с волновым полем самого ограждения рассмотрены процессы прохождения звука в двойном ограждении из слоистых элементов. При исследовании прохождения звука через двойное ограждение с учетом его реальных размеров показано, что прохождение звуковой энергии через него зависит от частотного диапазона. Наиболее низкое прохождение звука наблюдается в области простых пространственных резонансов (ПрПР), более высокое – при неполных пространственных резонансах (НПР) и наибольшее – при полных пространственных резонансах (ППР). Определены выражения для граничных частот этих областей:

- граничная частота ПрПР определяется выражением

$$f_{\Gamma m_0 n_0} = c_0 / 4a, \quad (1)$$

где c_0 – скорость звука в воздухе, м/с; a – длина ограждения, м;

- граничная частота НПР определяется из выражений

$$f_{\Gamma mn_0} = \frac{k_{\Gamma mn_0}^2}{2\pi} \sqrt{\frac{(FN - TLh_3)k_{\Gamma mn_0}^2 + (F + T)S}{m'_3(Nk_{\Gamma mn_0}^2 + S)}}, \quad (2)$$

$$f_{\Gamma_{m_0 n}} = \frac{k_{\Gamma_{m_0 n}}^2}{2\pi} \sqrt{\frac{(FN - TLh_3)k_{\Gamma_{m_0 n}}^2 + (F + T)S}{m'_3(Nk_{\Gamma_{m_0 n}}^2 + S)}}, \quad (3)$$

где $k_{\Gamma_{mn_0}}, k_{\Gamma_{m_0 n}}$ – волновые числа; F, N, T, L, S – жесткостные параметры слоистого элемента; $m' = m'_1 + m'_3$ – поверхностная плотность двойной ограждающей конструкции, кг/м²; h_3 – половина толщины промежуточного вибропоглощающего слоя.

При этом за значение частоты НПР принимается наименьшее из значений, определенных по формулам (2) и (3);

- граничный полный пространственный резонанс (ППР) принимается с достаточной точностью равным граничной частоте волнового совпадения

$$f_{\Gamma} = f_{\Gamma_{mn}} = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{Nm'_3 c_0^2 - (F + T)S + \sqrt{[Nm'_3 c_0^2 - (F + T)S]^2 + 4m'_3 c_0^2 S(FN - TLh_3)}}{2(FN - TLh_3)}}. \quad (4)$$

Расчетная модель прохождения звука через двойное ограждение из слоистых элементов показана на рисунке 1.

Звукоизоляция ограждения определяется по формуле:

$$R = 10 \lg \frac{W_{пад}}{W_{изл}}, \quad (5)$$

где $W_{пад}$ – мощность падающих звуковых волн; $W_{изл}$ – излучаемая (передаваемая через ограждение) акустическая мощность.

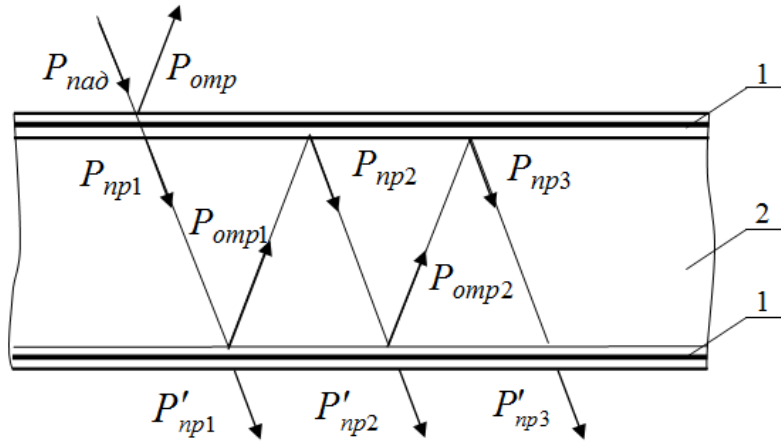


Рисунок 1 – Расчетная модель рассматриваемой конструкции:
1 – слоистый элемент, 2 – воздушный зазор

$$W_{пад} = \frac{abp^2}{4\rho_0 c_0}, \quad (6)$$

где b – ширина ограждения, м; p – суммарное амплитудное звуковое давление в падающей волне; $\rho_0 c_0$ – характеристический импеданс воздушной среды, кг/м² · с.

Для области ППР величина энергии, излучаемая ограждением, определяется выражением:

$$W_{изл} = \rho_0 c_0 ab \pi p^2 \bar{S} (\cos 2\theta_e - \cos 2\theta_n) Y \Phi_d^2 / 8 \eta \omega_{mn} \Delta \omega, \quad (7)$$

где $\bar{S}$ – коэффициент звукоизлучения, усредненный в полосе Δf ; θ_e, θ_n – угол падения звуковой волны, град; Y – добавка, учитывающая поверхностные плотности m'_1 и m'_3 , формула (9); Φ_d – добавка, учитывающая расстояние между слоистыми элементами, формула (10); η – коэффициент потерь слоистых элементов; $\Delta\omega_{mn}$ – частотный интервал, в котором определяющий вклад в результирующее движение пластин принадлежит mn -му резонансу; ω_{mn} – среднегеометрическая величина между круговыми частотами низшего и высшего резонансов в том же интервале.

Тогда

$$R = 10 \lg \frac{2\eta\omega_{mn}\Delta\omega}{(\rho_0 c_0)^2 \pi \bar{S} (\cos 2\theta_e - \cos 2\theta_n) Y \Phi_d^2}, \quad (8)$$

$$Y = \frac{1}{(m'_1 + m'_3)^2} + \frac{0,022}{(0,176m'_1 + 0,306m'_3)^2}, \quad (9)$$

$$\Phi_d = \cos\left(4\pi d^2 f_n f_e / c_0^2\right), \quad (10)$$

где d – расстояние между слоистыми элементами, м; f_n, f_e – нижняя и верхняя частоты полосы анализа, Гц.

Для диапазона частот, которые соответствуют области НПР, величина излучаемой акустической мощности слоистого элемента в составе двойной ограждающей конструкции определяется соотношением:

$$W_{изл} = \frac{\rho_0 c_0}{2} \frac{4f_e \cos \theta_e ab}{\pi^2 \Delta f} \left[\bar{V}_{mn_0}^2 m_e \frac{n_{cp}^2}{(n_{cp}^2 - n_e'^2)^2} + \bar{V}_{m_0 n}^2 n_e \frac{m_{cp}^2}{(m_{cp}^2 - m_e'^2)^2} \right] \cdot \Phi_d^2, \quad (11)$$

где $\Delta f = f_e - f_n$, Гц; $\bar{V}_{mn_0}^2, \bar{V}_{m_0 n}^2$ – усредненное значение квадрата колебательной скорости ограждения в интервале Δf ; m_e, n_e – номера форм собственных колебаний пластины, соответствующих частоте f_e ; m_{cp}, n_{cp} – номера резонансов, соответствующих среднегеометрической частоте полосы Δf . Тогда

$$R = 10 \lg \frac{2,8m_1'^2 \eta f_{mn_0 cp} \Delta f}{10^4 \bar{S} \left[1 - \frac{f_{cp}^2}{f_e^2} \right]} - \Delta, \quad (12)$$

где $f_{mn_0 cp}$ – средняя частота полосы в области НПР; $f_{cp} = \sqrt{f_n \cdot f_e}$; Δ – добавка, учитывающая толщину воздушного зазора или звукопоглощающего материала:

$$\Delta = 10 \lg \cos^2 \left(\frac{4\pi d^2 f_n f_e}{c_0^2} \right). \quad (13)$$

Для области ПрПР значение излучаемой акустической мощности запишем как:

$$W_{изл} = \frac{\rho_0 c_0}{2} \frac{\pi}{32} ab \left[1 - \left(\frac{f_{cp}}{f_e} \right)^2 \right] \frac{p^2 \bar{S}}{m_1' \Delta \omega_{m_0 n_0 cp} \eta} \cdot \Phi_d^2. \quad (14)$$

Расчетная формула для определения величины звукоизоляции в этом случае имеет вид:

$$R = 10 \lg \frac{1,14 m_1'^2 f \Delta f \eta}{\left[1 - f_{cp}^2 / f_s^2\right] \bar{S} \Phi_d^2} \quad (15)$$

В третьей главе приведена методика и результаты экспериментальных исследований в больших реверберационных помещениях ВоГУ по оценке влияния конструктивных параметров и физико-механических характеристик материалов на звукоизолирующую способность двойных ограждений из слоистых элементов.

Установка состоит из двух помещений соответственно низкого (ПНУ) и высокого (ПВУ) уровней. Максимальные размеры проема – 3,6×2,5 м. Это позволяет производить исследования на крупномасштабных фрагментах двойных ограждений. Граничная частота диффузности звукового поля для ПВУ – 152 Гц, ПНУ – 187 Гц. При измерениях звукоизоляции образцов использовано электроакустическое оборудование, состоящее из всенаправленного источника звука 4292-L компании *Brüel & Kjaer*, усилителя *MAKRO 1400* и двухканального модульного анализатора 2260 компании *Brüel & Kjaer*. При исследовании двойных ограждений из слоистых элементов ограждающая конструкция монтировалась в проем с креплением, имитирующим шарнирное соединение. Заделка зазора между двойным ограждением и проемом выполнялась гипсовым раствором.

При расчетах звукоизолирующей способности двойных конструкций необходимы сведения о динамических характеристиках материалов слоистых элементов с вибропоглощением: динамическом модуле упругости и коэффициенте потерь. Динамические характеристики материалов определялись с использованием приборов российского производства по методике, предложенной в ГОСТ 16297-80 и с помощью резонансного метода.

Разработана программа для выполнения экспериментальных исследований по оценке влияния конструктивных параметров и физико-механических характеристик слоев конструкции на звукоизоляцию ограждений.

Для выявления эффективности различных конструктивных решений экспериментальные исследования проводились на фрагментах двойных ограждений из слоистых элементов с листами, соединенными «насухо» или склеенными вибропоглощающей мастикой (ВПМ). В качестве ВПМ использовали мастики Грин Глу, Акцент-117 и эпоксидную смолу. Изучались конструктивные решения со слоистыми элементами из ГКЛ, ЦСП, ОСП, различающимися между собой по поверхностной плотности, толщине и физико-механическим характеристикам. Все исследования выполнялись для случаев воздушного зазора (ВЗ) и при заполнении его ЗПМ Роквул Акустик Баттс и Isover «Тихий Дом» с плотностью 45 и 15 кг/м³ соответственно толщиной 25, 50, 75, 100 или 125 мм.

На начальном этапе экспериментальных исследований была выполнена оценка влияния вида линейного крепления слоистых элементов между собой на звукоизоляцию двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов (рисунки 2). Исследованы два вида линейного соединения: жесткое и виброизолированное. Установлено, что вид связи между слоистыми элементами оказывает влияние на передачу звуковой энергии через ограждения и, соответственно, на

изменение ее звукоизолирующей способности (см. таблицу 1). При жестком креплении наблюдается снижение звукоизоляции за счет наличия звуковых мостиков, при виброизолированном креплении передача энергии через него существенно ниже. Степень влияние вида крепления на звукоизоляцию зависит от внутренних потерь слоистых элементов. Чем выше коэффициент потерь слоистых элементов, тем меньше влияние вида крепления элементов.

Так как в работе исследуются конструкции из слоистых элементов с вибропоглощением, все дальнейшие экспериментальные исследования выполнялись на образцах двойных ограждений с жестким линейным креплением, что позволит лучше выявить его характеристики при меньших погрешностях, которые могут возникать при виброизолированном креплении.

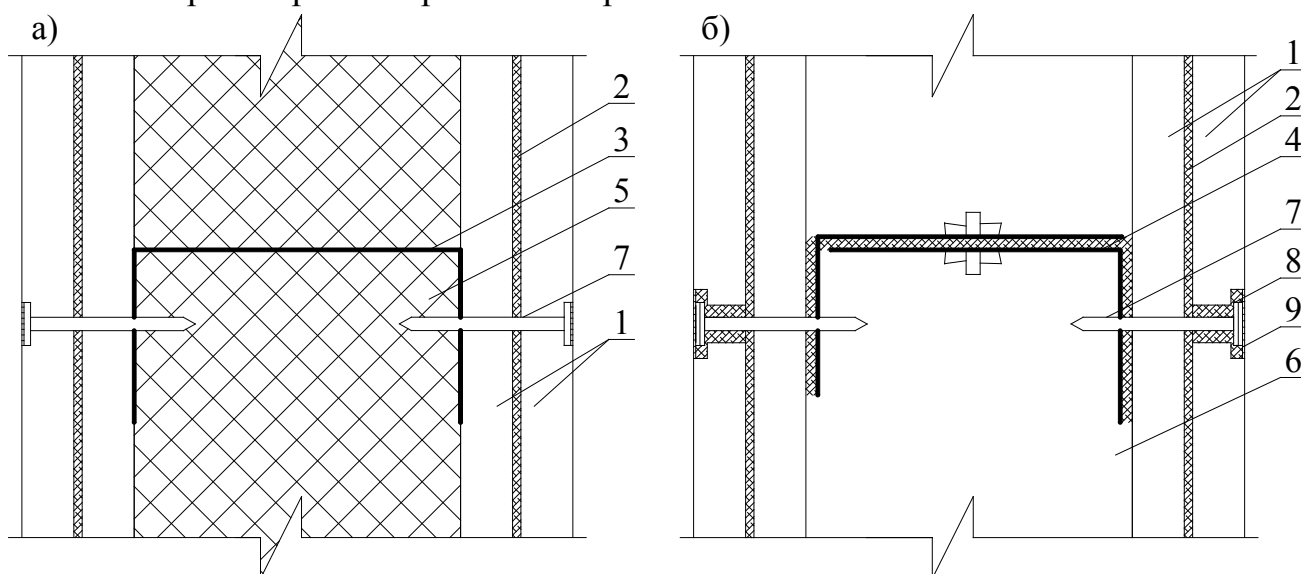


Рисунок 2 – Виды крепления слоистых элементов между собой в двойном ограждении: а – жесткое линейное; б – виброизолированное линейное; 1 – обшивочные листы; 2 – вибропоглощающий материал; 3 – направляющий профиль каркаса; 4 – виброизолированный профиль; 5 – звукопоглощающий материал; 6 – воздушный зазор; 7 – саморез; 8 – шайба, 9 – гипсовый раствор

Таблица 1 – Влияние вида линейного крепления слоистых элементов в ограждении на звукоизоляцию двойного ограждения из слоистых элементов

№ п/ п	Вид крепления слоистых элементов в ограждении	Размер зазора между слоистыми элементами, мм	Вид заполнения зазора	Индекс изоляции воздушного шума R _w , дБ, двойного ограждения из слоистых элементов с листами:	
				соединенными «насухо»	склеенными ВПМ
1	Жесткое линейное крепление	50	ВЗ	45	48
			ЗПМ	51	53
2	Виброизолированное линейное крепление		ВЗ	46	48
			ЗПМ	52	53

Выполнено исследование влияния плотности звукопоглощающего материала на звукоизоляцию двойного ограждения. Исследования производились на двойных ограждениях, состоящих из листов ГКЛ, склеенных вибропоглощающей

мастикой Акцент-117, и листов без мастики, соединенных «насухо» при заполнении воздушного зазора звукопоглощающими материалами Rockwool акустик баттс и Isover «Тихий Дом» с плотностью 45 и 15 кг/м³ соответственно. Рассматривались варианты при толщинах зазора 50 и 100 мм. На основании полученных частотных характеристик звукоизоляции установлено влияние плотности звукопоглощающего материала на звукоизоляцию двойного ограждения. Полученные результаты оценки влияния плотности звукопоглощающего материала на звукоизоляцию приведены в таблице 2.

Полученные результаты исследований показали, что двойное ограждение из слоистых элементов с листами, соединенным «насухо», со звукопоглощающим материалом плотностью 15 кг/м³ толщиной 100 мм имеет индекс изоляции воздушного шума на 1 дБ больше, чем аналогичное ограждение со звукопоглощающим материалом плотностью 45 кг/м³. В остальных ограждающих конструкциях с вибропоглощением и без, при толщине звукопоглощающего материала 100 и 50 мм разница плотности звукопоглощающего материала не оказывает влияние на звукоизоляцию ограждения.

Так как изменение плотности звукопоглощающего материала оказывает незначительное влияние на изменение индекса изоляции воздушного шума, во всех дальнейших экспериментальных исследованиях использовался более дешевый и удобный в монтаже звукопоглощающий материал Rockwool акустик баттс плотностью 45 кг/м³.

Таблица 2 – Влияние плотности звукопоглощающего материала на звукоизоляцию двойного ограждения из слоистых элементов

№ п/п	Плотность ЗПМ, кг/м ³	Размер зазора между слоистыми элементами, мм	Вид заполнения зазора	Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ, двойного ограждения из слоистых элементов с листами:	
				соединенными «насухо»	склеенными ВПМ
1	15	50	ЗПМ	51	53
		100	ЗПМ	57	57
2	45	50	ЗПМ	51	53
		100	ЗПМ	56	57

На следующем этапе произведены исследования влияния размеров зазора между слоистыми элементами на звукоизоляцию двойного ограждения. Использовались ограждения из слоистых элементов, которые состоят из двух листов ГКЛ, склеенных вибропоглощающей мастикой Акцент-117, или листов без мастики, соединенных «насухо». Пространство между элементами в одном случае было без заполнения (ВЗ), в другом заполнялось звукопоглощающим материалом Rockwool акустик баттс с плотностью 45 кг/м³. Размеры ВЗ и ЗПМ между слоистыми элементами в ограждении принимались 25, 50, 75, 100 и 125 мм. В качестве примера на рисунке 3 приведены частотные характеристики звукоизоляции двойных ограждений из слоистых элементов с листами, соединенными «насухо», при различной величине звукопоглощающего материала и аналогичных двойных конструкций со звукопоглощающим материалом толщиной 75 и 100 мм, полученные

другими авторами [В.В. Дымченко, Н.А. Минаева]. Выполненное сравнение частотных характеристик и индексов изоляции воздушного шума аналогичных двойных конструкций из слоистых элементов, полученных нами и другими авторами, показало хорошую схожесть результатов, что подтверждает надежность экспериментальных исследований.

На рисунке 4 приведены графики изменения звукоизоляции исследуемого двойного ограждения из слоистых элементов.

Видно, что при увеличении толщины зазора, как воздушного, так и заполненного звукопоглощающим материалом, от 25 до 100 мм индекс изоляции воздушного шума двойного ограждения увеличивается на 8–9 дБ. При дальнейшем увеличении толщины зазора свыше 100 мм рост звукоизоляции замедляется. Таким образом, с точки зрения роста эффективности звукоизоляции и целесообразности конструктивного решения следует принимать толщину зазора не более 100 мм.

Применение в двойном ограждении слоистых элементов с вибропоглощением в сравнении с элементами из листов, соединенных «насухо», дает значительное повышение звукоизоляции как с воздушным зазором, так и при заполнении его звукопоглощающим материалом. При заполнении зазора между слоистыми элементами звукопоглощающим материалом толщиной свыше 75 мм влияние вибропоглощения на рост звукоизоляции снижается.

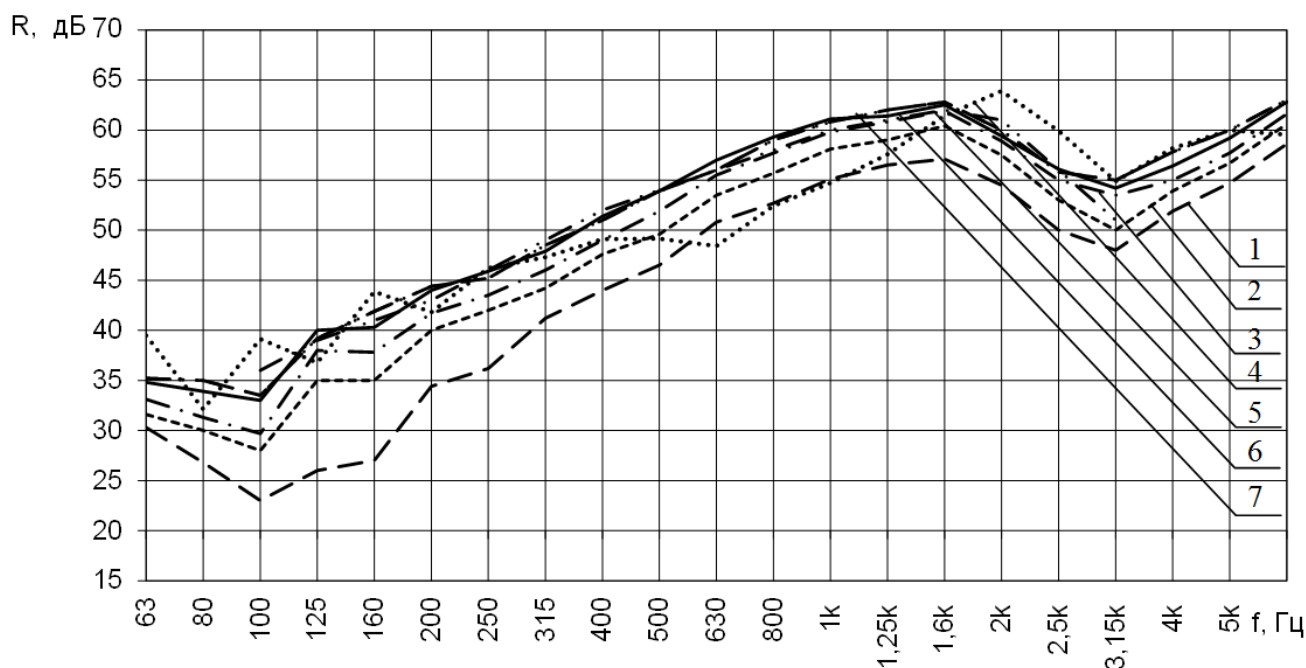


Рисунок 3 – Частотные характеристики звукоизоляции двойного ограждения из слоистых элементов, состоящих из двух ГКЛ

толщиной по 12,5 мм, соединенных «насухо» при изменении толщины ЗПМ:

- 1 – ЗПМ 25 мм, $R_w = 47$ дБ; 2 – ЗПМ 50 мм, $R_w = 51$ дБ; 3 – ЗПМ 75 мм, $R_w = 54$ дБ;
4 – ЗПМ 75 мм, ГВЛ 12,5 мм, $R_w = 54$ дБ [В.В. Дымченко]; 5 – ЗПМ 100 мм, $R_w = 55$ дБ [Н.А. Минаева]; 6 – ЗПМ 100 мм, $R_w = 56$ дБ; 7 – ЗПМ 125 мм, $R_w = 56$ дБ

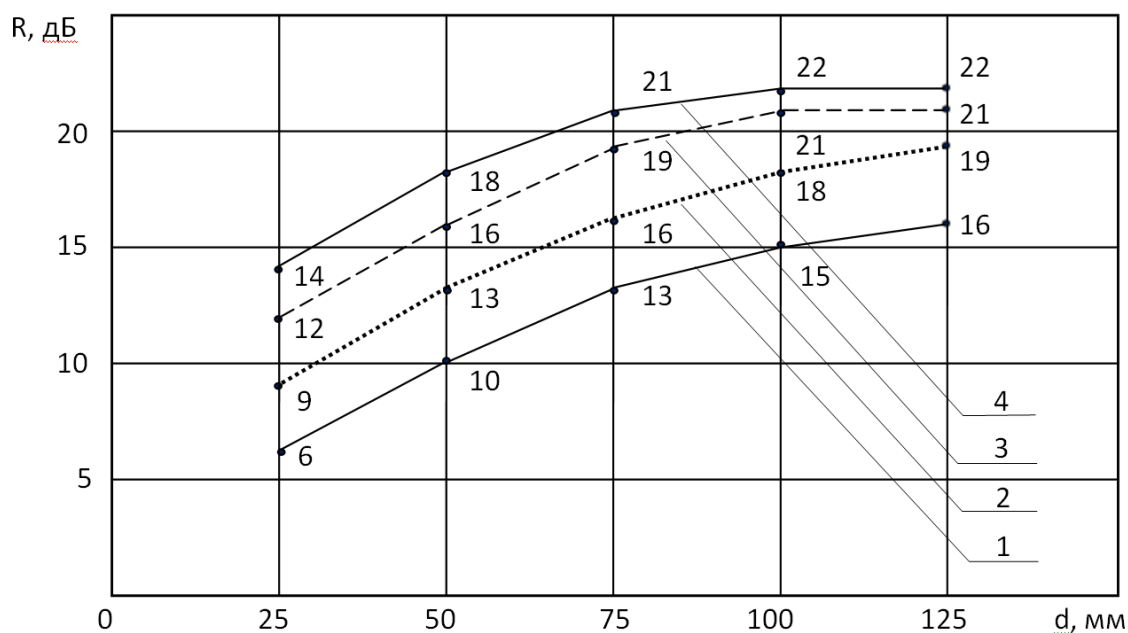


Рисунок 4 – Изменение звукоизоляции двойных ограждений

из слоистых элементов, состоящих из двух ГКЛ толщиной по 12,5 мм, склеенных ВПМ Акцент-117 и соединенных «насухо» при различной величине зазора: 1 – листья, соединенные «насухо» с ВЗ; 2 – листья, склеенные ВПМ с ВЗ; 3 – листья, соединенные «насухо» с ЗПМ; 4 – листья, склеенные ВПМ с ЗПМ

Выполнено исследование влияния площади звукопоглощающего материала на звукоизоляцию двойного ограждения из слоистых элементов. Исследования проводились на ограждениях из слоистых элементов, состоящих из двух листов ГКЛ, склеенных вибропоглощающей мастикой Акцент-117. Зазор между слоистыми элементами в одном случае заполнялся обычным звукопоглощающим материалом толщиной 100 мм, а в двух других – звукопоглощающим материалом с увеличенной площадью поверхности толщиной 50 мм и 50+50 мм. Увеличение площади поверхности звукопоглощающего материала достигается за счет придания ему формы клина с размером клина b равным не более $H/2$, где H – это расстояние между слоистыми элементами с вибропоглощением, также каждый ряд клиньев развернут друг к другу на 90° (рисунок 5).

Частотные характеристики изменения звукоизоляции приведены на рисунке 6. На основании частотных характеристик установлена степень влияния площади звукопоглощающего материала на звукоизоляцию двойного ограждения из слоистых элементов с вибропоглощением. Результаты оценки приведены в таблице 3.

Установлено, что при увеличении площади поверхности звукопоглощающего материала наблюдается повышение звукоизоляции двойного ограждения из слоистых элементов практически во всем нормируемом диапазоне частот (100–3150 Гц) в сравнении с ограждением равной толщины с обычным звукопоглощающим материалом. Создание запатентованных конструктивных решений [19] требует больших временных затрат на изготовление и монтаж, в связи с этим их целесообразно применять при устройстве между помещениями с требуемым нормативных индексом изоляции воздушного шума свыше 57 дБ.

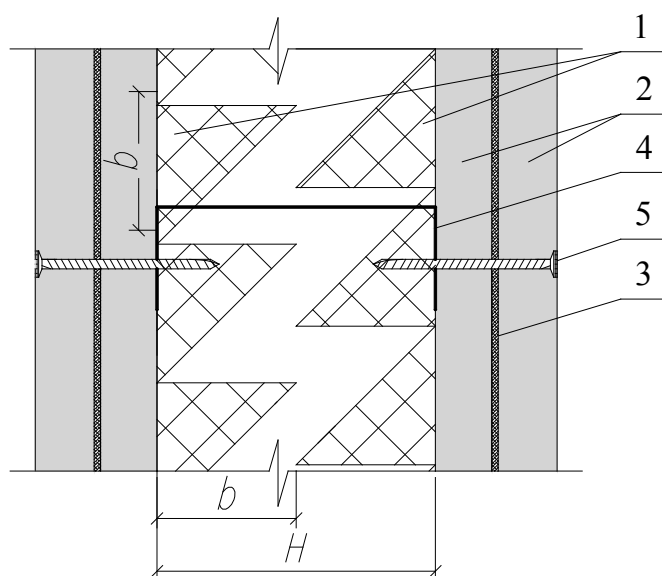


Рисунок 5 – Двойная звукоизолирующая конструкция из слоистых элементов с вибропоглощением: 1 – звукопоглощающий материал клиновидной формы; 2 – обшивочные листы; 3 – вибропоглощающий материал; 4 – направляющий профиль каркаса; 5 – саморез

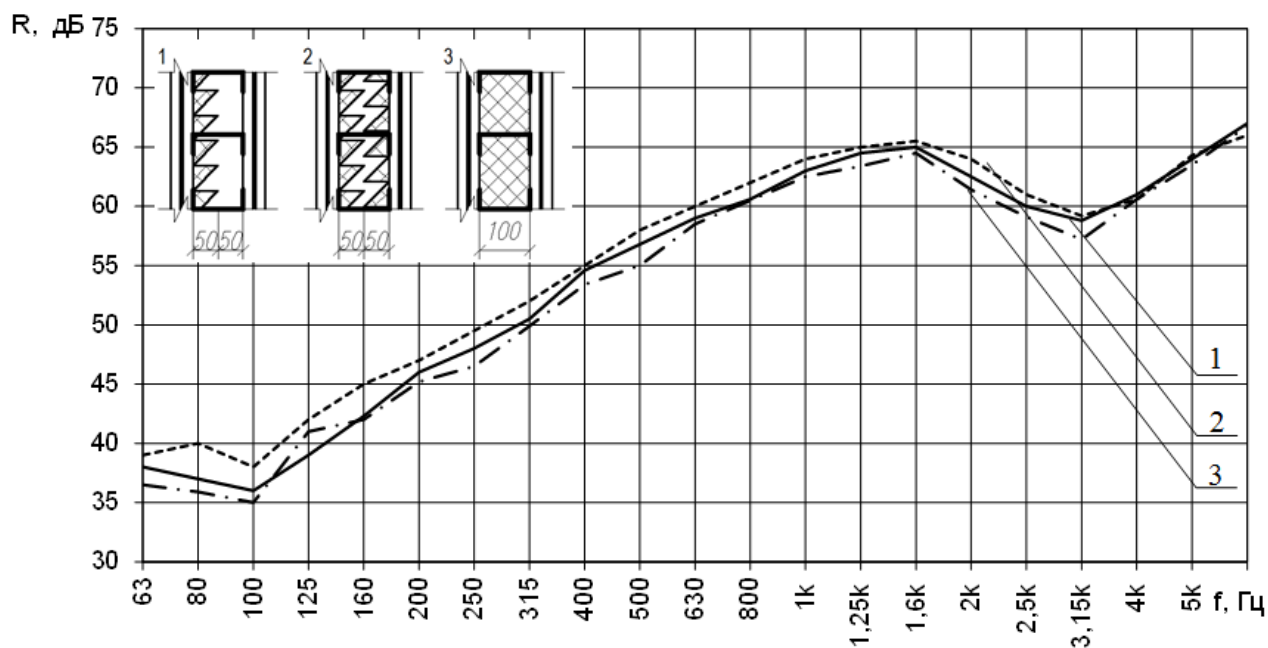


Рисунок 6 – Частотные характеристики звукоизоляции двойного ограждения из слоистых элементов, состоящих из двух ГКЛ толщиной по 12,5 мм, склеенных мастикой Акцент-117 при изменении площади поверхности звукопоглощающего материала: 1 – ЗПМ 50 мм, ВЗ 50 мм, $R_w = 58$ дБ; 2 – ЗПМ 2×50 мм, $R_w = 59$ дБ; 3 – ЗПМ 100 мм, $R_w = 57$ дБ

Таблица 3 – Влияние площади звукопоглощающего материала на звукоизоляцию двойного ограждения из слоистых элементов с вибропоглощением

№ п/ п	Конструкция слоистого элемента	Размер зазора между слоистыми элемента- ми, мм	Вид заполне- ния зазора	Размеры заполнителей зазора, мм	Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ, двойного ограждения из слоистых элементов с вибропоглощением
1	ГКЛ/Акцент-117/ГКЛ	100	ЗПМ / ВЗ	50 / 50	58
2			ЗПМ	50+50	59
3			ЗПМ	100	57

Экспериментально исследовано влияние характеристик ВПМ слоистых элементов на звукоизоляцию двойного ограждения. Исследовались двойные ограждения из слоистых элементов с листами ГКЛ, склеенными ВПМ Грин Глу, Акцент-117 или эпоксидной смолой. Частотные характеристики двойного ограждения из слоистых элементов с листами, склеенными различными материалами и соединенными «насухо», представлены на рисунке 7. В таблице 4 приведены результаты исследований влияния характеристик ВПМ.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о следующем. Двойные ограждения из слоистых элементов с вибропоглощением имеют большую звукоизоляцию (3–5 дБ) по сравнению с аналогичной конструкцией из слоистых элементов с листами, соединенными «насухо», за счет увеличения коэффициента потерь. Так как модуль упругости эпоксидной смолы находится в пределах модуля упругости облицовочных слоев, получается жесткое склеивание гипсокартонных листов между собой, в результате слоистый элемент работает как однослойная конструкция, в связи с этим провал звукоизоляции смещается в область более низких частот и, как следствие, происходит снижение звукоизоляции двойного ограждения. В отличие от эпоксидной смолы, вибропоглощающие мастики Акцент-117 и Грин Глу имеют более высокий коэффициент потерь, а модуль упругости на порядок ниже модуля упругости облицовочных слоев, что позволяет повысить звукоизоляцию двойного ограждения. Влияние на звукоизоляцию двойного ограждения из слоистых элементов вибропоглощающих мастик Акцент-117 и Грин Глу практически не отличается между собой, так как разница коэффициентов потерь у предложенных мастик незначительна. По этой причине рекомендуется использовать более дешевые мастики. В данном случае можно применить вместо мастики Грин Глу мастику Акцент-117.

Выполнено исследование влияния поверхностной плотности слоистых элементов на звукоизоляцию двойного ограждения. Исследования производились на двойных ограждениях из слоистых элементов с листами ГКЛ, ОСП и ЦСП, соединенными между собой через воздушный зазор, а также при заполнении зазора ЗПМ. Конструкции слоистых элементов состояли из двух листов, а в случае элементов с вибропоглощением – из двух листов, соединенных ВПМ Акцент-117. На основании полученных частотных характеристик звукоизоляции установлено влияние материалов слоистых элементов на звукоизоляцию ограждений. Результаты оценки этого влияния представлены в таблице 5.

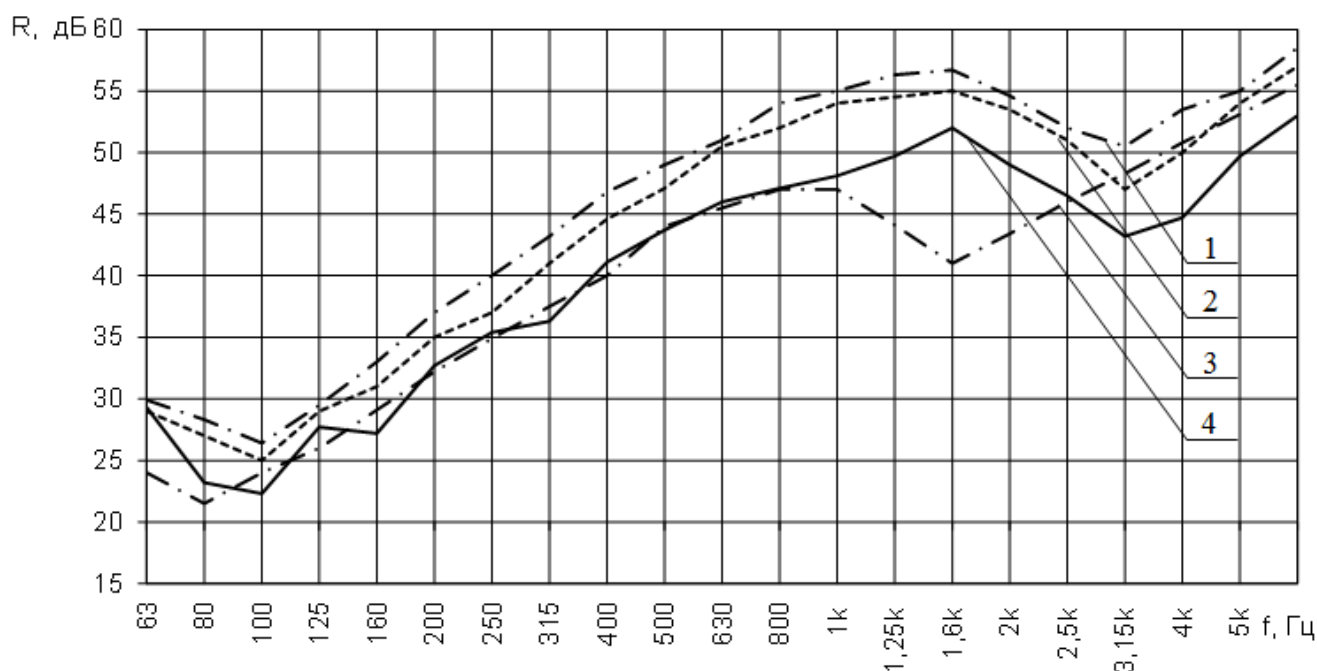


Рисунок 7 – Частотные характеристики звукоизоляции двойного ограждения из слоистых элементов, состоящих из двух ГКЛ толщиной по 12,5 мм, установленных через ВЗ толщиной 50 мм: 1 – листы склеены Грин Глу, $R_w = 50$ дБ; 2 – листы склеены Акцент-117, $R_w = 48$ дБ; 3 – листы склеены эпоксидной смолой, $R_w = 44$ дБ; 4 – листы соединены «насухо», $R_w = 45$ дБ

Таблица 4 – Влияние характеристик ВПМ на звукоизоляцию двойного ограждения из слоистых элементов с вибропоглощением

№ п/п	Размер зазора между слоистыми элементами, мм	Вид заполнения зазора	Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ, двойного ограждения из слоистых элементов с листами:			
			склеенными			соединенными «насухо»
			Грин Глу	Акцент-117	эпоксидной смолой	
1	50	ВЗ	50	48	44	45
		ЗПМ	54	53	49	51

В целом полученные результаты исследований показали следующее:

- увеличение поверхностной плотности слоистых элементов значительно влияет на звукоизоляцию двойных ограждений. Наибольшую звукоизолирующую способность показали двойные ограждающие конструкции из слоистых элементов с листами ЦСП толщиной 12 мм с поверхностной плотностью $30,2 \text{ кг/м}^2$. Рост индекса изоляции воздушного шума составил от 10 до 11 дБ;

- уменьшение толщины листов в ограждениях из слоистых элементов приводит к смещению граничной частоты волнового совпадения в более высокий диапазон частот, что хорошо согласуется с методом расчета по своду правил.

При проектировании двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов необходимо целенаправленно выбирать поверхностную плотность слоистых элементов исходя из требуемого нормативного индекса изоляции воздушного шума конструкции между помещениями.

Таблица 5 – Влияние поверхностной плотности слоистых элементов на звукоизоляцию двойного ограждения из слоистых элементов

№ п/п	Вид материала слоистых элементов	Объемная плотность, кг/м ³	Толщина одного листа, мм	Поверхностная плотность слоистого элемента, кг/м ²	Вид заполнения зазора толщиной 50 мм	Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ, двойного ограждения из слоистых элементов с листами:	
						соединенными «насухо»	склеенными ВПМ
1	ЦСП	1254	12	30,2	ВЗ	52	54
					ЗПМ	56	58
2	ГКЛ	704	12,5	17,6	ВЗ	45	48
					ЗПМ	51	53
3	ГКЛ	606	10	12,2	ВЗ	42	45
					ЗПМ	47	50
4	ОСП	656	9	11,8	ВЗ	41	43
					ЗПМ	46	48

В четвертой главе дана методика расчета и проектирования звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов.

На основании полученных в главе 2 расчетных формул разработан практический метод расчета звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов, позволяющий проектировать повышение звукоизоляции до нормируемых показателей, путем выбора их различных параметров. Для реализации метода разработана программа расчета на ЭВМ «Расчет звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов с вибропоглощением» [20]. С использованием данной программы выполнен расчет двойного ограждения из слоистых элементов, состоящих из двух листов ГКЛ толщиной по 12,5 мм, склеенных вибропоглощающей мастикой Акцент-117 толщиной 1 мм, с воздушным зазором 50 мм.

На рисунке 8 представлены частотные характеристики звукоизоляции двойной ограждающей конструкции, рассчитанной по разработанной программе в сравнении с экспериментальными данными.

Сравнение результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов с вибропоглощением имеет хорошую сходимость, что показывает правильность принятых решений. Полученные расчетные формулы рекомендуются для использования в инженерной практике.

В главе представлены рекомендуемые области эффективного применения двойных ограждений из слоистых элементов в гражданском строительстве, установленные по результатам лабораторных исследований. Приведены примеры практического использования двойных ограждений из слоистых элементов с рациональными конструктивными решениями и учетом нормативных требований индекса изоляции воздушного шума (таблица 6). Учитывая косвенную передачу

звука в натуральных условиях, двойные ограждения подобраны с индексом изоляции воздушного шума больше на 2–3 дБ, чем нормативное значение.

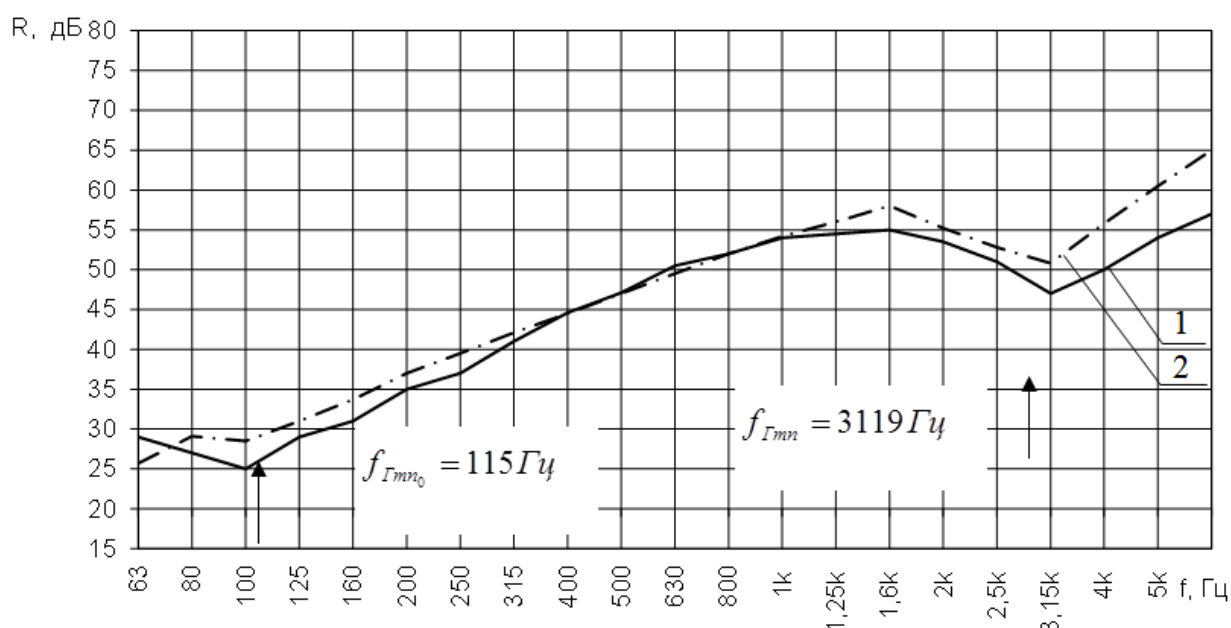
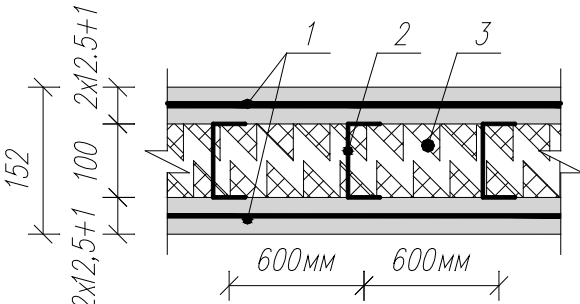


Рисунок 8 – Частотные характеристики звукоизоляции двойного ограждения из слоистых элементов, состоящих из двух листов ГКЛ толщиной по 12,5 мм, склеенных вибропоглощающей мастикой Акцент-117, установленных через ВЗ толщиной 50 мм: 1 – экспериментальная кривая, $R_w = 48$ дБ; 2 – расчетная кривая, $R_w = 49$ дБ

Таблица 6 – Рекомендуемые конструктивные решения двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов

№ п/п	Описание конструктивного решения двойной ограждающей конструкции из слоистых элементов	Индекс изоляции воздушного шума по результатам лабораторных измерений R_w , дБ	Вариант применения ограждения в здании и требуемые нормативные индексы изоляции воздушного шума, R_w , дБ
1	2	3	4
Учебные заведения			
1	1 – два слоя ЦСП, склеенных ВПМ Акцент-117; 2 – профиль ПС50×50; 3 – звукопоглощающий материал	$R_w = 58$ дБ	Стены и перегородки между музыкальными классами средних учебных заведений и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования, $R_w = 55$ дБ

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4
2	 1 – два слоя ГКЛ, склеенных ВПМ Акцент-117; 2 – профиль ПС100×50; 3 – звукопоглощающий материал	$R_w = 59$ дБ	Стены и перегородки между музыкальными классами высших учебных заведений, $R_w = 57$ дБ

В приложениях диссертации приведены: документы о внедрении результатов исследований, патенты и свидетельства о проверке шумомера и калибратора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных экспериментальных и теоретических исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. На основании исследований возможных способов повышения звукоизоляции двойных конструкций из слоистых элементов доказана актуальность регулирования их параметров с целью повышения звукоизолирующей способности.

2. Выполнен анализ прохождения звуковой энергии через двойные ограждения из слоистых элементов на базе теории самосогласования волновых полей. Выведены расчетные формулы для вычисления граничных частот резонансов и формулы для определения звукоизоляции двойного ограждения из слоистых элементов. Установленные зависимости позволяют целенаправленно проектировать двойные ограждения из слоистых элементов путем учета влияния на их звукоизоляцию геометрических и конструктивных параметров ограждения, динамических модулей упругости слоев элементов, коэффициентов потерь материалов, поверхностной плотности.

3. Основываясь на возможных конструктивных приемах, влияющих на звукоизоляцию двойных конструкций, разработан и выполнен комплекс экспериментальных исследований, позволяющий установить уровень влияния параметров конструкций и физико-механических характеристик их материалов на величину звукоизоляции двойных ограждений из слоистых элементов.

4. Экспериментально показана возможность регулирования звукоизолирующих характеристик двойных конструкций из слоистых элементов за счет устройства в них вибропоглощающего слоя, изменения величины зазора между слоистыми элементами, увеличения площади поверхности звукопоглощающего материала и поверхностной плотности слоистых элементов. Полученные зависимости обеспечивают рациональное проектирование двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов.

5. Выполненное сравнение частотных характеристик и индексов изоляции воздушного шума двойных конструкций, полученных нами и другими авторами для аналогичных решений, показало хорошую сходимость результатов, что подтверждает надежность выполненных в работе экспериментальных исследований.

6. Разработан метод расчета звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов с вибропоглощением, учитывающий их геометрические, конструктивные и физико-механические параметры и составлена программа для его реализации. Метод расчета позволяет на стадии проектирования производить выбор и разработку акустически эффективных конструктивных решений двойных ограждений из слоистых элементов.

7. Разработаны рекомендации по применению двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов в гражданских зданиях с учетом нормативных требований по индексу изоляции воздушного шума.

Рекомендации по дальнейшему применению результатов работы:

- разработанные конструктивные решения двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов с вибропоглощением возможно применять при новом строительстве жилых и общественных зданий для выполнения нормативных требований по индексу изоляции воздушного шума, а также при реконструкции в случаях необходимости повышения звукоизоляции существующих ограждений;

- полученные результаты могут использоваться при подготовке методических рекомендаций к своду правил «Конструкции ограждающие жилых и общественных зданий. Правила проектирования звукоизоляции» в разделе 9.5 «Расчет изоляции воздушного шума каркасно-обшивной перегородкой при заполнении воздушного промежутка пористым или пористо-волокнистым материалом».

Перспективы дальнейших исследований. На основе предложенных конструктивных решений двойных ограждений может быть разработана номенклатура и банк данных новых двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов, учитывающих их конструктивные параметры и физико-механические характеристики материалов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России

1. Кочкин, А. А. Исследование звукоизоляции светопрозрачных вибродемпфированных элементов и ограждающих конструкций из них / А. А. Кочкин, Н. А. Кочкин, **А. В. Киряткова** // Строительство и реконструкция. – 2017. – № 3 (71). – С. 68–74.

2. Кочкин, А. А. Исследование изоляции воздушного шума двойными ограждающими конструкциями / А. А. Кочкин, **А. В. Киряткова**, И. Л. Шубин // Бюллетень строительной техники. – 2018. – № 6 (1006). – С. 20–21.

3. Кочкин, А. А. О способе повышения звукоизоляции двойных ограждающих конструкций / А. А. Кочкин, **А. В. Киряткова**, Л. Э. Шашкова, И. Л. Шубин // Бюллетень строительной техники. – 2019. – № 6 (1018). – С. 6–7.

4. **Киряткова, А. В.** Экспериментальные исследования звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов / А. В. Киряткова, А. А. Кочкин, И. Л. Шубин, Л. Э. Шашкова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2020. – №4 (32). – С.73–79.

5. Кочкин, А. А. Способы повышения звукоизоляции ограждающих конструкций зданий / А. А. Кочкин, Л. Э. Шашкова, Н. А. Кочкин, **А. В. Иванова** // Приволжский научный журнал. – 2022. – № 1 (61). – С. 41–51.

6. **Иванова, А. В.** Проектирование звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов с вибропоглощением / А. В. Иванова, Н. А. Кочкин, И. Л. Шубин, А. А. Кочкин // Жилищное строительство. – 2022. – № 6. – С. 3–7.

Публикации в журнале, индексируемом в международной базе данных Scopus

7. Кочкин, А. А. О регулировании звукоизоляции слоистых вибродемпфированных элементов / А. А. Кочкин, И. Л. Шубин, Н. А. Кочкин, **А. В. Киряткова** // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 4 (364). – С. 181–187.

Публикации в других изданиях

8. Кочкин, А. А. Повышение звукоизоляции легких ограждений с применением слоистых вибродемпфированных элементов / А. А. Кочкин, **А. В. Киряткова**, Н. А. Кочкин // Вузовская наука – региону. Материалы XIV Всероссийской научной конференции / Министерство образования и науки Российской Федерации, Правительство Вологодской области, Вологодский государственный университет. – Вологда, 2016. – С. 174–177.

9. **Киряткова, А. В.** О способе повышения звукоизоляции ограждений / А. В. Киряткова, Н. А. Кочкин // Вузовская наука – региону. Материалы XV Всероссийской научной конференции с международным участием / Министерство образования и науки Российской Федерации, Правительство Вологодской области, Вологодский государственный университет. – Вологда, 2017. – С. 23–26.

10. Кочкин, Н. А. Исследование звукоизоляции ограждающих конструкций в реверберационных камерах ВоГУ / Н. А. Кочкин, **А. В. Киряткова** // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт. Материалы 4-й Международной научно-практической конференции / Институт архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета. – Тамбов, 2017. – С. 166–173.

11. **Киряткова, А. В.** Обзор существующих исследований звукоизоляции двойных ограждающих конструкций / А. В. Киряткова, А. А. Кочкин // Вузовская наука – региону. Материалы XVI Всероссийской научной конференции / Министерство образования и науки Российской Федерации, Правительство Вологодской области, Вологодский государственный университет. – Вологда, 2018. – С. 15–16.

12. Кочкин, Н. А. Исследование и повышение звукоизоляции двойной перегородки с использованием слоистого вибродемпфированного элемента на отnose / Н. А. Кочкин, **А. В. Киряткова** // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт. Материалы 5-й Международной научно-практической конференции / Институт архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета. – Тамбов, 2018. – С. 182–185.

13. Кочкин, Н. А. Интерференционный метод измерения акустических характеристик звукопоглощающих материалов / Н. А. Кочкин, **А. В. Киряткова** // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт. Материалы 6-й Международной научно-практической конференции / Институт архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета. – Тамбов, 2019. – С. 272–274.

14. **Иванова, А. В.** Исследование звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов / А. В. Иванова, А. А. Кочкин // Устойчивое развитие региона: Архитектура, строительство, транспорт: Материалы VII-ой Международ. науч.-практ. конф. – Тамбов, 2020. – С. 202–205.

15. **Иванова, А. В.** Практическое использование слоистых элементов с вибропоглощением для повышения звукоизоляции двойных ограждающих конструкций / А. В. Иванова, А. А. Кочкин, И. В. Матвеева // Актуальные вопросы развития строительной отрасли: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Вологодский государственный университет. – Вологда, 2021. – С. 11–14.

16. Кочкин, А. А. Снижение шума в помещениях при эксплуатации и реконструкции зданий / А. А. Кочкин, **А. В. Иванова** // Вестник Вологодского государственного университета. – Вологда, 2021. – № 2 (12). – С. 67–69.

Патенты и свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ

17. Пат. 176345 Российская Федерация, МПК E04C 1/40 (2006.01), E04B 1/82 (2006.01). Звукоизоляционный строительный элемент с вибропоглощением / А. А. Кочкин, И. В. Матвеева, Л. Э. Шашкова, Н. А. Кочкин, **А. В. Киряткова**; заявитель и патентообладатель Вологод. гос. ун-т. – № 2016149061/03(078830); заявл. 13.12.2016; опубл. 17.01.2018, Бюл. № 2. – 6 с.

18. Пат. на полезную модель RU 186418, МПК E04C 1/40. Звукоизолирующая конструкция со слоистым вибропоглощающим элементом на отnose / А. А. Кочкин, И. В. Матвеева, Н. А. Кочкин, **А. В. Киряткова**; заявитель и патентообладатель Вологод. гос. ун-т. – № 2018121362; заявл. 08.06.2018; опубл. 21.01.2019, Бюл. № 3. – 5 с.

19. Пат. 189876 Российская Федерация, МПК E04B 2/00. Двойная звукоизолирующая конструкция с обшивками из слоистых вибропоглощающих элементов со звукопоглощающим материалом / А. А. Кочкин, И. В. Матвеева, **А. В. Киряткова**, Н. А. Кочкин; заявитель и патентообладатель Вологод. гос. ун-т. – № 2011116574/03; заявл. 14.02.2019; опубл. 07.06.2019, Бюл. № 16. – 5 с.

20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660715. Расчет звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов с вибропоглощением / **А. В. Иванова**, Н. А. Кочкин, А. А. Кочкин, И. Л. Шубин. – Заявка № 2021660066; дата поступления 28.06.2021; зарегистрирована 01.07.2021 г.