

*На правах рукописи*

**Чернышева Тамара Александровна**

**КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ЛЕГКИХ  
ОГРАЖДЕНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ**

05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Макеевка – 2019

Работа выполнена на кафедре проектирования зданий и строительной физики Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка.

**Научный руководитель:** кандидат технических наук, доцент  
**Косьмин Геннадий Тимофеевич.**

**Официальные оппоненты:** **Заплетников Игорь Николаевич,**  
доктор технических наук, профессор,  
ГО ВПО «Донецкий национальный университет  
экономики и торговли имени Михаила Туган-  
Барановского», заведующий кафедрой  
оборудования пищевых производств;

**Бармотин Александр Александрович,**  
кандидат технических наук, доцент,  
директор ГП «Донецкий проектно-  
изыскательский институт железнодорожного  
транспорта «Донжелдорпроект».

**Ведущая организация:** ФГАОУ ВО «Крымский федеральный  
университет имени В.И. Вернадского»,  
г. Симферополь.

Защита состоится «6» \_марта\_ 2020\_г. в \_13\_ часов на заседании диссертационного совета Д 01.006.02 ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, 1-й учебный корпус, зал заседаний ученого совета. Тел. факс: +38(062) 343-70-33, e-mail: d01.006.02@donnasa.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123 г. Макеевка, ул. Державина, 2, (<http://donnasa.ru>).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 01.006.02

Радионов Тимур Валерьевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Создание благоприятного акустического режима в здании – одна из актуальнейших проблем современного строительства. Шумы, проникающие в помещения, делятся на внешние и внутренние. К внешним источникам шума относятся: транспорт, промышленные предприятия, игровые площадки и др. К внутренним – инженерное и санитарно-техническое оборудование, бытовые источники шума и т.п. Шум на производстве, в офисных зданиях и в быту наносит большой ущерб, вредно воздействуя на организм человека, снижая производительность труда. Для снижения шума в настоящее время разработаны эффективные строительно-акустические методы, в том числе и метод звукоизоляции. Во многих случаях звукоизоляция строительными конструкциями является наиболее рациональным способом снижения шума, проникающего в помещения из смежных объемов и из внешней среды. Причинами снижения звукоизоляционных характеристик ограждающих конструкций в таких зданиях являются невысокая собственная звукоизоляция, наличие обходных путей распространения звука (подвесной потолок, стыки между конструкциями и др.).

Акустический режим в помещениях в основном зависит от звукоизолирующих и звукопоглощающих качеств его ограждающих конструкций. В строительной практике на смену громоздким, материалоемким и соответственно трудоемким в процессе строительства внутренним ограждающим конструкциям приходят звукоизоляционные многослойные системы легких ограждений, преимущественно из листовых материалов. В частности получили распространение каркасно-обшивные ограждающие конструкции. Они легко монтируются, имеют малый вес и почти сравнимы по мобильности с трансформируемыми перегородками, что обеспечивает свободное проектирование объемно-планировочных решений внутреннего пространства зданий.

Но наряду с обилием положительных качеств при применении таких легких конструкций затруднено выполнение требований звукоизоляции между помещениями, так как одним из основных факторов, определяющих звукоизолирующую способность ограждения, является его масса и поверхностная плотность стеновой конструкции. Существующие в настоящее время конструктивные решения каркасно-обшивных перегородок представляют собой легкие каркасные стеновые конструкции, включающие в себя одинарный или двойной металлический (деревянный) каркас, обшитый одинарным, двойным или тройным слоем гипсокартонных (ГКЛ) или гипсоволокнистых (ГВЛ) листов со звукопоглощающим материалом в воздушной прослойке. Наружные листы обшивок с двух сторон принимаются одинаковой толщины с жестким соединением с каркасом. Современный анализ таких ограждений показывает, что они не обладают достаточной звукоизоляцией в диапазоне средних и высоких частот (630...1250 Гц), вызванной резонансом системы «масса-упругость-масса». Этот недостаток хорошо известен специалистам в области строительной акустики и является одним из сдерживающих факторов широкого внедрения многослойных легких ограждений в практику строительства. Наиболее экономически обоснованным является способ, при котором звукоизоляционные характеристики

ограждения улучшаются без увеличения материалоемкости. Дальнейшим развитием двойных ограждений является разработка многослойных легких конструкций повышенной звукоизоляции, состоящих из обшивок разной поверхностной плотности, в том числе асимметричных каркасных перегородок.

Таким образом, исследования, связанные с разработкой эффективных конструктивных решений асимметричных каркасных перегородок повышенной звукоизоляции на основе базовых каркасно-обшивных перегородок есть актуальная научная задача в области строительной акустики, имеющая важный практический интерес.

### **Связь работы с научными программами, планами, темами.**

Основные исследования теоретического и прикладного характера выполнены в соответствии с государственными научно-исследовательскими темами : К-2-02-06 «Местные правила застройки» № 0107U000097 (2006-2010 гг.); К-2-02-11 «Принципы проектирования современных ограждающих конструкций зданий с учетом уточнений расчетных параметров строительной физики» № 011U008168 (2011-2015 гг.); К-2-02-16 «Энерго - и звукоэффективные конструктивные решения при проектировании и реконструкции зданий» № 011D000258 (2016-2020 гг.); Д-1-01-17 «Разработка концепции создания социального жилья и восстановления объектов инфраструктуры на территориях, пострадавших от военных действий» № 0117D000217 (2017-2018 гг.).

**Цель исследования** – разработать эффективные конструктивные решения асимметричных многослойных легких ограждений повышенной звукоизоляции на основе каркасно-обшивных перегородок.

### **Задачи исследования:**

1. Выполнить критический анализ современных теоретических расчетов и методик, существующих конструктивных решений многослойных легких ограждений с позиции возможности их использования для оценки звукоизоляции асимметричных каркасных перегородок.

2. Исследовать на основе теории В. И. Заборова и определить графоаналитическим методом звукоизоляцию асимметричных каркасных перегородках.

3. Разработать эффективные конструктивные решения звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок с обшивками из гипсокартонных листов.

4. Экспериментально определить частотные характеристики изоляции воздушного шума асимметричными каркасными перегородками с обшивками из гипсокартонных листов. Экспериментально исследовать звукоизоляцию каркасно-обшивных перегородок с креплением гипсокартонных листов к каркасу через их креплением шурупами-саморезами и упругими прокладками на клею.

5. Выполнить технико-экономический анализ применения асимметричных каркасных перегородок.

6. Разработать рекомендации по проектированию конструкций звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок с обшивкой из гипсокартонных листов для применения их в жилых и общественных зданиях, а также вспомогательных зданиях производственных предприятий.

**Объект исследования** – многослойные легкие ограждающие конструкции повышенной звукоизоляции.

**Предмет исследования** – конструктивные решения звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок.

**Научная новизна работы заключается в том, что:**

– впервые получены показатели частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричных каркасных перегородок с обшивками из гипсокартонных листов, обеспечивающие по сравнению с базовыми более высокую акустическую и экономическую эффективность;

– разработаны теоретически и экспериментально обоснованные рекомендации по проектированию типовых технических решений асимметричных каркасных перегородок, позволяющих обеспечить нормативный шумовой режим в помещениях жилых и общественных зданий, а также вспомогательных зданий производственных предприятий.

Новизна и практическая значимость результатов работы подтверждена патентами на полезную модель.

**Теоретическая и практическая значимость работы состоит в:**

– обосновании конструктивных решений звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок с обшивками из гипсокартонных листов при проектировании зданий;

– разработке конструктивных решений звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок с обшивками из гипсокартонных листов, которые позволяют расширить возможность применения этих конструкций в жилых и общественных зданиях, а также вспомогательных зданиях производственных предприятий за счет повышения их звукоизоляции в нормируемом диапазоне частот, при этом уменьшая материальные затраты на их возведение;

– разработке и внедрении методических рекомендаций по проектированию конструкций звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок с обшивками из гипсокартонных листов.

**Методология и методы исследования.**

В работе использовались теоретические и экспериментальные методы исследования. Инженерный расчет выполнялся графоаналитическим методом, в котором используют непосредственные зависимости характеристик звукоизоляции от изменяемых при проектировании параметров конструкций. Достоверность результатов подтверждена на основе сравнительного анализа теоретически и экспериментально полученных данных. Экспериментальные исследования выполнены по стандартной методике ДСТУ Б В.2.6-86:2009 в помещениях для измерений изоляции воздушного шума в натурных условиях лаборатории акустики ГОУ ВПО «ДонНАСА» с использованием электроакустического измерительного стенда «Robotron-Messelektronik».

**Положения, выносимые на защиту.**

1. Результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния разных поверхностных плотностей и количества слоев обшивок на звукоизолирующую способность каркасно-обшивных перегородок.

2. Рекомендации по использованию асимметричных каркасных перегородок при проектировании зданий в зависимости от шумового режима в них.

3. Результаты экспериментальных исследований асимметричных перегородок с устройством вибродемпфирующих соединений в местах крепления каркаса с обшивками

**Личный вклад соискателя** заключается в непосредственном выборе направления исследований, теоретическом обосновании задач, подборе методов исследований, непосредственном участии в выполнении экспериментальной части работы, обработке, анализе, интерпретации и обобщении полученных результатов, а также в формулировании выводов работы. Отдельные составляющие теоретических и экспериментальных исследований, а также внедрение результатов диссертационной работы выполнены с соавторами научных работ, которые изложены в списке публикаций.

**Степень достоверности результатов** подтверждена на основе сравнительного анализа теоретических и экспериментальных данных, полученных в помещениях для измерений изоляции воздушного шума в натурных условиях акустической лаборатории ГОУ ВПО «ДонНАСА». Эксперименты проведены с использованием прецизионной электроакустической аппаратуры.

**Апробация диссертационной работы.** Основные положения диссертации и ее результаты докладывались и обсуждались на: X, XI Международных конференциях молодых ученых, аспирантов, студентов «Здания и конструкции с использованием новых материалов и технологий» (г. Макеевка ДонНАСА, 2011, 2012 г.г.); VII и VIII Республиканских научно-практических конференций «Современное строительство и архитектура. Энергосберегающие технологии» (с международным участием, г. Бендеры, Приднестровье, 2015, 2016 г.г.); Международной научной конференции VII Академические чтения, посвященные памяти академика РААСН Г.Л. Осипова «Техническое регулирование в строительстве. Актуальные вопросы строительной физики» (г. Москва, 2016 г.); I Международном строительном форуме «Строительство и архитектура-2017» (г. Макеевка ДонНАСА, 2017г.).

**Публикации.** Основные научные результаты диссертации опубликованы автором самостоятельно и в соавторстве в 10 научных изданиях, в том числе 5 публикаций – в рецензируемых научных изданиях, 2 публикации – по материалам научных конференций, 3 патента на полезную модель.

Общий объем публикаций – 2, 52 п.л., из которых 1,31 п.л. принадлежит лично автору.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, списка использованной литературы (129 наименований) и приложений. Общий объем работы составляет 215 страниц, в том числе 111 страниц основного текста, 35 полных страниц с рисунками и таблицами, 14 страниц списка использованной литературы, 55 страниц приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснован выбор направления исследований, показана актуальность темы исследований, определены цели и задачи диссертации. Отражены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** анализируется состояние вопроса. Проблемой повышения звукоизоляции реальных ограждающих конструкций зданий и сооружений занимались многие исследователи. В работах И.И. Боголепова, В. П. Гусева, В. И. Заборова, Н. И. Иванова, А. А. Климухина, А. А. Кочкина, В. Г. Крейтана, С. Н. Овсянникова, Г. Л. Осипова, М. С. Седова, Е. Я. Юдина, L. Cremer, A. London, A. Schoch, H. Reisner, K. Gosele, L. L. Beranek, M. Heckl, E. Wintergerst и др. разработаны методы расчета и проектирования различных типов звукоизолирующих ограждений.

К настоящему времени недостаточно исследована проблема влияния изменения соотношения поверхностных плотностей и толщин обшивок из гипсокартонных листов каркасных перегородок на их звукоизолирующие свойства в нормированном частотном диапазоне от 100 до 3150 Гц, что не позволяет рационально проектировать ограждающие конструкции повышенной звукоизоляции. При проектировании практически отсутствуют рекомендации по обеспечению звукоизоляции каркасными перегородками за счет устройства обшивок из разного количества слоев гипсокартонных листов. В научных и нормативных источниках отсутствует информация о характеристиках снижения шума в нормированном диапазоне частот, т.е. о частотных характеристиках изоляции воздушного шума и индексах изоляции воздушного шума асимметричных конструкций. Для эффективного применения в строительстве каркасных перегородок повышенной звукоизоляции с обшивками из гипсокартонных листов необходимо разработать их конструктивные решения. Имеющиеся характерные частотные зависимости звукоизоляции многослойных ограждений положены в основу графоаналитического метода расчета, позволяющего выбрать оптимальное сочетание изменяемых при проектировании характеристик и обеспечить нормативную звукоизоляцию помещений.

В диссертационной работе изучены возможности повышения звукоизоляции каркасно-обшивными перегородками путем использования других конструктивных решений, а именно эффективных звукоизоляционных асимметричных каркасных перегородок и устройством демпфирующих соединений в местах крепления каркаса с обшивками.

Одной из важнейших задач при проектировании новых типов ограждающих конструкций с учетом ресурсосбережения и высокой экономической эффективности является снижение их массы. При этом ограждающие конструкции должны обеспечивать требуемую защиту от шума в помещениях гражданских и промышленных зданий в соответствии с нормативными требованиями. При решении этих задач получили широкое распространение многослойные каркасные конструкции, а именно конструкции звукоизоляционных перегородок поэлементной сборки фирмы КНАУФ. Дальнейшим развитием многослойных ограждений является разработка новых эффективных звукоизоляционных многослойных легких конструкций, в частности асимметричных каркасных перегородок. Одними из

факторов, влияющих на звукоизоляционные свойства таких конструкций, являются материал и толщина обшивок, вид каркаса и способ крепления к нему обшивок, толщина воздушного промежутка между обшивками, наличие и вид звукопоглощающего материала, степень заполнения им промежутка.

В работе предлагаются асимметричные каркасные перегородки (рис. 1), внешние листовые обшивки которых выполнены с разным количеством слоев из ГКЛ с жестким соединением к каркасу из тонкостенного металлического профиля со звукопоглощающим материалом в воздушном промежутке, а также устройством демпфирующих соединений в местах крепления каркаса с обшивками (рис.2).

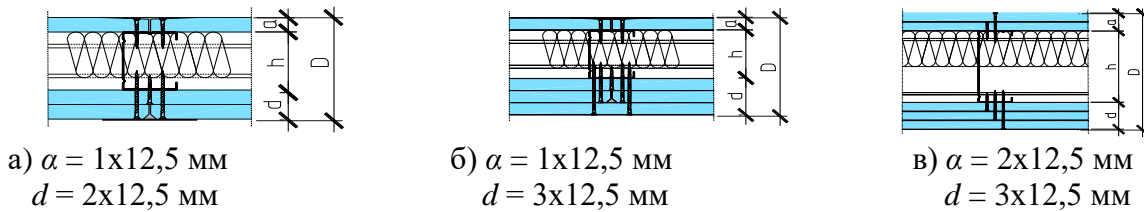


Рисунок 1 – Схемы асимметричных каркасно-обшивных перегородок с разным количеством слоев ГКЛ в обшивках по каркасу из тонкостенного металлического профиля со звукопоглощающим слоем. Количество слоев и толщина обшивок: а)  $1 \times 12,5 + 2 \times 12,5 \text{ мм}$ ; б)  $1 \times 12,5 + 3 \times 12,5 \text{ мм}$ ; в)  $2 \times 12,5 + 3 \times 12,5 \text{ мм}$ .

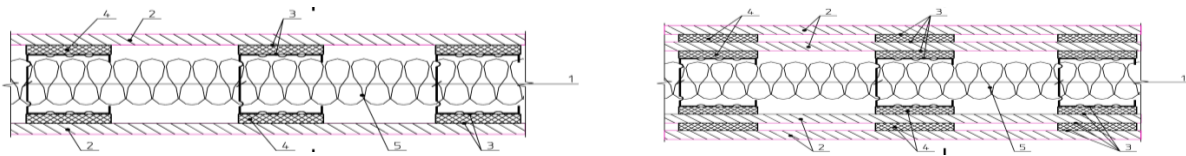


Рисунок 2 – Схемы каркасно-обшивных перегородок с креплением гипсокартонных листов через демпфирующие элементы: 1 – металлический каркас; 2 – гипсокартонные листы; 3 – клей; 4 – упругая прокладка; 5 – звукопоглощающий материал.

Асимметричные каркасные перегородки имеют большой потенциал применения в качестве внутренних ограждающих конструкций в жилых и общественных зданиях, быстровозводимых перегородок в офисных и административных помещениях со свободными планировками.

**Во второй главе** на основе теории звукоизоляции ограждающих конструкций В. И. Заборова исследован процесс прохождения звука через каркасно-обшивные перегородки с учетом упругих поперечных связей между обшивками и звуковых волн, распространяющихся в воздушном промежутке. Данный подход позволяет определять дополнительную звукоизоляцию каркасно-обшивных перегородок, необходимую для разработки эффективных конструктивных решений, обеспечивающих требуемую звукоизоляцию асимметричных каркасных перегородок.

Приведены аналитические выражения для расчета звукоизоляции асимметричных каркасных перегородок с целью определения эффективных конструктивных решений этих конструкций, удовлетворяющих требованиям звукоизоляции.

Расчет частотных характеристик изоляции воздушного шума и определение индекса звукоизоляции  $R_w$ , дБ, выполнены графоаналитическим методом для разных



конструктивных решений каркасно-обшивных перегородок с обшивками из гипсокартонных листов.

Каркасно-обшивные перегородки относятся к акустически неоднородным конструкциям. При теоретическом рассмотрении звукоизолирующей способности акустически неоднородной конструкции ее чаще всего представляют как сумму звукоизолирующей способности акустически однородного элемента  $R_0$  и ее изменения  $\Delta R$ , вызванного акустической неоднородностью ограждения.

При этом величина  $R_0$  может быть звукоизолирующей способностью одного из элементов конструкции (обычно более массивного) или акустически однородного ограждения, поверхностная плотность которого равна полной поверхностной плотности рассматриваемой конструкции.

Достичь эффекта увеличения звукоизоляции двойного ограждения можно, если объединить акустически однородные элементы (однослойные ограждения) с граничными частотами, отличающимися между собой не менее чем в 2 раза.

В качестве объекта исследования рассматриваем асимметричную каркасную перегородку с шарнирным опиранием по контуру в проеме акустически жесткого бесконечного экрана, на которую действует диффузное звуковое поле.

Падающие звуковые волны вызывают изгибные колебания конструкции, так как звуковое давление неодинаково в различных точках поверхности. Скорость распространения изгибных волн зависит от механических свойств среды и частоты, скорость продольных колебаний не зависит от частоты и постоянна для данной среды. При низких частотах скорость распространения изгибных волн меньше скорости звука. В конструкции имеют место слабые вынужденные колебания с незначительным излучением звуковой энергии.

Наконец, при определенной частоте (граничная частота  $f_{гр}$ ) длина изгибной волны  $\lambda_{и}$  будет равна проекции длины волны  $\lambda_{в}$ , т.е. произойдет волновое совпадение, при котором интенсивность изгибных колебаний резко увеличится. При изменении частоты звука волновое совпадение может быть восстановлено на других углах падения звуковой волны.

Выше граничной частоты прохождение звука через тонкую плиту определяется главным образом явлением совпадения. Каждой частоте, лежащей выше граничной частоты, соответствует свой угол падения волны  $\theta$ , при котором возникает явление совпадения и плита имеет наибольшую звукопроницаемость.

Акустической характеристикой конструкции является коэффициент звукопроницаемости  $\tau_\theta$ , который при диффузном падении волны представляет собой статистически усредненную величину звукопроницаемости ограждения при всех возможных значениях углов падения на него звука.

Если звуковая волна падает на такое ограждение нормально  $\theta = 0^\circ$ , то звукоизоляция при нормальном падении волны определяется законом массы, когда при удвоении массы конструкции или частоты звукоизоляция возрастает в среднем на 6 дБ.

При частотах  $f > f_{гр}$  действие закона массы теряет силу, так как величина звукоизоляции на этих частотах в связи с проявлением эффекта волнового

совпадения значительно уменьшается. Существенное значение для звукоизоляции при частотах выше граничной приобретает внутреннее трение в материале ограждения. Так, повышение величины коэффициента потерь  $\eta$  в 2 раза увеличивает значение звукоизоляции на 3 дБ.

В области граничной частоты наблюдается значительное уменьшение величины звукоизоляции ограждающих конструкций; это уменьшение будет в большей степени, чем меньше величина коэффициента потерь. Отсюда вытекает важное правило акустического проектирования ограждений: для повышения звукоизоляции преграды следует передвигать граничную частоту за пределы нормируемой области частот. Это означает, что при тонких плитах ( $f_{гр} > 1000$  Гц) нужно поднимать граничную частоту, например путем уменьшения цилиндрической жесткости плиты при изгибе.

Волновое совпадение, при котором звукоизоляция резко уменьшается, охватывает область частот от  $f_{гр}$  до  $2f_{гр}$ , т.е. примерно в пределах одной октавы.

При  $f > f_{гр}$  существенное значение имеет цилиндрическая жесткость  $D$  конструкции при изгибе. Рост звукоизоляции при  $f > f_{гр}$  с повышением частоты составляет около 7,5 дБ на октаву, т.е. несколько выше, чем по закону массы.

Звукоизоляция перегородок из однородного материала определяется в зависимости от толщины перегородки и поверхностной плотности материала, из которого она выполнена, и определяется графоаналитическим методом.

Управлять звукоизоляцией однослойных тонких ограждений можно либо смещением граничной частоты за счет материала и параметров листов, либо применением многослойных конструкций, в частности двойных, цилиндрическая жесткость слоев которых отличается не менее чем в 8 раз.

Эффект повышения звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок при одновременном уменьшении их массы (или расхода материала) возможен при сочетании обшивок разной толщины. При этом, если величины граничных частот каждой обшивки отличаются между собой (не менее чем в 2 раза), происходит перекрытие провалов звукоизоляции в области волнового совпадения в нормируемом диапазоне частот от 100 до 3150 Гц.

Данную особенность можно использовать при проектировании эффективных каркасно-обшивных перегородок повышенной звукоизоляции. Рассмотрим прохождение звука через двойное ограждение, в котором движение от одной плиты к другой передается только упругими поперечными связями, равномерно распределенными по поверхности преграды. Связями служит воздух или упругий материал, помещенный в промежутке между обшивками.

Звукопроницаемость  $\tau_\theta$  двойного ограждения при падении на него звуковой волны под углом  $\theta$  для частот,  $f > (2 - 3)f_0$  зависит от поверхностной массы  $m_n$ , кг/м<sup>2</sup>, первой и второй плит, цилиндрической жесткости при изгибе первой и второй плит ограждения  $D_1$  и  $D_2$ . В общем случае для двойных ограждений при одной частоте могут существовать два угла совпадения. Соответственно имеются

две граничные частоты, причем низшая граничная частота относится ко второй плите (при условии, что  $D_2 > D_1$ ).

При частотах, лежащих на 1-2 октавы ниже граничной частоты второй плиты  $f_{гр2}$ , но выше  $(2-3)f_0$ , значение звукоизоляции двойного ограждения  $R$ , дБ, будет определяться как сумма звукоизоляции второй плиты  $R_1$ , дБ, согласно закону массы, и дополнительной звукоизоляции двойного ограждения  $\Delta R_1$ , дБ, по сравнению с однослойным. Выше граничной частоты  $f_{гр2}$  величина звукоизоляции двойного ограждения  $R$ , дБ, составленного из различных панелей, определяется как сумма звукоизоляции второй плиты  $R_2$ , дБ, для которой существенное значение приобретает внутреннее трение в материале ограждения, и дополнительной звукоизоляции двойного ограждения по сравнению с однослойным  $\Delta R_2$ .

За счет различия составляющих плит на частотах выше граничной происходит дополнительное улучшение звукоизоляции. Влияние отношения веса ( $m_2/m_1$ ) и цилиндрических жесткостей при изгибе ( $D_1/D_2$ ) панелей на величину дополнительной звукоизоляции двойного ограждения тем значительнее, чем меньше величина внутреннего трения  $\eta$  в материале ограждения.

Данный анализ показал, что изменение толщин слоев конструкции в 2 раза соответствует соотношению граничных частот также в 2 раза, за счет чего происходит взаимное перекрывание провала звукоизоляции одной однослойной конструкцией другой, составленной из обшивок с различным количеством слоев и разной массы (рис. 3 - 5).

Нами проведены расчеты частотных характеристик изоляции воздушного шума и определены индексы изоляции воздушного шума  $R_w$ , дБ, каркасно-обшивных перегородок: симметричных (с одинаковым количеством листов обшивок с двух сторон по каркасу) и асимметричных (с разным количеством листов обшивок с двух сторон по каркасу) для определения их оптимальных конструктивных решений, которые удовлетворяют требованиям звукоизоляции, путем подбора параметров конструкции, когда частота собственных колебаний и граничная частота находятся вне области частот с нормируемой звукоизоляцией.

Расчет частотных характеристик изоляции воздушного шума и индекса звукоизоляции  $R_w$ , дБ, симметричных каркасно-обшивных перегородок с обшивкой из ГКЛ по одному листу (1x12,5 мм+1x12,5 мм) и по два листа (2x12,5 мм+2x12,5 мм) и асимметричных каркасных перегородок с обшивкой из ГКЛ с разным количеством листов (1x12,5 мм+2x12,5 мм), (1x12,5 мм+3x12,5 мм) и (2x12,5 мм+3x12,5 мм), установленных с разным воздушным промежутком 50, 75 и 100 мм на металлическом каркасе, выполнен в графической форме (рис. 6, 7).

Анализ результатов расчета показывает, что при изменении толщины обшивок ограждений от 37,5 мм до 12,5 мм, т.е. при уменьшении цилиндрической жесткости плиты при изгибе, происходит перемещение граничной частоты волнового совпадения в более высокий диапазон частот.

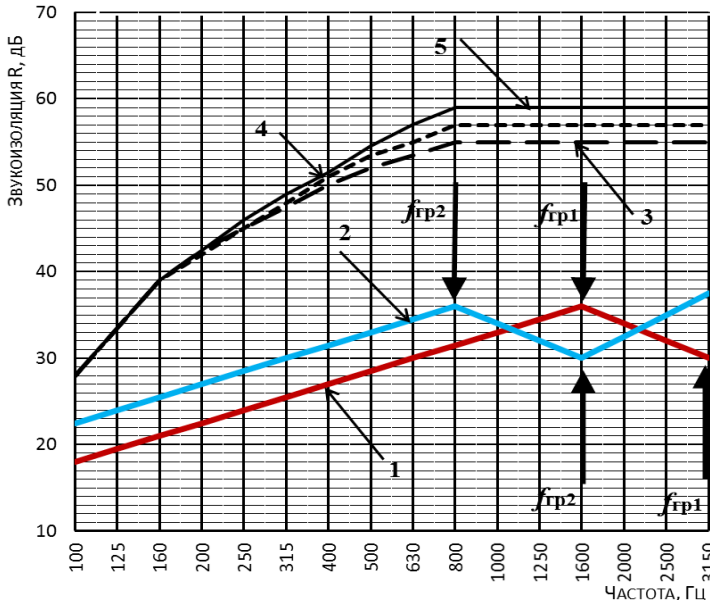


Рисунок 3 – Рассчитанные частотные характеристики изоляции воздушного шума легких конструкций: 1 – однослойное тонкое плоское ограждение из одного листа ГКЛ толщ. 12,5 мм,  $R_w = 32$  дБ; 2 – однослойное тонкое плоское ограждение из двух листов ГКЛ толщ. 25 мм (2x12,5 мм),  $R_w = 34$  дБ. Асимметричные каркасные перегородки (1x12,5 мм+2x12,5 мм) с заполненным воздушным промежутком минераловатным звукопоглотителем толщ. 50 мм: 3 – воздушный промежуток толщ. 50 мм,  $R_w = 52$  дБ; 4 – воздушный промежуток толщ. 75 мм,  $R_w = 53$  дБ; 5 – воздушный промежуток толщ. 100 мм,  $R_w = 55$  дБ.

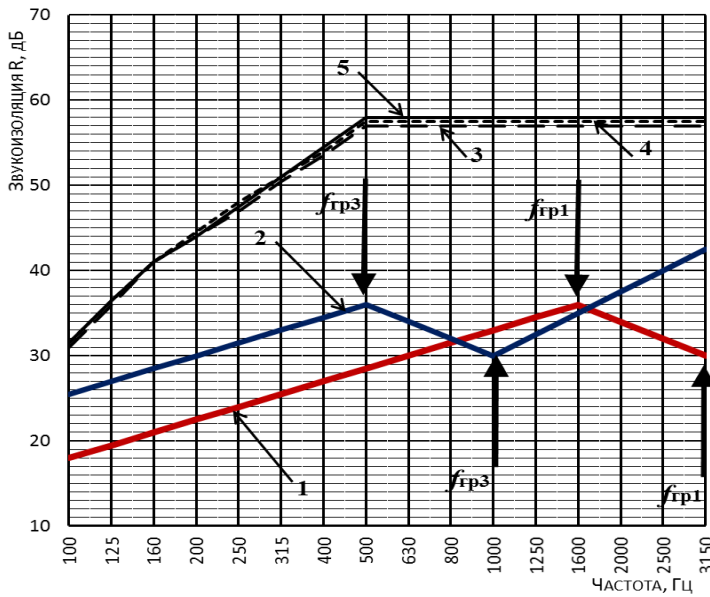


Рисунок 4 – Рассчитанные частотные характеристики изоляции воздушного шума легких конструкций: 1 – однослойное тонкое плоское ограждение из одного листа ГКЛ толщ. 12,5 мм,  $R_w = 32$  дБ; 2 – однослойное тонкое плоское ограждение из трех листов ГКЛ толщ. 37,5 мм (3x12,5 мм),  $R_w = 35$  дБ. Асимметричные каркасные перегородки (1x12,5 мм+3x12,5 мм) с заполненным воздушным промежутком минераловатным звукопоглотителем толщ. 50 мм: 3 – воздушный промежуток толщ. 50 мм,  $R_w = 53$  дБ; 4 – воздушный промежуток толщ. 75 мм,  $R_w = 56$  дБ; 5 – воздушный промежуток толщ. 100 мм,  $R_w = 57$  дБ.

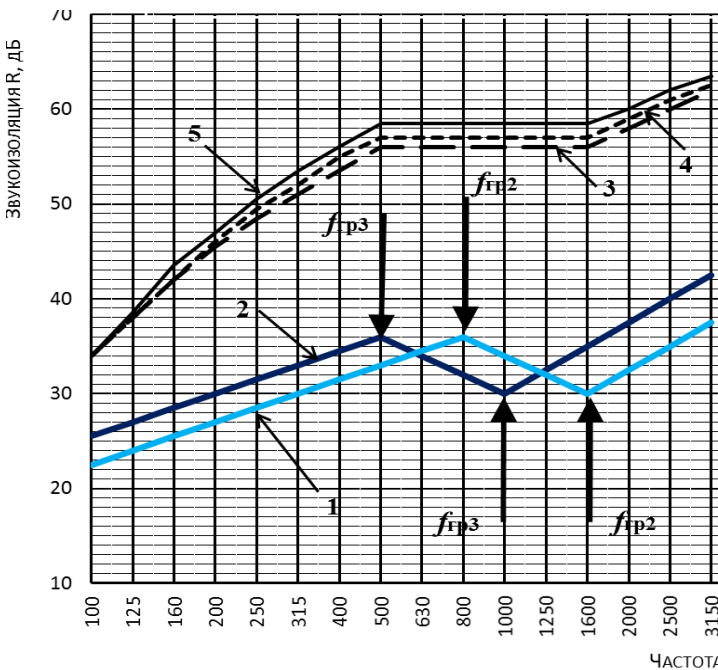


Рисунок 5 – Рассчитанные частотные характеристики изоляции воздушного шума легких конструкций: 1 – однослойное тонкое плоское ограждение из двух листов ГКЛ толщ. 12,5 мм (2x12,5 мм),  $R_w = 34$  дБ; 2 – однослойное тонкое плоское ограждение из трех листов ГКЛ толщ. 37,5 мм (3x12,5 мм),  $R_w = 35$  дБ. Асимметричные каркасные перегородки (2x12,5 мм+3x12,5 мм) с заполненным воздушным промежутком минераловатным звукопоглотителем толщ. 50 мм: 3 – воздушный промежуток толщ. 50 мм,  $R_w = 56$  дБ; 4 – воздушный промежуток толщ. 75 мм,  $R_w = 57$  дБ; 5 – воздушный промежуток толщ. 100 мм,  $R_w = 58$  дБ.

Итак, поведение двойного ограждения из плит, не связанных между собой по контуру, имеет следующие характерные особенности.

На частотах ниже частоты собственных колебаний первой плиты (с меньшей цилиндрической жесткостью при изгибе), лежащей на упругом слое жесткостью  $k$ , звукоизоляция двойного ограждения определяется его массой и поэтому не отличается по звукоизоляционным свойствам от однослойной преграды того же веса. При повышении частоты начинается быстрый рост величины дополнительной звукоизоляции ( $\Delta R \sim 12$  дБ на октаву), который, однако, замедляется ( $\Delta R \sim 6$  дБ на октаву), когда длина продольной волны  $\lambda_1$  в промежуточном слое становится меньше шестикратной толщины прослойки ( $\lambda_1 < 6d$ ).

За счет распространения звука в воздушном промежутке звукопроницаемость двойного ограждения повышается. Для подавления резонансных колебаний воздуха, заключенного в промежутке между плитами, целесообразно вносить в этот промежуток упругий звукоизоляционный материал. За счет значительного внутреннего трения в мягком материале провалы звукоизоляции при резонансных частотах колебаний воздуха прослойки пропадают.

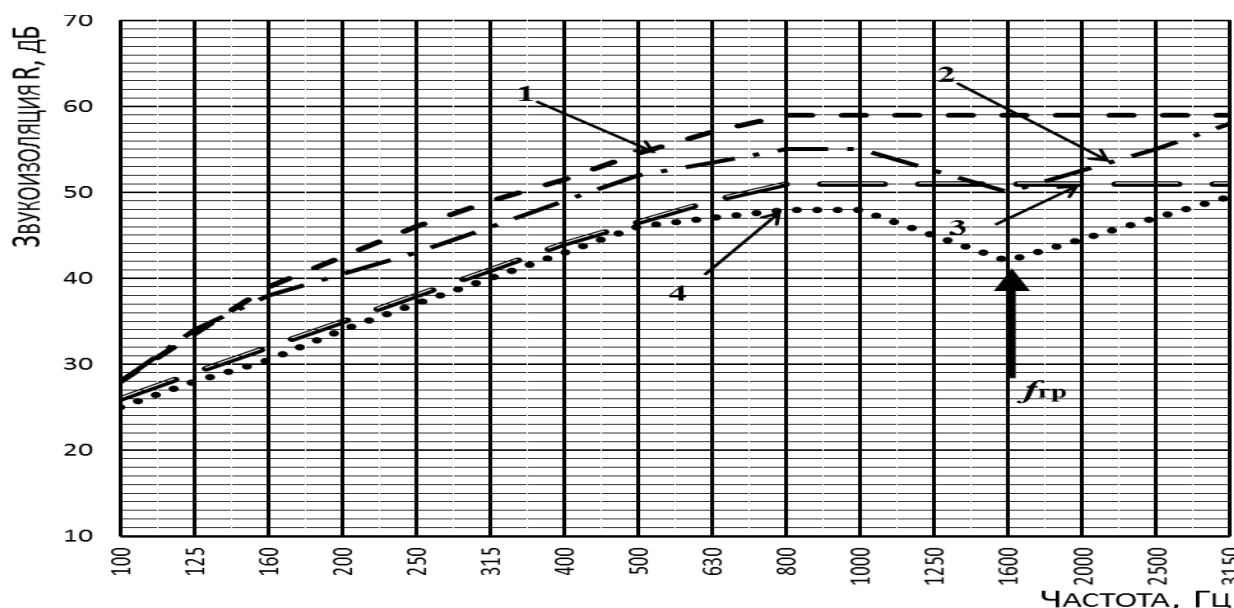


Рисунок 6 – Сравнение рассчитанных частотных характеристик симметричных и асимметричных каркасных перегородок с обшивкой из ГКЛ:

- со звукопоглощающим слоем толщ. 50 мм в воздушном промежутке 100 мм: 1 – разной толщины (1х12,5 мм+2х12,5 мм),  $R_w = 55$  дБ; 2 – одинаковой толщины (2х12,5 мм + 2х12,5 мм),  $R_w = 53$  дБ;
- без звукопоглощающего слоя в воздушном промежутке 100 мм: 3 – разной толщины (1х12,5 мм+ 2х12,5 мм),  $R_w = 48$  дБ; 4 – одинаковой толщины (2х12,5 мм + 2х12,5 мм),  $R_w = 47$  дБ.

На рисунке 6 можно видеть, что наличие звукопоглощающего слоя в симметричных и асимметричных каркасных перегородках улучшает звукоизоляцию по сравнению с аналогичными конструкциями без звукоизоляционного слоя на 6 - 7 дБ.

Проведены расчеты частотных характеристик изоляции воздушного шума и определены индексы изоляции воздушного шума  $R_w$ , дБ, симметричных (базовых) и асимметричных каркасных перегородок для определения конструктивных решений, которые удовлетворяют нормативным требованиям звукоизоляции, путем подбора

параметров конструкции, когда граничная частота и частота собственных колебаний находятся в крайних точках нормируемого диапазона частот от 100 до 3150 Гц.

На рисунке 7 можно видеть, что в асимметричных каркасных перегородках отсутствует видимый провал в частотных характеристиках звукоизоляции на высоких частотах, объясняемый смещением частот волнового совпадения при разной толщине слоев обшивки ограждения.

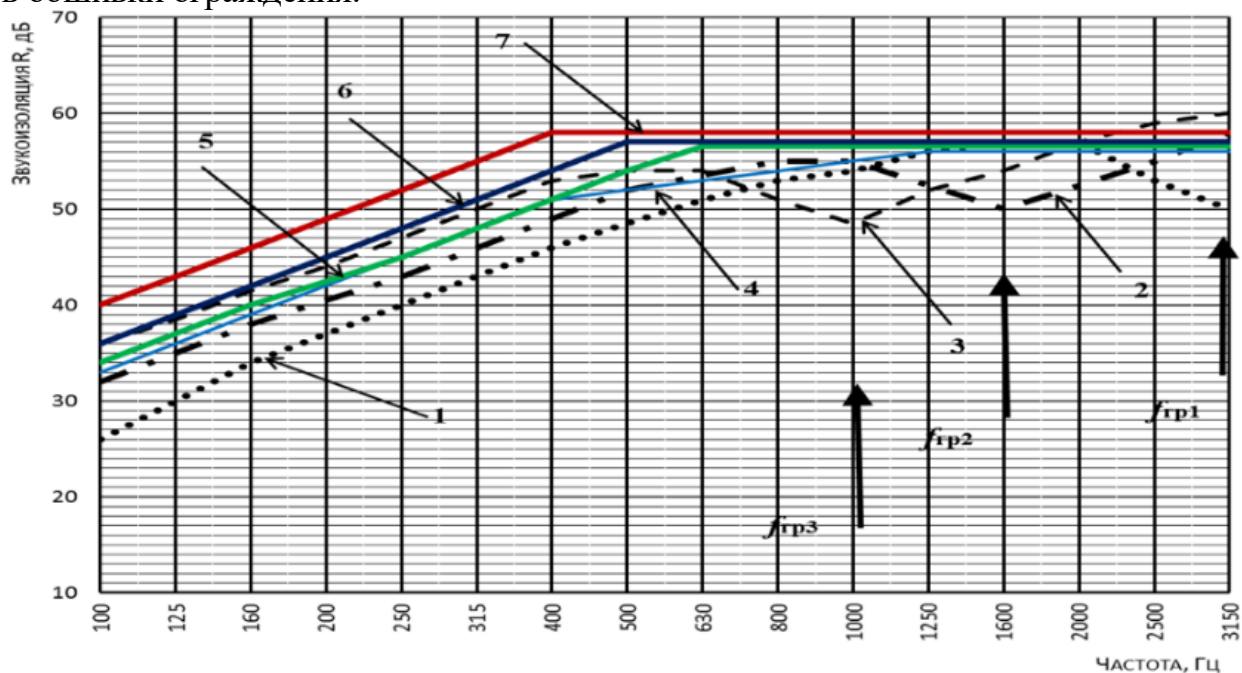


Рисунок 7 – Сравнение рассчитанных частотных характеристик изоляции воздушного шума симметричных и асимметричных каркасных перегородок с обшивкой из ГКЛ по каркасу и воздушным промежутком 100 мм со звукопоглощающим слоем 50 мм: симметричные (базовые): 1 – (1x12,5 мм+1x12,5 мм),  $R_w = 48$  дБ; 2 – (2x12,5 мм+2x12,5 мм),  $R_w = 53$  дБ; 3 – (3 x 12,5 мм + 3 x 12,5 мм),  $R_w = 56$  дБ; 4 – оценочная кривая; асимметричные: 5 – (1x12,5 мм + 2x12,5 мм),  $R_w = 55$  дБ; 6 – (1x12,5 мм+3x12,5 мм),  $R_w = 57$  дБ; 7 – (2x12,5 мм+3x12,5 мм),  $R_w = 58$  дБ.

**В третьей главе** приведены результаты экспериментальных исследований изоляции воздушного шума асимметричных каркасно-обшивных перегородок в помещениях для измерений изоляции воздушного шума в натуральных условиях акустической лаборатории ДонНАСА (рис.8) по стандартной методике ДСТУ Б В.2.6-86:2009 с использованием прецизионной электроакустической аппаратуры «Robotron-Messelektronik» (рис. 9).

Выполнен сравнительный анализ измеренных частотных характеристик и индексов звукоизоляции симметричных (базовых) конструкций каркасно-обшивных перегородок и асимметричных каркасных перегородок с обшивкой из ГКЛ разных конструктивных решений (рис. 10-15).

Полученные результаты дают возможность оценить степень влияния таких параметров, как: сочетание обшивок разной толщины; вида каркаса и способа крепления к нему обшивок; толщины воздушного промежутка между обшивками; наличие и вид звукопоглощающего материала, степень заполнения им промежутка. По результатам экспериментальных исследований установлена степень достоверности используемого практического метода расчета при оценке звукоизолирующих свойств.

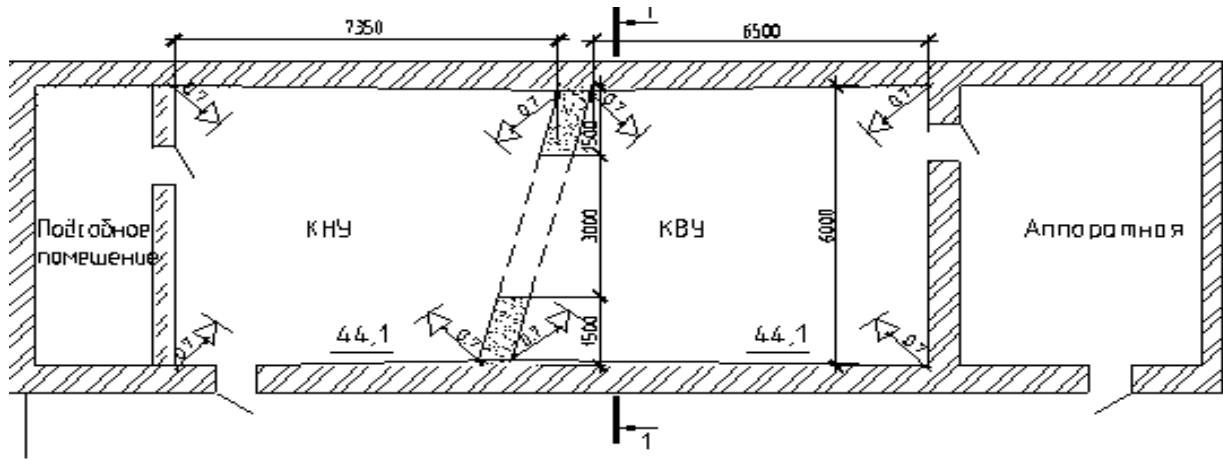
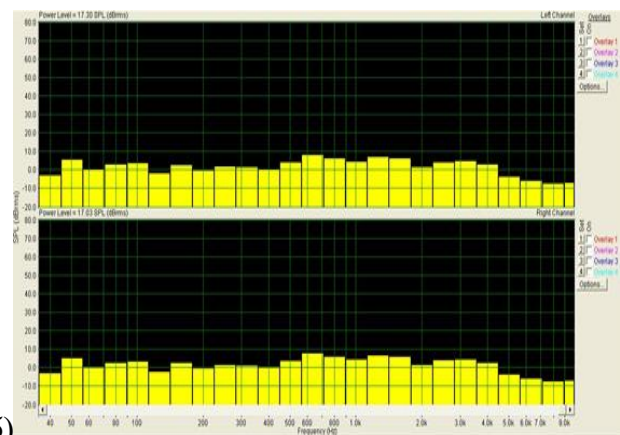


Рисунок 8 – Конструктивное решение помещений для измерений изоляции воздушного шума в натуральных условиях акустической лаборатории ДонНАСА: план камер: - аппаратная - 29,34 м<sup>2</sup>; камера высокого уровня (КВУ) 98 м<sup>3</sup>; камера низкого уровня (КНУ) 98 м<sup>3</sup>; подсобное помещение – 15,13 м<sup>2</sup>.



а)



б)

Рисунок 9 – а) испытуемая асимметричная каркасная перегородка размером 2,2х3,0 м в помещении для измерений изоляции воздушного шума в натуральных условиях акустической лаборатории ДонНАСА; б) данные измерений изоляции воздушного шума асимметричной каркасной перегородкой электроакустической аппаратурой «Robotron-Messelektronic».

Звукоизоляция асимметричных каркасных перегородок натуральных размеров рассчитана как фактическая звукоизоляция конструкции, так как испытательные камеры имеют обычные для здания обходные пути передачи звука, в обеих камерах создано диффузное звуковое поле. Измерения фактической звукоизоляции асимметричных каркасных перегородок проведено по стандартной методике.

Фактическая звукоизоляция рассчитывается по формуле:

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

$L_1$  – средний уровень звукового давления в помещении источника, дБ;

$L_2$  – средний уровень звукового давления в приемном помещении, дБ;

$S$  – площадь испытательного проема, в который устанавливают испытуемый элемент, м<sup>2</sup>;

$A$  – эквивалентная площадь звукопоглощения приемного помещения, м<sup>2</sup>.



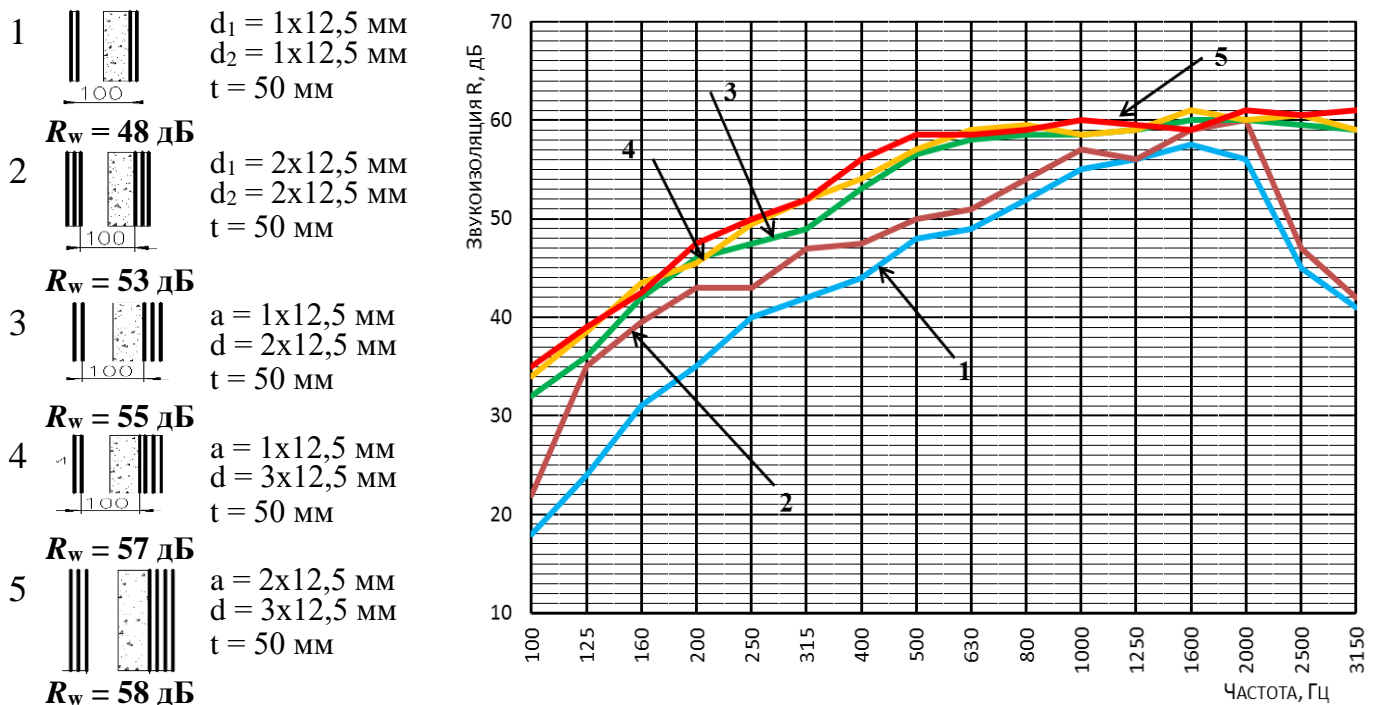


Рисунок 10 – Сравнение измеренных частотных характеристик изоляции воздушного шума симметричных (базовых) и асимметричных каркасных перегородок с обшивкой из ГКЛ со звукопоглощающим слоем толщ. 50 мм в воздушном промежутке толщ. 100 мм: 1 – (1х12,5+1х12,5 мм); 2 – (2х12,5+2х12,5 мм); 3 – (1х12,5+2х12,5 мм); 4 – (1х12,5+3х12,5 мм); 5 – (2х12,5+3х12,5 мм).

Значения звукоизоляции асимметричных каркасных перегородок в октавных полосах частот 100...800 Гц (кривая 4) на 3...15 дБ выше по сравнению с двуслойными ограждениями равной массы (кривая 2), на частотах 1000...2000 Гц – увеличиваются на 4 дБ, на частотах – 2500, 3150 Гц – на 15...18 дБ.

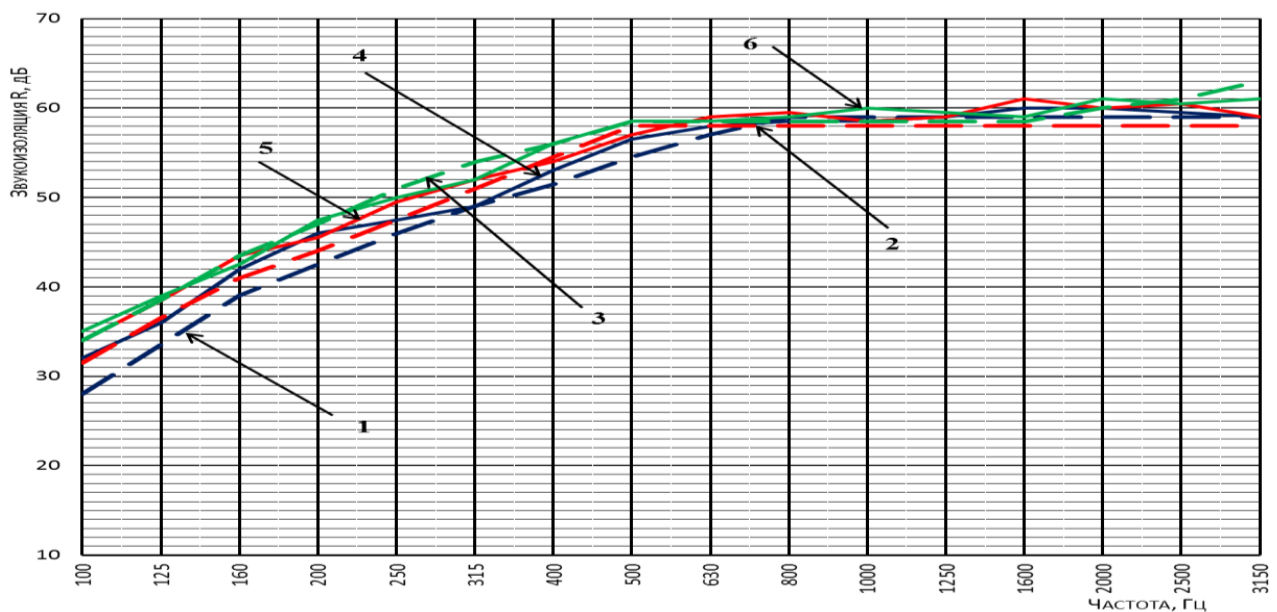


Рисунок 11 – Сравнение измеренных и рассчитанных частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричных каркасных перегородок с обшивкой из ГКЛ со звукопоглощающим слоем толщ. 50 мм в воздушном промежутке толщ. 100 мм:

– рассчитанные: 1 – (1х12,5 мм+2х12,5 мм),  $R_w = 55 \text{ дБ}$ ; 2 – (1х12,5 мм+3х12,5 мм),  $R_w = 57 \text{ дБ}$ ; 3 – (2х12,5 мм+3х12,5 мм),  $R_w = 58 \text{ дБ}$ ;  
– измеренные: 4 – (1х12,5 мм+2х12,5 мм),  $R_w = 55 \text{ дБ}$ ; 5 – (1х12,5 мм+3х12,5 мм),  $R_w = 57 \text{ дБ}$ ; 6 – (2х12,5 мм+3х12,5 мм),  $R_w = 58 \text{ дБ}$ .



Сравнение измеренных и рассчитанных частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричных каркасных перегородок (рис. 11) показало, что отклонения составляют 0...3 дБ, а индексы изоляции воздушного шума при выполнении условия  $R_{w\text{расч}} = R'_{w\text{изм}} + 2$ , дБ, равны и составляют 55; 57 и 58 дБ соответственно.

Эффект увеличения звукоизоляции асимметричной каркасной перегородкой получен в результате сочетания акустически однородных элементов (однослойных ограждений) с граничными частотами, отличающимися между собой не менее чем в 2 раза.

Причем соотношение частот волнового совпадения в 2 раза соответствует соотношению толщин слоев обшивки не менее чем в 2 раза. В итоге влияние асимметричной обшивки каркасных перегородок на звукоизоляцию весьма существенен и зависит от общей звукоизоляции при сочетании листов обшивок, отличающихся в 2 раза по толщине.

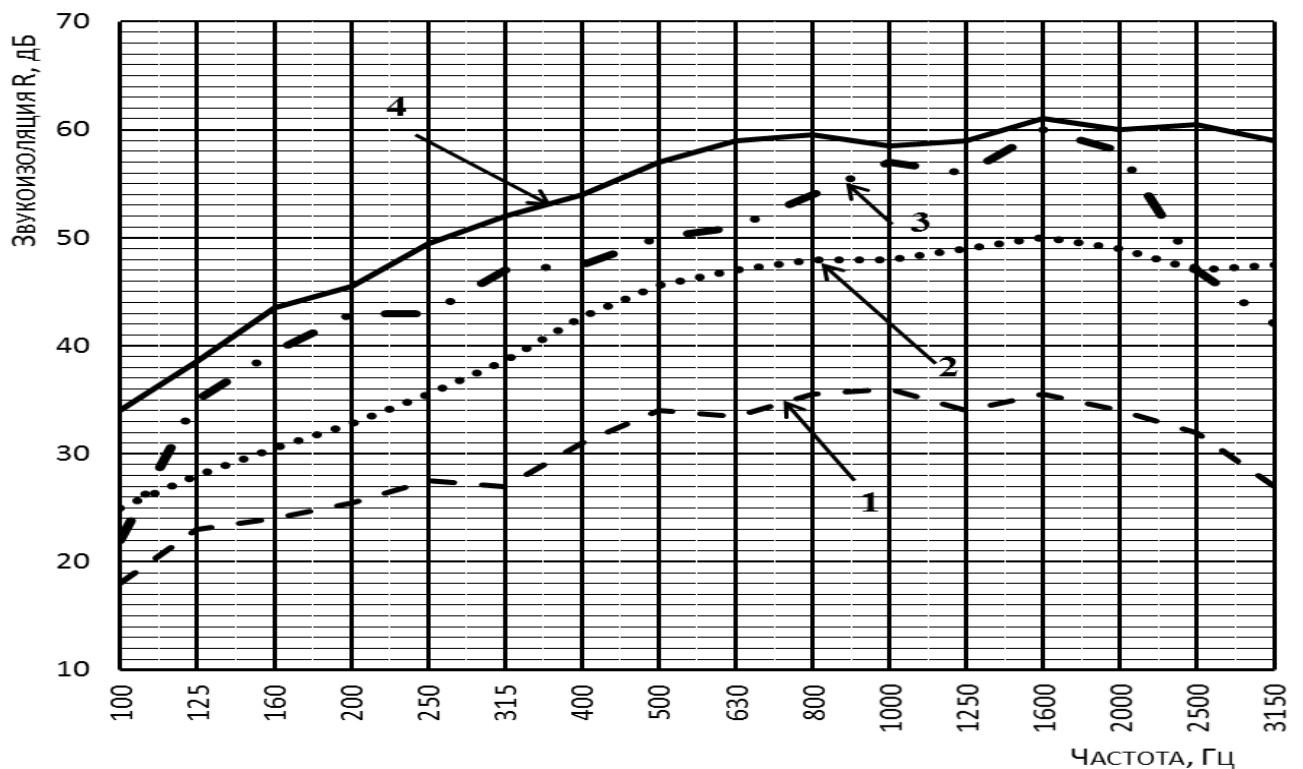
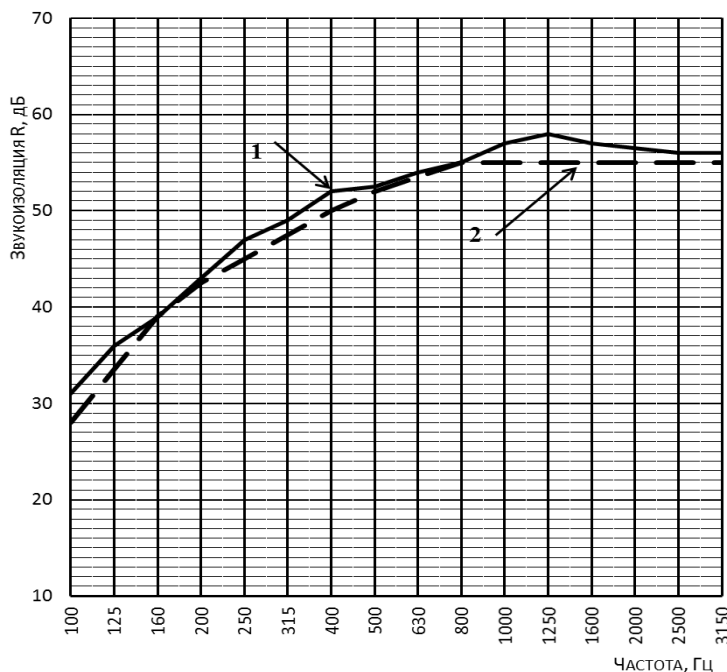


Рисунок 12 – Сравнение звукоизоляции перегородок с одинаковой поверхностной плотностью: 1 – однослойное тонкое плоское ограждение из четырех листов ГКЛ толщ. 50 мм (4x12,5 мм),  $R_w = 36$  дБ; 2 – обшивка с двух сторон ГКЛ одинаковой толщины (2x12,5 мм + 2x12,5 мм) с воздушным промежутком толщ. 100 мм,  $R_w = 47$  дБ; 3 – обшивка с двух сторон ГКЛ одинаковой толщины (2x12,5 мм + 2x12,5 мм) со звукопоглощающим слоем 50 мм,  $R_w = 53$  дБ; 4 – обшивка с двух сторон ГКЛ разной толщины (1x12,5 мм+3x12,5 мм) со звукопоглощающим слоем 50 мм в воздушном промежутке 100мм,  $R_w = 57$  дБ.

В зависимости от конструкций перегородок, количества листов в обшивках и, как следствие, изменение массы обшивок (рис.12) звукоизоляция двухслойной конструкции (кривая 2) по сравнению с однослойной (кривая 1) возрастает на 4...15 дБ, а индексы звукоизоляции на 11 дБ; звукоизоляция асимметричных перегородок (кривые 4 и 5) по сравнению со звукоизоляцией симметричной перегородки (кривая 3) возрастает на 2...8 дБ и индексы соответственно на 2 и 4 дБ.

При сравнении конструкции перегородки №2 без заполнения звукопоглощающим материалом с конструкциями перегородок № 3, 4 с наличием звукопоглощающего материала видим, что наличие звукопоглощающего слоя увеличивает звукоизоляцию (рис. 12). Звукопоглощающий материал в воздушном промежутке способствует потерям звуковой энергии при излучении ее от одной обшивки к другой, и эффективность его применения составляет около 6 дБ независимо от толщины обшивок. Учитывая, что поверхностная плотность звукопоглощающего слоя составляет около  $10 \text{ кг/м}^2$ , а эффективность звукоизоляции соизмерима с увеличением массы ограждения в 2 раза, применение этого слоя не только желательно, но и необходимо в любых отдельных ограждениях.

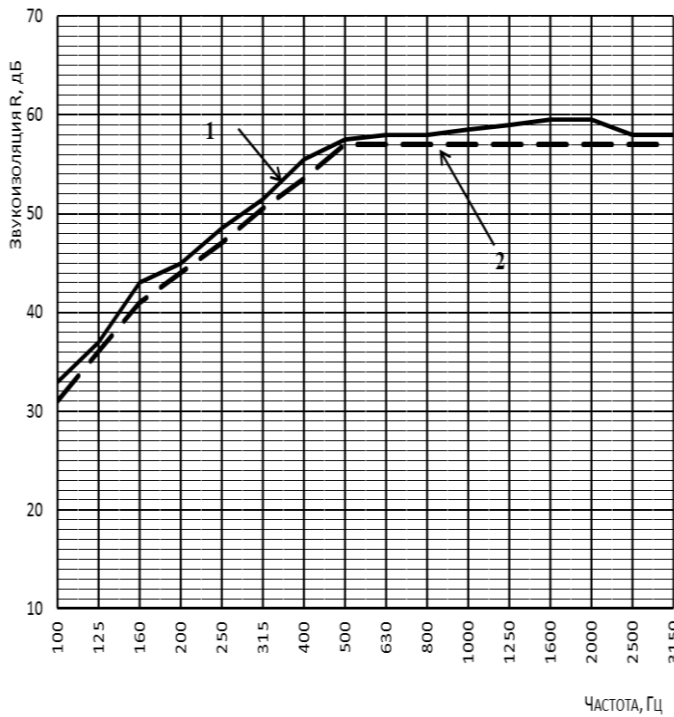
Сравнение индексов звукоизоляции перегородок одинаковой поверхностной плотности, но различных конструкций (рис.12): однослойных, симметричных (базовых) и асимметричных каркасно-обшивных со звукопоглощающим слоем и без – показывает, что наилучшей звукоизолирующей способностью с индексом звукоизоляции  $R_w = 55...58 \text{ дБ}$  обладают асимметричные перегородки, и это позволяет рекомендовать последние для применения в помещениях гражданских зданий и вспомогательных зданий производственных предприятий.



Частота, Гц	Частотные характеристики изоляции воздушного шума	
	измеренные	рассчитанные
100	31	28
125	36	35
160	39	38
200	43	40,5
250	47	43
315	49	46
400	52	49
500	53	52
630	54	53,5
800	55	55
1000	57	55
1250	58	55
1600	57	55
2000	56	55
2500	56	55
3150	56	55
Индекс изоляции возд. шума, дБ	$R_w=52$ $R'_w=50$	$R_w=52$ $R'_w=50$

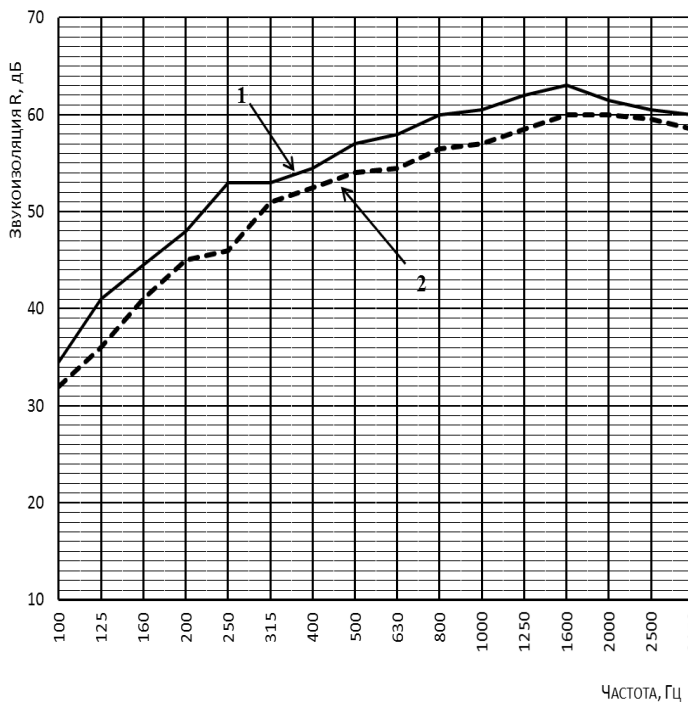
Рисунок 13 – Сравнение измеренной и рассчитанной частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричной каркасной перегородкой (1+2). Конструкция: каркас одинарный металлический –  $1 \times 50 \text{ мм}$ ; обшивка разной толщины из ГКЛ –  $1 \times 12,5 \text{ мм} + 2 \times 12,5 \text{ мм}$ ; изоляция: минераловатная плита «ИЗОВЕР ЗвукоЗащита» плотностью  $40 \text{ кг/м}^3$  и толщиной  $50 \text{ мм}$ . 1 – измеренная частотная характеристика звукоизоляции; 2 – рассчитанная частотная характеристика звукоизоляции.

Анализируя кривые на рис. 13 и 14, можно сделать следующий вывод, что индекс изоляции воздушного шума асимметричной каркасной перегородки, полученный экспериментальным путем, имеет хорошую сходимость с рассчитанным значением индекса по графоаналитическому методу.



Частота, Гц	Частотные характеристики изоляции воздушного шума	
	измеренные	рассчитанные
100	34	36
125	37	39
160	43	42
200	45	45
250	48,5	48
315	51,5	51
400	55,5	54
500	57,5	57
630	58	57
800	58	57
1000	58,5	57
1250	59	57
1600	59,5	57
2000	59,5	57
2500	58	57
3150	58	57
Индекс изоляции возд. шума, дБ	<b><math>R_w=53</math></b> <b><math>R'_w=51</math></b>	<b><math>R_w=53</math></b> <b><math>R'_w=51</math></b>

Рисунок 14 – Сравнение измеренной и рассчитанной частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричной каркасной перегородкой. Конструкция: каркас одинарный металлический – 1х50 мм; обшивка разной толщины из ГКЛ – 1х12,5 мм+3х12,5 мм; изоляция: минераловатная плита «ИЗОВЕР ЗвукоЗащита» плотностью 40 кг/м<sup>3</sup> и толщиной 50 мм. 1 – измеренная частотная характеристика звукоизоляции; 2 – рассчитанная частотная характеристика звукоизоляции.



Частота, Гц	Частотные характеристики изоляции воздушного шума	
	измеренные (кривая 1)	измеренные (кривая 2)
100	34,5	32
125	41	36
160	44,5	41
200	48	45
250	53	46
315	53	51
400	54,5	52,5
500	57	54
630	58	54,5
800	60	56,5
1000	60,5	57
1250	62	58,5
1600	63	60
2000	61,5	60
2500	60,5	59,5
3150	60	58,5
Индекс изоляции возд. шума, дБ	<b><math>R_w=56</math></b> <b><math>R'_w=54</math></b>	<b><math>R_w=53</math></b> <b><math>R'_w=51</math></b>

Рисунок 15 – Сравнение измеренных частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричных каркасных перегородок с разными узлами крепления. Конструкция: каркас одинарный металлический – 1х75 мм; обшивка разной толщины из ГКЛ – 1х12,5 мм+2х12,5 мм; изоляция: минераловатная плита «ИЗОВЕР ЗвукоЗащита» плотностью 40 кг/м<sup>3</sup> и толщиной 50 мм. 1 – крепление обшивки к каркасу выполнено через демпфирующие элементы (прокладка из материала «Вибростек» на клею); 2 – крепление обшивки к каркасу выполнено шурупами / винтами самонарезающими.

Полученные результаты экспериментальных исследований индекса изоляции воздушного шума на уровне 56 дБ асимметричной каркасной перегородки (рис. 15), в которой соединение между собой листов обшивок и с каркасом выполнено на клею через упругие прокладки «Вибростек», показывают увеличение звукоизоляции на 3 дБ по сравнению с каркасными перегородками, соединение элементов которых выполнено жестко на шурупах / винтах самонарезающих.

**В главе 4** рассматриваются вопросы практического применения разработанных конструкций для улучшения звукоизоляции ограждений на строительных объектах.

С целью нахождения оптимального решения при проектировании внутренних вертикальных ограждений нужно иметь возможность быстро оценить большое число проектных вариантов, параметры которых обеспечивают требуемый уровень звукоизоляции с учетом шумового режима в помещении. Для этого необходимо знать качественную работу ограждения в нормированном диапазоне частот.

Разработанные конструктивные решения асимметричных каркасных перегородок рекомендуется использовать в зданиях со свободными системами планировок, в малоэтажном строительстве, а также в качестве выгородок, стенок звукоизолирующих кабин наблюдения производственных зданий.

По результатам выполненных экспериментальных исследований, а также полученных частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричных каркасных перегородок подготовлены рекомендации по применению при проектировании и строительстве, в том числе при реконструкции и реставрации жилых, общественных и вспомогательных зданий производственных предприятий с целью улучшения звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций.

Рекомендуются перегородки с асимметричной обшивкой из гипсокартонных листов по каркасу из тонкостенного металлического профиля и со звукопоглощающим слоем толщ. 50 мм (ИЗОВЕР ЗвукоЗащита плотностью 40 кг/м<sup>3</sup>). Крепление обшивки к стойкам каркаса выполнено на шурупах / винтах самонарезающих. Технические и акустические характеристики асимметричных каркасных перегородок АС-1М-(1+2)ГКЛ, АС-1М-(1+3)ГКЛ, АС-1М-(2+3)ГКЛ и АС-1Му-(1+2)ГКЛ приведены в таблице 1.

Результаты диссертационных исследований были использованы при проектировании межкомнатных перегородок в проектах жилых и общественных зданий проектной организацией ООО «Архионика» Ростовская обл. г. Таганрог (свидетельство СРО некоммерческое партнерство саморегулируемая организация проектировщиков «СтройОбъединение» № 8951 от 15 января 2013г.). В зависимости от акустического режима в помещениях, которые разделяют данные перегородки, принимались обшивки в один плюс два листа (1+2), два плюс три листа (2+3) ГКЛ.

По итогам исследований подготовлены «Методические рекомендации по проектированию типовых технических решений звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок» и внедрены в проектом институте ООО «Донецкий Промстройинипроект», г. Донецк. Разработанные конструктивные решения звукоизолирующих асимметричных перегородок АС-1М-(1+2)ГКЛ, АС-1М-(1+3)ГКЛ и АС-1М-(2+3)ГКЛ позволяют заменить базовые конструкции каркасно-обшивных перегородок с одинаковым количеством листов гипсокартона с двух

сторон по каркасу, обеспечивая нормативный шумовой режим в помещениях, и при этом снизить материалоемкость самих конструкций.

Полученные результаты работы используются в учебном процессе ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» в рамках учебных дисциплин «Физика среды и ограждающих конструкций» по направлению подготовки «Строительство» и «Архитектурная физика» по направлению подготовки «Архитектура», «Градостроительство» и «Дизайн архитектурной среды».

Таблица 1

Технические и акустические характеристики асимметричных каркасных перегородок

Тип перегородок	№ конструкции	Эскиз	Толщина слоев обшивки, а, d, мм	Толщина перегородки, D, мм	Ширина стоечного профиля ПС, h, мм	Звуко-изоляция, $R_w$ , дБ	Поверхностная плотность, кг/м <sup>2</sup>	Использование при проектировании
Крепление обшивки к каркасу асимметричных перегородок АС-1М-(1+2)ГКЛ, АС-1М-(1+3)ГКЛ и АС-1М-(2+3)ГКЛ выполнено шурупами / винтами самонарезающими								
АС-1М-(1+2)ГКЛ	1		а – 1х12,5 d – 2х12,5	87,5	50	52	40	для применения в жилых и общественных зданиях, а также вспомогательных зданиях производственных предприятий.
	2			112,5	75	53		
	3			137,5	100	55		
АС-1М-(1+3)ГКЛ	4		а – 1х12,5 d – 3х12,5	100	50	53	52	
	5			125	75	56		
	6			150	100	57		
АС-1М-(2+3)ГКЛ	7		а – 2х12,5 d – 3х12,5	112,5	50	56	60	
	8			137,5	75	57		
	9			162,5	100	58		
Крепление обшивки к каркасу асимметричной перегородки АС-1Му-(1+2)ГКЛ выполнено через демпфирующие элементы								
АС-1Му-(1+2)ГКЛ	10		а – 1х12,5 d – 2х12,5	112,5	75	56	40	

Разработанные конструктивные решения позволяют заменить симметричные каркасно-обшивные перегородки с профилями каркаса ПС-образные стоечные и ПН-образные направляющие типа ПС100/50 и ПН100/40, ПС75/50 и ПН75/40 на асимметричные перегородки с профилями типа ПС75/50 и ПН75/40, ПС50/50 и ПН50/40, имеющие равноценные индексы изоляции.

Предлагаемые звукоизоляционные асимметричные каркасные перегородки имеют экономическую эффективность выше по сравнению с базовыми звукоизоляционными каркасно-обшивными перегородками. Сравнивая попарно базовые и предлагаемые варианты, получаем экономию затрат на возведение перегородок в расчете на  $100 \text{ м}^2$  от 4,570 до 32,813 тыс. руб.

По результатам расчета сравнительной экономической эффективности наиболее рациональным является устройство асимметричных каркасных перегородок АС-1М-(1+2)ГКЛ (№№ 1, 2, 3), АС-1М-(1+3)ГКЛ (№№ 4, 5, 6) и АС-1М-(2+3)ГКЛ (№№ 7, 8, 9), таблица 1.

## ВЫВОДЫ

1. Теоретически и экспериментально доказана возможность повышения звукоизоляции асимметричными каркасными перегородками по сравнению со звукоизоляцией симметричными (базовыми) каркасно-обшивными перегородками.

2. На основе теории В. И. Заборова, графоаналитического метода расчета и экспериментальных исследований установлено, что эффект повышения звукоизоляции каркасно-обшивными перегородками при одновременном уменьшении их массы (или расхода материала) возможен при сочетании обшивок разной толщины. При этом, если величины поверхностных плотностей каждой обшивки отличаются между собой (не менее чем в 2 раза), происходит перекрытие провалов звукоизоляции в области волнового совпадения в нормируемом диапазоне частот.

3. Найдены количественные зависимости звукоизоляции асимметричными каркасными перегородками во всем нормированном диапазоне частот от массы и количества слоев обшивок.

4. Сравнение результатов теоретических исследований звукоизоляции каркасно-обшивными перегородками с результатами экспериментальных исследований свидетельствует об их хорошей сходимости.

5. Полученные результаты экспериментальных исследований индекса изоляции воздушного шума на уровне 55; 57; 58 дБ при массе ограждения  $40...60 \text{ кг/м}^2$  при общем количестве гипсокартонных листов 4 или 5 позволяют рекомендовать асимметричные каркасные перегородки для применения в качестве межквартирных перегородок, перегородок между помещениями офисов, стен и перегородок между рабочими помещениями административных зданий производственных предприятий.

6. Полученные в работе результаты позволяют определить дальнейшее повышение звукоизоляции каркасно-обшивными перегородками, путем устройства вибродемпфирующих элементов крепления обшивок с каркасом и между собой.

7. Проведенный технико-экономический анализ доказывает эффективность применения асимметричных каркасных перегородок в качестве межквартирных перегородок, перегородок между помещениями офисов, стен и перегородок между рабочими помещениями вспомогательных зданий производственных предприятий. Применение этих перегородок позволит снизить затраты на монтаж от 4,570 до 32,813 тыс. руб. / $100 \text{ м}^2$ .

8. Разработаны рекомендации по проектированию конструкций звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок с обшивкой из

гипсокартонных листов для применения их в жилых и общественных зданиях, а также вспомогательных зданиях производственных предприятий.

Принцип проектирования таких конструкций можно использовать при устройстве кабин наблюдения на производстве, шумозащитных экранов систем вентиляции и кондиционирования. На практике можно добиться дополнительной звукоизоляции порядка 3...10 дБ.

9. Результаты исследований внедрены: – при проектировании жилых и общественных зданий в проектной организации ООО «Архионика» г. Таганрог Ростовской области;

– «Методические рекомендации по проектированию типовых технических решений звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок» в проектном институте ООО «Донецкий Промстройинипроект» г. Донецк;

– при разработке лекционных курсов учебных дисциплин «Физика среды и ограждающих конструкций» по направлению подготовки «Строительство» и «Архитектурная физика» по направлению подготовки «Архитектура», «Градостроительство» и «Дизайн архитектурной среды».

#### ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

##### **- публикации в рецензируемых научных изданиях:**

1. Чернышева, Т. А. Звукоизолирующие свойства двойных перегородок из тонких гипсокартонных листов различной толщины [Текст] / Т. А. Чернышева // ВІСНИК Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макеевка: ДонНАСА, 2008. – Вип. 2008-6 (74) – С. 94-97.

2. Чернышева, Т. О. Щодо методів визначення необхідної звукоізоляції вікон [Текст] / Т. О. Чернышева // ВІСНИК Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макеевка: ДонНАСА, 2012. – Вип. 2012-6 (98). – С. 166-172.

3. **Чернышева, Т. А.** Расчет шумового режима от оборудования систем вентиляции на стадии проектирования зданий: [Текст] / **Т. А. Чернышева**, Г. Т. Косьмин, Г. М. Васильченко // «БСТ: Бюллетень строительной техники». – Москва: Издательство «БСТ», 2016.– № 6 (982). – С. 24-26. *(Выполнен расчет уровней звукового давления для расчетных точек. Предложен вариант защиты от шума крышных вентиляторов акустическим экраном).*

4. **Чернышева, Т. А.** Исследование звукоизоляции легких многослойных ограждений [Текст] / **Т. А. Чернышева**, Г. Т. Косьмин, Н. Г. Прищенко // Современное промышленное и гражданское строительство. – Макеевка: ДонНАСА, 2017. – Том 13, № 4. – С. 197-207. *(Выполнены сравнения частотных характеристик и индексов изоляции воздушного шума, полученных экспериментальным путем для каркасно-обшивных перегородок с разным количеством облицовочных слоев и узлами крепления обшивок с каркасом).*

5. Прищенко, Н. Г. Исследование шумового режима и разработка рекомендаций по его снижению на селитебной территории от источников шума ПАО «Донецкий городской молочный завод №2» [Текст] / Н. Г. Прищенко, А. А. Трускалова, **Т. А. Чернышева**, Г. М. Васильченко и др. // Вестник

Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – Макеевка: ДонНАСА, 2019. – Вып. 2(136). – С. 86-97. *(Выполнен анализ современных исследований и публикаций по снижению шума промышленного предприятия на территории жилой застройки. Предложены конструктивные варианты шумозащитных экранов).*

**- публикации по материалам конференций:**

6. **Чернышева, Т. А.** Акустические свойства двойных перегородок из тонких гипсокартонных листов различной толщины [Текст] / **Т. А. Чернышева**, Г. Т. Космин // Современное строительство и архитектура. Энергосберегающие технологии. Сборник материалов VII Республиканской научно-практической конференции (с международным участием) (12 ноября 2015 года, Бендеры). – Бендеры: Б и., 2016. – С. 37-41. *(Построены частотные характеристики изоляции воздушного шума  $R'$ , дБ, и выполнены расчеты индекса изоляции двойных перегородок из тонких гипсокартонных листов различной толщины).*

7. **Чернышева, Т. А.** К вопросу звукоизоляции офисных помещений [Текст] / **Т. А. Чернышева**, Н. Г. Прищенко, Ю. И. Саливон // Современное строительство и архитектура. Энергосберегающие технологии. Сборник материалов VIII Республиканской научно-практической конференции (с международным участием) (24 ноября 2016 года, Бендеры). – Бендеры: Б и., 2017. – С. 34-38. *(Выполнен анализ многослойных легких офисных перегородок и рассчитаны их индексы звукоизоляции. Предложен вариант легкой асимметричной каркасно-обшивной перегородки).*

**- патенты, авторские свидетельства:**

8. Патент на корисну модель № 19169 Україна, МПК E04C 2/26. Звукоізоляційна перегородка [Текст] / Космін Г. Т., **Чернишева Т. О.**, Чупраковська О. В.; патентовласник Донбаська національна академія будівництва і архітектури. – № у 200603908; заявл. 10.04.2006; опубл. 15.12.2006. Бюл. № 12.- 4с *(Предложены конструктивные решения асимметричных каркасно-обшивных перегородок).*

9. Патент на корисну модель № 87948 Україна, МПК E04C 2/26. Звукоізоляційна перегородка [Текст] / Прищенко М. Г., Трохименко М. П., **Чернишева Т. О.**; патентовласник Прищенко М. Г., Трохименко М. П., **Чернишева Т. О.** – № у 2013 11016; заявл. 16.09.2013; опубл. 25.02.2014. Бюл. № 4.- 4с *(Предложены демпфирующие соединения листов обшивок к каркасу перегородки).*

10. Патент на корисну модель № 87949 Україна, МПК E04C 2/26. Звукоізоляційна перегородка [Текст] / Прищенко М. Г., Трохименко М. П., **Чернишева Т. О.**; патентовласник Прищенко М. Г., Трохименко М. П., **Чернишева Т. О.** – № у 2013 11017; заявл. 16.09.2013; опубл. 25.02.2014. Бюл. № 4.- 4с *(Предложены демпфирующие соединения листов обшивок между собой и к каркасу перегородки).*



## АННОТАЦИЯ

Чернышева Тамара Александровна. **Конструктивные решения многослойных легких ограждений повышенной звукоизоляции.** – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения. – ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». – Макеевка, 2019 г.

Диссертация посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям, связанным с разработкой эффективных конструктивных решений асимметричных каркасных перегородок повышенной звукоизоляции с обшивками из гипсокартонных листов (ГКЛ) на основе базовых каркасно-обшивных перегородок.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель, задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы, ее связь с государственными программами.

В **первом разделе** рассмотрены современные теоретические и экспериментальные методы исследования звукоизоляции многослойных конструкций. На основании выполненного анализа установлены основные направления исследования.

Во **втором разделе** приведены аналитические выражения, основанные на теории звукоизоляции ограждающих конструкций В. И. Заборова, для расчета звукоизоляции асимметричных каркасных перегородок с целью определения оптимальных конструктивных решений этих конструкций, удовлетворяющих нормативным требованиям звукоизоляции. Расчет частотных характеристик изоляции воздушного шума и определение индекса звукоизоляции  $R_w$ , дБ, выполнен по стандартной методике графоаналитическим способом для разных конструктивных решений каркасных перегородок с обшивками из ГКЛ.

В **третьем разделе** представлены результаты экспериментальных исследований изоляции воздушного шума асимметричных каркасных перегородок. По результатам экспериментальных исследований установлена степень достоверности используемого практического метода расчета при оценке звукоизолирующих свойств асимметричных каркасных перегородок.

В **четвертом разделе** разработаны методические рекомендации по проектированию конструкций звукоизоляционных асимметричных каркасных перегородок для применения их в жилых и общественных зданиях, а также вспомогательных зданиях производственных предприятий. Эффективность применения данных конструкций в зданиях позволит снизить затраты на монтажные работы.

**Ключевые слова:** конструктивные решения асимметричных каркасных перегородок, звукоизоляция, индекс изоляции воздушного шума, децибел (дБ).

**ABSTRACT**

Chernysheva Tamara Alexandrovna. Constructive solutions of multilayer light fencing with increased sound insulation. - Manuscript.

Thesis submitted for the scientific degree of Candidate of Technical Science in specialty 05.23.01 – Building constructions, buildings and structures. – Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka, 2019.

The dissertation is devoted to experimental and theoretical studies related to the development of effective structural solutions for asymmetric frame partitions of increased sound insulation with plasterboard sheathing (PBS) based on basic frame-sheathing partitions.

In the introduction, the relevance of the research topic is substantiated, the purpose, objectives of research, scientific novelty, practical significance of the results of the work, its connection with government programs are formulated.

In the first section the state of modern theoretical and experimental methods for studying the sound insulation of multilayer structures is examined, it is established that practically the theory of sound insulation of building envelopes by V.I. Zaborov allows us to study the passage of sound through frame-sheathed partitions, in particular asymmetric. Based on the analysis, the main areas of research are established.

The second section provides analytical expressions based on the theory of sound insulation walling V. I. Zaborov to calculate the sound insulation of the asymmetric frame walls to determine optimal design solutions to those structures that, meet regulatory requirements for sound insulation. The calculation of the frequency characteristics of the airborne sound insulation and the determination of the sound insulation index  $R_w$ , dB, were performed according to the standard method by the graphic-analytical method for various structural solutions of frame-sheathing partitions with PBS cladding.

The third section presents the results of experimental studies - the frequency characteristics of airborne noise insulation and insulation indices of asymmetric frame partitions, which make it possible to assess the degree of influence of certain factors on the sound-insulating ability of the studied fences. Based on the results of experimental studies, the degree of reliability of the applied practical calculation method is established when evaluating the soundproofing properties of asymmetric frame partitions.

In the fourth section developed guidelines for the design of sound-insulating asymmetric frame fences for their use in residential and public buildings, as well as auxiliary buildings of industrial enterprises. The economic effect of these constructions is calculated and obtained.

**Keywords:** design solutions of asymmetric frame partitions, sound insulation, airborne sound insulation index, decibel (dB).