

Министерство образования и науки  
Донецкой Народной Республики  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

*На правах рукописи*

Чернышева Тамара Александровна



УДК 692.21:699.844

**КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ЛЕГКИХ  
ОГРАЖДЕНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ**

05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук



Научный руководитель:

**Космин Геннадий Тимофеевич**

кандидат технических наук, доцент

Идентичность всех экземпляров  
диссертации заверяю:  
Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 01.006.02



Т.В. Радионов

Макеевка – 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1. ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ЛЕГКИХ ОГРАЖДЕНИЙ. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА .....	14
1.1 Анализ конструктивных решений каркасно-обшивных перегородок. Область их применения .....	14
1.2 Обзор расчетно-теоретических и экспериментальных исследований звукоизоляции многослойных легких ограждений .....	20
Выводы по главе 1 и определение направлений исследований .....	37
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ АСИММЕТРИЧНЫХ КАРКАСНЫХ ПЕРЕГОРОДОК .....	39
2.1 Звукоизоляция двойных ограждений от воздушного шума .....	40
2.2 Прохождение звука через однослойные ограждающие конструкции .....	42
2.3 Оценка изоляции воздушного шума однослойной плоской тонкой ограждающей конструкцией .....	47
2.4 Звукоизоляция двойного ограждения, составленного из двух одинаковых панелей .....	52
2.4.1 Ограждения с упругими поперечными связями .....	52
2.4.2 Ограждения с упругими поперечными и продольными связями.....	58
2.4.3 Ограждения с воздушным промежутком.....	63
2.5 Звукоизоляция двойного ограждения, составленного из разных панелей без связи по контуру .....	67
2.6 Оценка изоляции воздушного шума однослойных, симметричных и асимметричных каркасно-обшивных конструкций .....	73
Выводы по главе 2 .....	93
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АСИММЕТРИЧНЫХ КАРКАСНЫХ ПЕРЕГОРОДОК .....	94
3.1 Описание экспериментальных установок, средств измерения, методики проведения и оценки результатов эксперимента .....	95

3.2 Программа экспериментальных исследований конструктивных решений, влияющих на звукоизоляцию асимметричных каркасных перегородок .....	108
3.3 Экспериментальные исследования значений частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричных каркасных перегородок .....	112
Выводы по главе 3 .....	129
ГЛАВА 4. РЕКОМЕНДАЦИИ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ АСИММЕТРИЧНЫХ КАРКАСНЫХ ПЕРЕГОРОДОК .....	130
4.1 Рекомендации и область применения звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок .....	130
4.2 Экономическая эффективность звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок .....	134
4.3 Внедрение и анализ результатов исследования .....	142
Выводы по главе 4 .....	144
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	144
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	147
Приложение А. Справка о внедрении результатов исследований диссертационной работы при проектировании ООО «Архионика» .....	161
Приложение Б. Справка о внедрении результатов исследований диссертационной работы при проектировании ООО «Донецкий Промстройинипроект» .....	163
Приложение В. Справка о внедрении результатов исследований диссертационной работы в учебный процесс .....	165
Приложение Г. Лабораторное испытательное оборудование. Свидетельства о поверке рабочих средств измерения .....	166
Приложение Д. Методические рекомендации по проектированию типовых технических решений звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок .....	171
Приложение Е. Сметная документация сравнения вариантов устройства базовых и асимметричных каркасных перегородок с обшивкой из ГКЛ .....	192

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** 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. Для снижения шума в настоящее время разработаны эффективные строительно-акустические методы, в том числе и метод звукоизоляции. Звукоизоляция строительными конструкциями представляет собой область строительной акустики, в которой исследуются явления, связанные с распространением через них звуковых волн. Во многих случаях звукоизоляция строительных конструкций является наиболее рациональным способом снижения шума, проникающего в помещения из смежных объемов и из внешней среды.

Шум на производстве, в офисных зданиях и в быту наносит большой ущерб, вредно воздействуя на организм человека, снижая производительность труда. На производстве с непрерывным увеличением мощности и производительности промышленного оборудования частотный спектр шума смещается в область высоких частот, особенно чувствительных уху человека. В офисных зданиях и помещениях шум от наличия большого количества офисной оргтехники, расположенной в помещениях с несколькими рабочими местами, с внутренними ограждающими конструкциями, как правило, выполненных из жестких, звукоотражающих материалов (ламинированные ДСП, светопрозрачные панели) по принципу каркасно-обшивных перегородок, приводит к преждевременной усталости и снижению производительности труда. Причинами снижения звукоизоляционных характеристик этих конструкций являются невысокая



собственная звукоизоляция, наличие обходных путей распространения звука (подвесной потолок, стыки между конструкциями и др.).

Шум влияет на человека не только на производстве, но и на селитебных территориях и в квартирах, особенно в городах вблизи шумных предприятий, а также на улицах с большим количеством транспорта.

В последнее время в городах наблюдается тенденция уплотнения застройки, размещения крупных торговых, культурно-развлекательных и административных комплексов на минимально допустимых расстояниях от жилых зданий. В отличие от традиционных гражданских зданий, в которых имелись специальные капитальные помещения для размещения вентиляционных камер, калориферов и кондиционеров, в современных зданиях тепловое, холодильное и вентиляционное оборудование часто размещается на покрытии и является одним из основных источников шума в городской среде. Снижение воздушного шума достигается за счет мер, основанных на методах звукоизоляции, звукопоглощения и экранирования. Средства снижения воздушного шума – это устройство акустических экранов, шумозащищенных зданий и шумозащитных окон.

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 многослойные системы легких ограждений повышенной звукоизоляции, 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.

**Степень разработанности темы.** Проблемой повышения звукоизоляции реальных ограждающих конструкций зданий и сооружений занимались многие исследователи. В работах И.И. Боголепова, E. Wintergerst, 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 и др. разработаны методы расчета и проектирования различных типов звукоизолирующих ограждений. Однако до сих пор остается малоизученным вопрос достижения максимально возможных значений звукоизоляции реальных ограждающих конструкций, в том числе каркасно-обшивных перегородок.

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 и так называемых «акустических мостиков», что не позволяет рационально проектировать ограждающие конструкции повышенной звукоизоляции.

При проектировании совершенно не учитываются рекомендации по обеспечению звукоизоляции каркасными перегородками за счет устройства обшивок из разного количества слоев гипсокартонных листов. В научных и нормативных источниках отсутствует информация о качественных характеристиках снижения шума в нормированном диапазоне частот, т.е. о частотных характеристиках изоляции воздушного шума и индексах изоляции воздушного шума  $R_w$ , дБ, асимметричных конструкций.

Для эффективного применения в строительстве каркасных перегородок повышенной звукоизоляции с обшивками из гипсокартонных листов необходимо разработать их конструктивные решения. При выборе оптимального проектного решения необходимо иметь возможность быстро рассчитывать звукоизоляционные характеристики различных вариантов рассматриваемой конструкции. Имеющиеся характерные частотные зависимости звукоизоляции двойных ограждений положены в основу графоаналитического метода расчета, позволяющего выбрать оптимальное сочетание изменяемых при проектировании характеристик и обеспечить нормативную звукоизоляцию помещений. Однако данный метод расчета не раскрывает и не объясняет механизма прохождения звука для тех двойных ограждений, которые ещё не исследованы экспериментально.

В диссертационной работе изучены возможности повышения звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок путем использования других конструктивных решений, а именно эффективных звукоизоляционных асимметричных каркасных перегородок.

### **Цель и задачи диссертационной работы.**

**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 асимметричными каркасными перегородками.

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

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 вибродемпфирующие элементы (упругие прокладки на клею).

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

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

**Объект и предмет исследования.**

**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 звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок с обшивками из гипсокартонных листов, обеспечивающие по сравнению с базовыми более высокую акустическую и экономическую эффективность;

– разработаны теоретически и экспериментально обоснованы рекомендации по проектированию типовых технических решений асимметричных каркасных перегородок, обеспечивающих 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 [60 - 62].

**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 [34], [22-25] в помещениях для измерений изоляции воздушного шума в натурных условиях акустической лаборатории 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.

**Степень достоверности и апробация результатов.**

Достоверность 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.

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 конференциях «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.).

В полном объеме диссертация докладывалась на расширенном заседании кафедры проектирования зданий и строительной физики Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» (г. Макеевка, 1 октября 2019 г.).

Область исследования соответствует паспорту научной специальности ВАК 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения: создание, исследование, оптимизация и обоснование новых типов несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений с использованием методов математического моделирования, математических методов оптимизации, автоматизированных средств для проведения экспериментальных исследований и конструирования.

### **Реализация результатов работы.**

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.).

Результаты диссертационных исследований были использованы при проектировании межкомнатных перегородок в проектах жилых и общественных зданий ООО «Архионика» Россия, Ростовская обл., г. Таганрог (справка о внедрении результатов исследований см. приложение А). В зависимости от акустического режима в помещениях, которые разделяют данные перегородки, принимались звукоизолирующие асимметричные каркасные перегородки с обшивкой из гипсокартонных листов разной толщины по одинарному металлическому каркасу со звукопоглощающим материалом в воздушном промежутке.

Разработанные «Методические рекомендации по проектирования типовых технических решений звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок» внедрены в проектно-институте ООО «Донецкий Промстройинипроект» (справка о внедрении результатов исследований см. приложение Б). Конструктивные решения асимметричных каркасных перегородок позволили заменить базовые конструкции каркасных перегородок с одинаковой толщиной обшивки из гипсокартонных листов с двух сторон по металлическому каркасу со звукопоглощающим материалом в воздушном промежутке. Предложенные решения звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок обеспечивают нормативный шумовой режим в помещениях и при этом снижают 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» (справка о внедрении результатов исследований см. приложение В).

**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.



**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.

**Личный вклад** 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.

## **ГЛАВА 1. ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ЛЕГКИХ ОГРАЖДЕНИЙ. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА**

Одним из способов создания комфортной звуковой среды в помещениях зданий различного назначения является устройство звукоизолирующих ограждений. С учетом передачи звука различают акустически однородные (однослойные) конструкции и акустически неоднородные (многослойные) конструкции. При одинаковой массе звукоизолирующие свойства многослойных легких конструкций выше, чем однослойных.

В главе рассмотрены возможности применения для данных целей каркасно-обшивных перегородок и особенности прохождения звука через такие конструкции. Рассмотрено состояние современных теоретических и экспериментальных методов исследования звукоизоляции многослойных конструкций и определены пути повышения звукоизолирующих качеств каркасно-обшивных перегородок. На основании выполненного анализа установлены основные направления исследования.

### **1.1 Анализ конструктивных решений каркасно-обшивных перегородок. Область их применения.**

Одной из важнейших задач при проектировании новых типов ограждающих конструкций с учетом ресурсосбережения и высокой экономической эффективности является снижение их массы и толщины. При этом ограждающие конструкции должны обеспечивать требуемую защиту от шума в помещениях

жилых и общественных зданий, а также вспомогательных зданий производственных предприятий в соответствии с нормативными требованиями [31], [69], [81], [108], [109]. В строительной практике на смену материалоемким внутренним ограждающим конструкциям приходят легкие многослойные ограждения.

В практике проектирования и строительства нашли применение следующие конструктивные решения многослойных систем: отдельные (двойные) ограждения, однослойные ограждения с гибкими плитами на отnose, сэндвич-панели, конструкции окон и конструкции междуэтажных перекрытий. Под отдельными ограждениями подразумеваются конструкции, состоящие из двух стенок, разделенных воздушной прослойкой или звукопоглощающим материалом незначительной жесткости. Преимущественное распространение получили отдельные ограждения из листовых материалов, в частности каркасно-обшивные перегородки, прежде всего конструкции звукоизоляционных перегородок поэлементной сборки фирмы КНАУФ [114] и др. [67, 68].

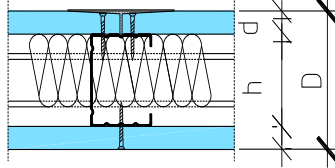
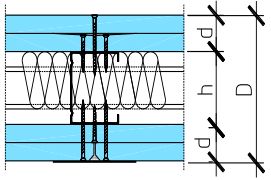
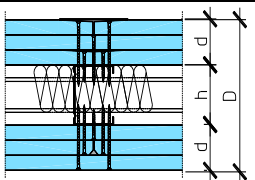
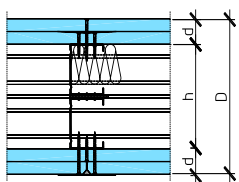
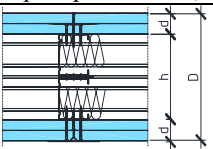
Существующие в настоящее время конструктивные решения каркасно-обшивных перегородок представляют собой легкие каркасные стеновые конструкции, включающие в себя одинарный или двойной профильный металлический (деревянный) каркас, обшитый одинарным, двойным или тройным слоем гипсокартонных (ГКЛ) или гипсоволокнистых (ГВЛ) листов с плотностью до  $1100 \text{ кг/м}^3$ , толщиной от 100 мм до 225 мм, поверхностной плотностью от 25 до  $90 \text{ кг/м}^2$  и массой от 28 до 78 кг, в воздушной прослойке которых расположен звукопоглощающий материал. Наружные листы обшивок с двух сторон приняты одинаковой толщины с жестким соединением с каркасом [70], [114]. Схемы конструктивных решений каркасно-обшивных перегородок приведены в таблице 1.1.

Каркасно-обшивные перегородки обладают следующими преимуществами перед другими типами перегородок: значительно меньшей поверхностной плотностью по сравнению с кирпичными или гипсобетонными перегородками; высокой скоростью возведения; отсутствием «мокрых» процессов при монтаже;

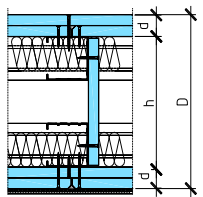
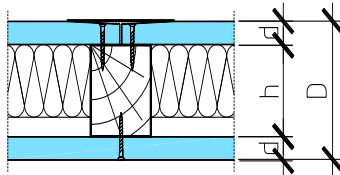
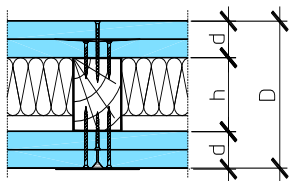
легким доступом к коммуникациям; меньшей толщиной - тонкие стеновые конструкции позволяют увеличить полезную площадь.

Таблица 1.1

## Технические и акустические характеристики каркасно-обшивных перегородок

Схемы перегородок по СП- 00.13330.2012 / «Звукоизоляционные системы KNAUF»: W111, W112, W113, W115	Технические и акустические характеристики каркасно-обшивных перегородок					
	Толщина перегородки D, мм	Ширина профиля, h, мм	Толщина обшивки, d, мм	<sup>1)</sup> Поверхностная плотность, кг/м <sup>2</sup>	Толщина звукоиз.слоя, мм	<sup>2)</sup> Звуко-изоляция, R <sub>w</sub> , дБ
C111/ W111 - одинарный металлический каркас, обшитый одним слоем гипсокартонных или гипсоволокнистых листов с обеих сторон. Масса одного кв. метра перегородки – около 28 кг. Высота перегородки до 8,0 м						
	100	75	1x12,5	25	60	45
C112 / W 112 - одинарный металлический каркас, обшитый двумя слоями гипсокартонных или гипсоволокнистых листов с обеих сторон. Масса одного кв. метра перегородки – около 53 кг. Высота перегородки до 9,0 м						
	100 125 150	50 75 100	2x12,5	45	40 60 60/100	50 52 52/54
C113 / W113 - одинарный металлический каркас, обшитый тремя слоями гипсокартонных или гипсоволокнистых листов с обеих сторон. Масса одного кв. метра перегородки – около 78 кг. Высота перегородки до 9,5 м						
	125 150 175	50 75 100	3x12,5	75	40 60 80	51 53 55
C115.1 - двойной металлический каркас, обшитый двумя слоями гипсокартонных или гипсоволокнистых листов с обеих сторон. Масса одного кв. метра перегородки – около 57 кг. Высота перегородки до 6,5 м						
	155 205 255	105 155 205	2x12,5	50	40 60 80	55 57 57
W115.2 - двойной металлический каркас, обшитый двумя слоями гипсокартонных или гипсоволокнистых листов с обеих сторон и один лист в середине. Масса одного кв. метра перегородки – около 69 кг. Высота перегородки до 6,5 м						
	155 205 255	105 155 205	2x12,5	53	2x40 2x60 80	59 60 60

## Окончание Таблицы 1.1

C116 / W115-1 - два независимых металлических каркаса с воздушным промежутком 50 мм, обшитые двумя слоями гипсокартонных или гипсоволокнистых листов с обеих сторон. Масса одного кв. метра перегородки – около 61 кг. Высота перегородки до 6,5 м						
	200	50+50	2x12,5	53	50+50	65
C121 - одинарный деревянный каркас, обшитый одним слоем гипсокартонных или гипсоволокнистых листов с обеих сторон. Масса одного кв. метра перегородки – около 32 кг. Высота перегородки до 4,1 м						
	85	60	1x12,5	30	40	38
C122 - одинарный деревянный каркас, обшитый двумя слоями гипсокартонных или гипсоволокнистых листов с обеих сторон. Масса одного кв. метра перегородки – около 57 кг. Высота перегородки до 4,1 м						
	100	60	2x12,5	50	40	46
Примечания: 1) Данные поверхностной плотности без учета изоляционного слоя. 2) $R_w$ – расчетное значение индекса звукоизоляции, без учета косвенной передачи шума через смежные строительные конструкции.						

Для практических целей оценка звукоизоляционных качеств ограждения сводится к определению одночислового показателя – индекса изоляции воздушного шума. Зависимость звукоизоляции от частоты дает качественную характеристику работы ограждения, которой является частотная характеристика изоляции воздушного шума в нормированном диапазоне частот от 100 до 3150 Гц.

Нормируемым параметром изоляции воздушного шума внутренних ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, а также вспомогательных зданий производственных предприятий является индекс изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями  $R_w$ , дБ. Нормативные значения индексов изоляции воздушного шума внутренними ограждающими

конструкциями  $R_w$ , дБ, для жилых, общественных зданий, а также для вспомогательных зданий производственных предприятий приведены в [31], [69].

Индекс изоляции воздушного шума  $R$ , дБ ограждающей конструкцией с известной (рассчитанной или измеренной) частотной характеристикой изоляции воздушного шума определяется путем сопоставления этой частотной характеристики с оценочной кривой, приведенной в [33], [71, 72].

В тех случаях, когда необходимо знать частотную характеристику звукоизоляции, чтобы ее сравнить с требуемой звукоизоляцией для ориентировочных расчетов, можно пользоваться графоаналитическим методом построения частотной характеристики, изложенным в [32], [71, 72].

Современный анализ многослойных ограждений показывает, что эти конструкции в ряде случаев не обладают достаточной звукоизоляцией в нормированном диапазоне средних и высоких частот (630...1250 Гц), вызванной резонансом системы «масса-упругость-масса» [4, 6, 8, 10, 26, 63, 93].

Дальнейшим развитием таких ограждений является разработка новых эффективных звукоизоляционных многослойных легких конструкций с обшивками разной поверхностной плотности и с разным количеством слоев обшивок [60].

В работе предлагаются асимметричные каркасные перегородки (рис. 1.1), обшивки которых выполнены из гипсокартонных листов толщиной 12,5 мм по одинарному каркасу из тонкостенного металлического профиля со звукопоглощающим материалом. Толщина обшивки гипсокартонными листами с каждой стороны каркаса принята разная, зависящая от количества листов гипсокартона: один плюс два листа (1+2) – (12,5+25 мм), один плюс три листа (1+3) – (12,5+37,5 мм) и два плюс три листа (2+3) – (25+37,5 мм).

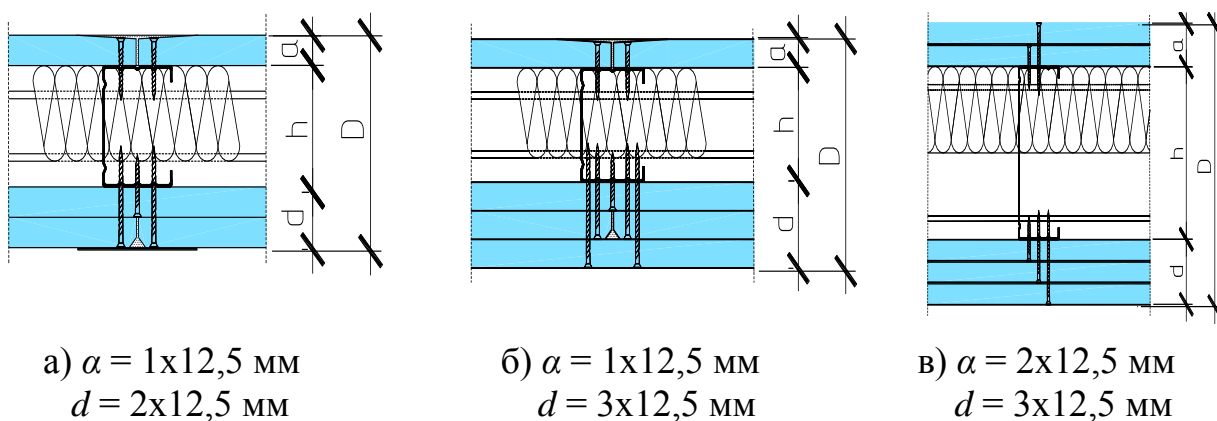


Рисунок 1.1 – Схемы асимметричных каркасных перегородок с разной толщиной обшивок из гипсокартонных листов по одинарному каркасу из тонкостенного металлического профиля со звукопоглощающим слоем:  
а)  $1 \times 12,5 + 2 \times 12,5 \text{ мм}$ ; б)  $1 \times 12,5 + 3 \times 12,5 \text{ мм}$ ; в)  $2 \times 12,5 + 3 \times 12,5 \text{ мм}$ .

Эти конструкции по сравнению с распространенными каркасно-обшивными перегородками с одинаковой толщиной обшивок и одинаковым количеством слоев, равными по поверхностной плотности, имеют более высокую звукоизоляцию за счет возникновения явления волнового совпадения, происходящего в разных частотных диапазонах.

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

## 1.2 Обзор расчетно-теоретических и экспериментальных исследований звукоизоляции многослойных легких ограждений

Исследования прохождения звука через ограждающие конструкции выполнялись достаточно давно и широко. В первую очередь были исследованы однослойные ограждающие конструкции, затем с появлением новых многослойных конструкций начали проводить исследования двойных ограждений.

Один из методов защиты от шума состоит в устройстве ограждающих конструкций, позволяющих снижать уровень проникающей в помещение звуковой энергии. Падающая звуковая волна приводит ограждение в колебательное движение с частотой, равной частоте колебания частиц в падающей волне. Поэтому ограждение становится источником излучения звука в смежное помещение. Подобная модель в предположении её безграничности была предложена Дж. Рэлеем [66]. В представлении Дж. Рэлея под воздействием звуковой энергии конструкция приходит в поршневое колебание, а звукоизоляция при этом определяется величиной поверхностной плотности  $m_{\text{п}}$ , кг/м<sup>2</sup>, и текущей частотой  $f$ , Гц, при нормальном падении на плоскость ограждения фронта звуковых волн:

$$R = 10 \lg[1 + (m_{\text{п}} \cdot \omega / 2 \cdot z_0)^2] \approx 20 \lg(m_{\text{п}} \cdot \omega / 2 \cdot z_0), \quad (1.1)$$

где  $m_{\text{п}} = \rho h$ , кг/м<sup>2</sup> – масса единицы площади плиты;  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота колебаний;  $z_0 = \rho_0 c_0$  – импеданс воздуха ( $\rho_0$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>,  $c_0$  – скорость звука в воздухе, м/с).

Несколько позднее исследования W. Westphal [128] позволили выяснить зависимость угла наклона падающей волны на направление движения прошедшей волны, на основании которой А. Schoch [122] была предложена модель ограждения в виде совокупности масс, каждая из которых может быть



представлена колебательной системой с одной степенью свободы. Звукоизоляция с учетом угла падения определяется из выражения:

$$R = 10 \lg[1 + (\omega \cdot m_{\text{п}} \cdot \cos \theta / 2 \cdot z_0)] \approx 20 \lg(\omega \cdot m_{\text{п}} \cdot \cos \theta / 2 \cdot z_0), \quad (1.2)$$

где  $m_{\text{п}}$ ,  $\omega$ ,  $z_0$  – то же, что в формуле (1.1),  $\theta$  – угол падения волны.

В общем виде задачу о прохождении звука через бесконечную пластину монохроматической волной пытался решить Н. Reisner [121] методами теории упругости. Им было установлено, что при некоторых углах падения звуковой волны на ограждение последнее становится акустически прозрачным. Величина этих углов определяется зависимостью от толщины пластины и длины звуковой волны. Однако далее этого заключения из полученных результатов выяснить не удалось, так как они оказались сложны для физического истолкования теории и эксперимента. И только L. Cremer [94, 95] удалось на основе теории изгиба тонких пластин выявить некоторые закономерности прохождения звука при нормальном падении на плоскость. L. Cremer показал, что наблюдаемое в эксперименте снижение звукоизоляции в области средних и высоких частот принципиально объясняется влиянием на процесс прохождения звука явления волнового совпадения, позволившего объяснить поведение изоляции воздушного шума для двух областей частот, до частоты волнового совпадения ( $f < f_{\text{гр}}$ ) и выше частоты волнового совпадения ( $f > f_{\text{гр}}$ ), по величине граничной частоты волнового совпадения:

$$f_{\text{гр}} = [c_0^2 \cdot (m_{\text{п}}/D)]/2\pi \cdot \sin^2 \theta, \quad (1.3)$$

где  $c_0$  – скорость распространения звука в воздухе, м/с;  $\theta$  – угол падения волны;  $m_{\text{п}}$  – то же, что в формуле (1.1);  $D$  – цилиндрическая жесткость конструкции при изгибе определяется:

$$D = E \cdot h^3 / 12 \cdot (1 - \mu^2), \quad (1.4)$$

где  $E$  – модуль упругости, кгс/см<sup>2</sup> (Па);  $h$  – толщина конструкции, см;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

В соответствии с теорией L. Cremer, каждая из этих областей частот отличается собственным механизмом прохождения звука. На частотах  $f < f_{\text{гр}}$  звукоизоляция ограждений управляется «законом массы»:

$$R = 10 \lg [1 + (\omega \cdot m_{\text{п}} \cdot \cos \theta)]^2 \cdot (1 - c_{\text{и}}^4 \cdot \sin^4 \theta / c_0^4)^{-1} \quad (1.5)$$

или проведя преобразования:

$$R = 20 \lg m_{\text{п}} \cdot f - 47,5, \quad (1.6)$$

где  $m_{\text{п}}$  – то же, что в формуле (1.1);  $f$  – частота, Гц.

А в области выше граничной частоты звукоизоляция определяется массой ограждения, частотой падающего звука, углом падения и коэффициентом потерь на внутреннее трение:

$$R = 20 \lg [\pi \cdot f_{\text{гр}} \cdot m_{\text{п}} / z_0] + 30 \lg f / f_{\text{гр}} + 10 \lg \eta, \quad (1.7)$$

где  $f_{\text{гр}}$  – граничная частота волнового совпадения, Гц;  $m_{\text{п}}$ ,  $z_0$  – то же, что в формуле (1.1),  $f$  – то же, что в формуле (1.6),  $\eta$  – коэффициент потерь, характеризующий внутреннее трение в материале конструкции.

В работе [123] А. Schoch обстоятельно проанализировал процесс распространения звука через бесконечную пластину и подтвердил выводы L. Cremer об условиях волнового совпадения при прохождении звука. Им были установлены границы действия «закона массы» для ограниченных пластин. В частности нижняя граница может определяться частотой, при которой по короткой стороне исследуемой пластины укладывается 2-3 изгибные волны. Этот размер должен быть больше длины звуковой волны, что является условием неприятия во внимание дифракционных явлений. Верхнюю границу «закона массы» можно принять для диффузно падающего звука равной  $1/2 f_{\text{гр}}$ .

Таким образом, звукоизоляция неограниченных по длине пластин практически не отличается от ограниченных по размеру пластин в пределах «закона массы».

Однако на частотах  $f > 1/2 f_{\text{гр}}$  уже оказывают влияние отраженные от краев свободные изгибные волны. Звукоизлучение в предшествующей граничную частоту области мало, и, как показали исследования K. Gosele [102] и И. И. Боголепова [14], уменьшение размеров пластин приводит к увеличению

излучения звука пластинами, следствием чего является снижение изоляции. Рассмотрение этого вопроса имеет место в работе А. Schoch [123], в которой указывается на то, что интенсивность понижения изоляции на частотах волнового совпадения определяется тем, как близко от них находятся резонансные частоты. Из этого следует, что для этой области частот изоляция воздушного звука пластинами ограниченного размера меньше, чем при тех же условиях для бесконечных. В дальнейшем Л. М. Лямшевым [50] были проведены исследования и разработана теория подобно той, которая была развита Л. Кремером, но для случая продольных колебаний пластин. Такого типа волны появляются при поперечных колебаниях сжатия в тонких, ограниченных пластинах при шарнирном опирании по контуру. Л. М. Лямшевым было установлено явление двойного резонанса, которое заключается не только в совпадении частот собственных колебаний, но и форм распределения уровня звукового давления в падающей волне и самой пластине. Таким образом, совпадение указанных условий приводит к интенсивному росту колебаний пластины и резкому снижению её изоляции. Это явление получило название пространственно-частотного резонанса. Теория Л. М. Лямшева получила экспериментальное подтверждение в ходе исследований по распределению энергии колебаний через пластины различных материалов и толщин на ультразвуковой установке. Анализ результатов позволил выявить следующую взаимосвязь: чем тоньше пластина, тем большая часть отраженной или прошедшей энергии вносится изгибными волнами.

Л. L. Beranek разделил частотную шкалу на три области: в первой области звукоизоляция ограждения управляется его жесткостью и резонансными явлениями, во второй – действует закон массы, а в третьей – преобладающее влияние на звукоизоляцию оказывает волновое совпадение и коэффициент потерь [90].

В. И. Заборовым [35] на основе теоретических исследований была подтверждена предложенная L. Cremer [95-97] модель, уточнялось наличие не двух, а трёх расчетных областей. В первой, соответствующей частотам  $f \leq 1/3 \dots 1/2 > f_{гр}$ , поведение конструкции подобно системе несвязанных

масс, а изоляция определяется поверхностной плотностью и частотой звука. Скорость распространения изгибных волн в пластине гораздо меньше звуковых волн, а жесткость не оказывает существенного влияния на изоляцию. При дальнейшем увеличении частоты скорость изгибных волн  $c_{\text{и}}$  возрастает, при этом длина изгибной волны в пластине приближается к длине следа звуковой волны.

$$c_{\text{и}} = \sqrt[4]{D\omega^2/m_{\text{п}}}, \quad (1.8)$$

где  $\omega$ ,  $m_{\text{п}}$  – то же, что в формуле (1.1);  $D$  – то же, что в формуле (1.4).

Область вторая, охватывающая диапазон частот до  $f \leq 2f_{\text{гр}}$ , характеризуется резким спадом звукоизолирующей способности ограждения и возникновением пространственно-частотного резонанса. Граничную частоту определяют при критических углах падения, приближающихся к  $90^\circ$ , когда волна скользит вдоль пластины и наблюдается условие равенства длины изгибной волны  $\lambda_{\text{и}}$  и проекции падающей звуковой волны  $\lambda_0$ . Явление пространственно-частотного резонанса при диффузном возбуждении отличает то, что каждая частота определяется соответствующим углом падения. На участке третьего расчетного диапазона, когда  $f > 2f_{\text{гр}}$ , звукоизоляция определяется жесткостью и потерями на внутреннее трение в материале пластины конечных размеров, рост изоляции составляет 7,5 дБ/октава:

$$R = 20 \lg \frac{\pi f_{\text{гр}} m_{\text{п}}}{z_0} + 30 \lg \frac{f}{f_{\text{гр}}} - 10 \lg \frac{1}{\eta} - 3, \quad (1.9)$$

где  $m_{\text{п}}$ ,  $z_0$  – то же, что в формуле (1.1);  $f$  – то же, что в формуле (1.6),  $f_{\text{гр}}$ ,  $\eta$  – то же, что в формуле (1.7).

Волновое совпадение, при котором звукоизоляция резко уменьшается, охватывает область частот от  $f_{\text{гр}}$  до  $2f_{\text{гр}}$ , т. е. примерно в пределах одной октавы. При  $f > f_{\text{гр}}$  существенное значение имеет цилиндрическая жесткость конструкции при изгибе.

Расчет и оценка звукоизолирующей способности ограждения были проведены М. Нескл [105], [107]. Как показали исследования, в области частот ниже граничной отражение свободных волн мало, их вклад в снижение изоляции незначителен. Этот вывод подтверждает теоретические выкладки А. Schoch [124].

Для частот  $f > f_{гр}$  при жестком опирании исследуемого элемента по контуру им было получено следующее выражение изоляции:

$$R = 20lg [\pi \cdot f \cdot m_{п}/z_0] - 20lg(q + 1/q) - 10lg\pi \cdot f_{гр} \cdot l/4c_0, \quad (1.10)$$

где  $q$  – периметр ограждения;  $l$  – наибольшая сторона ограждения;  $m_{п}$ ,  $z_0$  – то же, что в формуле (1.1);  $f$  – то же, что в формуле (1.6);  $f_{гр}$  – то же, что в формуле (1.7).

М. Heckl предположил, что на частотах выше граничной звукоизоляция определяется размерами ограждающей конструкции, условиями закрепления по контуру, а также соотношением цилиндрических жесткостей собственно ограждения и примыкающей конструкции.

В работе В. М. Разживина [65] изложены теоретические основы и практический метод расчета изоляции воздушного шума легкими ограждениями с учетом закрепления контура ограждения из традиционных материалов.

А. London произвел уточнение расчетной формулы звукоизоляции для реальных ограждений, введя в выражение импеданса безграничной пластины при изгибных колебаниях дополнительное слагаемое, учитывающее диссипативные потери энергии [115]. Г. Л. Осипов установил, что полученное А. London выражение может быть использовано для расчета частотной характеристики звукоизоляции однослойных ограждений. При этом слагаемое, учитывающее рассеяние энергии при прохождении звука, определяется из данных экспериментальной частотной зависимости [55]. В своих работах А. London [115], F. Fleming [101], V. M. Peutz [119] отметили, что на низких частотах экспериментально полученная звукоизоляция реальных однослойных ограждений значительно превышает расчетные величины для идеализированного случая бесконечной пластины. Для точного и полного представления механизма прохождения звука через ограждающие конструкции необходимо учитывать конечность их размеров, такие исследования были проведены А. Schoch и К. Feher [123], V. M. Peutz [120], М. Heckl [105, 106], Т. К. Kihlman [112, 113]. Однако расчетных выражений звукоизоляции, которые позволяли бы учесть реальные размеры ограждений, получено не было. R. Josse и С. Lamure [110] установили некоторую зависимость звукоизоляции от размеров ограждения

и коэффициента потерь при прохождении звука через прямоугольную шарнирно опертую однослойную пластину:

$$R = 10 \lg \left[ \left( \frac{\pi m_{\Pi} f}{z_0} \right)^2 \right] - \left[ \left( \frac{3}{4} + \frac{1}{2} \lg \left( \frac{2f}{\Delta f} \right) \right) + \frac{2c_0^2}{\pi^2 \eta f_{\Gamma} \sqrt{f f_{\Gamma}}} \frac{a^2 + b^2}{a^2 b^2} \left( 1 + \frac{2f}{f_{\Gamma}} + \frac{3f^2}{f_{\Gamma}^2} \right) \right], \quad (1.11)$$

где  $m_{\Pi}$ ;  $z_0$  – то же, что в формуле (1.1);  $c_0$  – то же, что в формуле (1.3);  $f$  – то же, что в формуле (1.6);  $f_{\Gamma}$ ,  $\eta$  – то же, что в формуле (1.7).

Однако численные значения звукоизоляции ограждений, рассчитанные по формуле (1.10), имеют расхождения с экспериментально полученными данными, особенно в диапазоне низких частот. Для расчета прохождения энергии через реальные строительные ограждающие конструкции R. Lyon и G. Maidanik использовали метод статистического энергетического анализа [117]. Затем этот метод подробно разрабатывали М. Крокер, М. Баттачария и А. Прайс [47]. При этом воздушные пространства и элементы конструкции рассматриваются как резонансные системы, а поток энергии между любыми двумя системами пропорционален разности средних энергий колебаний этих двух систем.

Теоретические и экспериментальные исследования звукоизоляции однослойных ограждающих конструкций зданий с использованием метода статистического энергетического анализа проведены С. Н. Овсянниковым [53], [118].

Физические основы механизма прохождения звука через однослойные ограждающие конструкции конечных размеров были подробно исследованы в работах М. С. Седова. Им была создана теория самосогласования волновых полей, которая устанавливает двойственный характер прохождения звука через однослойное ограждение – резонансное и инерционное прохождение [2]. М. С. Седов нашел, что для конструкций ограниченного размера между резонансными частотами происходит затухание колебаний, снижающее интенсивность прохождения звука. Был установлен эффект «пространственно-частотных резонансов», более полно характеризующий механизм прохождения звука через конструкцию, чем явление волнового совпадения. В области средних и низких частот звукоизоляция зависит от массы, частоты звука и в отличие от закона массы оценивается коэффициентом потерь и размерами ограждения.

Звукоизоляция увеличивается для конструкций с неизменной изгибной жесткостью, но с повышенным значением коэффициента потерь. М. С. Седовым было доказано, что, изменяя размеры ограждения, можно регулировать звукоизоляцию, смещая данную область превышения по частотной шкале [73, 74].

В работе М. С. Седова и В. А. Тишкова [75] выявлен характер частотных зависимостей отклика реальных пластин при разных углах падения звуковых волн. В работе приведены количественные соотношения, связывающие звукоизоляцию тонкой прямоугольной пластины с её размерами и массой, цилиндрической жесткостью при изгибе и коэффициентом потерь, частотой и углами падения звука. Дан практический метод расчета звукоизоляции с помощью номограмм и расчетных формул.

На базе теории самосогласования волновых полей проведены многочисленные исследования звукоизоляции различных типов строительных ограждений. В. Н. Бобылевым изучены вопросы прохождения звука через ограждающие конструкции на низких частотах (ниже граничной частоты полного пространственного резонанса) [10]. Теоретические выводы и инженерный метод расчета звукоизоляции реальных ограждений подтверждены многочисленными экспериментальными данными [11]. Д. В. Монич исследовал влияние цилиндрической жесткости на звукоизоляцию однослойных ограждений. Разработан инженерный метод расчета оптимальных параметров ограждающей конструкции, позволяющий эффективно использовать резервы ее звукоизоляции, определяемые соотношением собственной и предельной звукоизоляции [6], [52].

Дальнейшим развитием конструктивных решений повышения звукоизоляции является использование многослойных ограждений, процесс прохождения звука через которые имеет свои особенности.

К многослойным конструкциям относятся легкие раздельные (двойные) ограждающие конструкции, в частности каркасно-обшивные, состоящие из двух тонких внешних листовых обшивок (толщиной менее  $1/6$  длины изгибной волны) по каркасу, между которыми находится воздушный промежуток или средний слой, выполненный из различных материалов.

Одним из первых исследователей процесса прохождения звука через двойные ограждения является E. Wintergerst [129], который предложил модель ограждения в виде двух масс, не связанных между собой. В своей работе им было установлено, что при увеличении воздушного промежутка происходит повышение звукоизоляции двойного ограждения. Им также было установлено наличие провала в звукоизоляции по причине резонанса «масса – упругость – масса». Однако полученные E. Wintergerst расчетные значения звукоизоляции имели существенное расхождение с экспериментальными данными.

L. L. Beranek и G. Work [91] разработали теоретическую модель прохождения звука через бесконечное двойное ограждение при нормальном падении звука.

L. L. Beranek также рассматривал прохождение нормально падающих звуковых волн через систему чередующихся между собой слоев, используя импедансный метод [90, 92]. W. T. Thomson использовал матричный метод для описания уравнения движения [127]. В своей работе он указывает, что уравнения для отдельно взятого слоя должны быть связаны с уравнениями примыкающего слоя непрерывностью скорости частиц и нормальных, и касательных напряжений на их границе. Данный метод позволяет учесть также потери энергии в любом из составляющих ограждение слоев.

Исследования прохождения звука при диффузном падении на бесконечное двойное ограждение с воздушным промежутком проведены A. London [116], при этом он рассматривал несколько типов волн, оказывающих существенное влияние на звукоизоляцию. A. London обнаружил, что многократно отраженные звуковые волны внутри воздушного промежутка не только могут значительно снизить звукоизоляцию ограждения, но и сделать ее хуже звукоизоляции однослойного ограждения равной массы. На резонансной частоте воздух между облицовками работает как пружина, резко понижая звукоизоляцию ограждающей конструкции. Используя данную теорию, A. London получил достаточно достоверные результаты, однако для конструкций с малыми воздушными промежутками, а также в диапазоне высоких частот обнаруживались значительные расхождения теории с экспериментом.



А. Cummings и К. А. Mulholland [98] на основе лучевой теории рассчитали потери звуковой энергии при прохождении звука через воздушный промежуток двойного бесконечного ограждения.

В работах Е. С. Sewell [125] обшивки двойного ограждения с воздушным промежуток опирались шарнирно на абсолютно жесткие экраны, не имеющие между собой никаких связей. Математическая модель промежутка между обшивками представляла собой бесконечное пространство, не учитывающее отраженный звук от второй пластины. Расчет звукоизоляции выполнялся для двух областей (до граничной частоты волнового совпадения и после нее). Расчеты Е. С. Sewell показали хорошую сходимость с экспериментальными данными по сравнению с другими существовавшими на то время расчетными моделями. Позже исследователь дополнил теоретическую модель путем учета внутреннего демпфирования в материале обшивок.

В. Н. Sharp [126] получил теоретические выражения для прогнозирования звукоизоляции двойных ограждений в трех областях прохождения звука, разделенных частотой системы «масса – упругость – масса» и первым пространственным резонансом воздушного промежутка. В первой области (ниже резонансной частоты системы «масса – упругость – масса») двойное ограждение вело себя как однослойное равной массы, и рост звукоизоляции составлял 6 дБ на октаву. Во второй области, находящейся в диапазоне между граничной частотой «масса – упругость – масса» и первым пространственным резонансом воздушного промежутка, рост звукоизоляции составлял 18 дБ на октаву. В третьей области, расположенной в диапазоне выше первого пространственного резонанса воздушного промежутка, сильное влияние на прохождение звука оказывали физико-механические свойства обшивок. Модель В. Н. Sharp показала неплохую сходимость с экспериментально полученными данными.

С. Н. Овсянников и О. В. Старцева в работе [80] приводят результаты теоретических и экспериментальных исследований звукоизоляции двойных перегородок с воздушным промежуток и с заполнением звукопоглощающим материалом. Для расчета звукоизоляции двойных ограждений с воздушным

промежутком авторы используют импедансный метод. Расхождение между экспериментально и теоретически полученными значениями индекса изоляции воздушного шума исследуемой конструкции составляют 3 дБ.

А. П. Юферев на базе теории самосогласования выполнил теоретическое исследование процесса прохождения звука через двойное ограждение конечных размеров [89]. Им установлены способы регулирования звукоизоляции двойного ограждения путем изменения его геометрических размеров.

М. С. Седов внес большой вклад в исследование звукоизоляции двойных ограждений конечных размеров. На базе теории самосогласования волновых полей им была создана методика расчета двойного ограждения с воздушным промежутком с учетом резонансного и инерционного прохождения. Им были установлены основные пути прохождения звука через двойные ограждения с воздушным промежутком: прохождение через обшивки и через воздушный промежуток как самостоятельные колебательные структуры; прохождение через всю конструктивную систему в целом, звуковые колебания ограждений в которой взаимосвязаны упругостью воздуха.

I. L. Guyader и C. Lesueur [103] изучали передачу звука в диффузном звуковом поле через многослойные пластины с целью выяснения влияния механических и вязкоупругих свойств материала пластины на ослабление звука, при этом многослойная пластина заменяется некой эквивалентной однослойной пластиной. Для решения уравнения движения был использован вариационный принцип для прямоугольной свободно опирающейся пластины и получены частоты и формы мод колебаний. Потери при передаче звука исследовались в работе [104]. Получено, что повышение коэффициента потерь сглаживает резонансы на кривой звукоизоляции. Отмечено, что увеличение числа слоев в слоистой конструкции постоянной массы ведет к смещению граничной частоты волнового совпадения в область более высоких частот.

Аналитический метод изучения эффективности упругой структуры конечной плотности на акустические свойства тонкой пористой упругой пластины, жёстко закрепленной по краям, представлен в работе К. V. Horoshenkov и

К. Sakagami [111]. Метод основан на использовании уравнения Гельмгольца и Кирхгофа с применением гранично-контактных условий. Ими было проведено параметрическое исследование акустических свойств перегородки, чтобы изучить эффект изменений в параметрах пористой упругой пластины. Было показано, что тонкие легкие пористые упругие пластины могут обеспечивать высокие значения акустического поглощения даже для низкой частоты звука. Этот эффект может использоваться при проектировании компактных систем контроля над шумом с улучшенными акустическими характеристиками. Между тем полученные результаты не учитывают влияния размеров помещений в случае установки этих перегородок в различного рода объектах.

В работе Х. Бёккера [3] даны практические рекомендации по применению конструкций из гипсокартонных плит для оборудования интерьеров общественных зданий. Приведены многочисленные примеры использования плит в качестве тепло-, звукоизоляционного и пожарозащитного слоя.

В работе В. Л. Анджелова [1] рассмотрены звукоизоляционные свойства многослойных внутренних ограждающих конструкций, представлен обзор отечественного и зарубежного опыта по проектированию звукоизоляции этих конструкций. В работе Н. Г. Прищенко, Т. А. Чернышевой, Ю. И. Саливона [87] экспериментально и теоретически выполнен анализ факторов, влияющих на изоляцию воздушного шума многослойными легкими перегородками в офисных помещениях. Приведены измеренные частотные характеристики изоляции воздушного шума данных конструкций. Анализ выполненных измерений и расчетов показывает, что звукоизоляция зависит от условий монтажа каркасных перегородок, выбора конструктивных решений стыков, наличия путей косвенной передачи шума.

В работе Р. Ю. Винокура и Э. М. Лалаева [49] экспериментально и теоретически показано, что замена толстых стекол в двойных светопрозрачных ограждениях эквивалентными по поверхностной плотности стеклопакетами с тонкими воздушными прослойками приводит к существенному повышению звукоизолирующей способности конструкции. Полученные результаты

распространяются и на случай, когда пластины ограждения выполнены из других материалов.

В работе Т. А. Чернышевой [84] проведен анализ методов расчета определения необходимой звукоизоляции окон, как многослойной конструкции, с целью решения проблемы борьбы с проникающим шумом в здание.

В работе David W. Green и Cameron W. Sherry [99] были изучены вопросы снижения звука при прохождении его через многослойную перегородку, которая состоит из гипсовых листов, металлических закладных деталей. Приведены результаты теоретических исследований, проводимых этими авторами. Ими составлены статистические уравнения, основанные на показателе поверхностной плотности, и получены результаты для снижения звука при его прохождении через двойные листовые перегородки. Установлено, что основными факторами, которые влияют на снижение прохождения звука, являются поверхностная плотность, размер металлических закладных деталей и конструктивное решение элементов этих панелей.

И. И. Боголеповым были проведены серии экспериментальных исследований влияния на звукоизоляцию ограждения различных конструктивных решений акустических мостиков, приведены графики, иллюстрирующие их влияние на звукоизоляцию двустенной конструкции [16].

В работе Т.А. Чернышевой, Г. Т. Косьмина, Н. Г. Прищенко [86] представлены графики частотных характеристик изоляции воздушного шума, полученные в результате экспериментальных исследований влияния акустических мостиков на звукоизоляцию каркасно-обшивных перегородок. Предлагаемые узлы крепления обшивок с каркасом подтверждены патентами на полезную модель [61, 62]. На данный момент недостаточно исследовано влияние акустических мостиков ограждающих конструкций на их звукоизолирующие свойства в нормированном частотном диапазоне, что не позволяет рационально проектировать ограждающие конструкции повышенной звукоизоляции.

A. Dijkmans, G. Vermeir и J. W. Niggebrugge в работе [100], используя модель передаточных матриц, исследовали звукоизоляцию многослойных панелей.

Авторы отмечают недостаточную звукоизоляцию панелей с жестким наполнителем и необходимость оптимизации их параметров для использования в строительстве. В работе на основе экспериментальных данных представлена зависимость звукоизоляции многослойных панелей от модуля упругости среднего слоя и толщины внешних листовых обшивок.

В работе А. Г. Боганика исследована звукоизоляция ограждающих конструкций с гибкими бескаркасными многослойными обшивками [13].

В работах П. А. Гребнева [27, 28] на базе теории самосогласования волновых полей рассмотрены способы повышения звукоизоляции сэндвич-панелей без значительного увеличения их массы. Разработан метод расчета звукоизоляции сэндвич-панелей конечных размеров [5], учитывающий геометрические и физико-механические параметры обшивок и среднего слоя (уменьшая жесткость скелета между двумя слоями, когда средний слой максимально близок к характеристикам воздуха, можно увеличить звукоизоляцию) и толщины слоев акустического разобщения. На основании этого разработано новое, рациональное по звукоизоляции конструктивное решение сэндвич-панели с учетом акустического разобщения слоев. Экспериментально было показано, что от толщины и характера листов обшивок зависит увеличение звукоизоляции сэндвич-панелей во всем нормированном диапазоне частот и составляет величину до 14 дБ.

Работа Г. Л. Осипова, Е. Я. Юдина, Г. Хюбнера и др. [58] представляет собой международное издание, содержащее научные и практические достижения в различных странах мира по защите зданий от шума. Излагаются закономерности распространения шума в зданиях и на территориях застройки. Приводятся способы защиты от шума. Дается описание материалов, конструкций и устройств, обеспечивающих защиту от шума.

В работах Г. Л. Осипова [54, 55], Д. З. Лобашова, Е. Н. Федосеевой [57], А. А. Кочкина [40-44], А. И. Герасимова [20], Н. И. Иванова [39], И. И. Боголепова [15], [17], В. И. Заборова и др. [37], И. А. Максименко, Э. М. Лалаева [51], В. Г. Крейтана [48] изложены методы измерения уровней шума в жилых, общественных, промышленных зданиях и на территории

городской застройки, звукоизоляции ограждающих конструкций зданий, звукопоглощающих и вибропоглощающих свойств материалов и конструкций, акустических качеств помещений, шумовых характеристик технологического, санитарно-технического, инженерного оборудования зданий, эффективности глушителей шума для систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

В работах Г. Л. Осипова, В. Е. Коробкова, А. А. Климухина, С. В. Пестрякова и др. [56], Е. Я. Юдина [18, 77] приведены справочные данные по защите застройки от шума на различных стадиях проектирования города. Изложены методы оценки, нормирования и расчета уровней шума на территории застройки и в помещениях жилых и общественных зданий. Описаны основные архитектурно-планировочные и строительно-акустические способы снижения шума. Обобщен опыт проектирования и строительства шумозащищённых зданий.

Защита и способы снижения шума от систем отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВК) рассмотрены в работах [19], [29, 30], [78, 79]. Вопрос снижения воздушного и аэродинамического шума на промышленных предприятиях, селитебных территориях и в квартирах от элементов систем ОВК, расположенных в помещениях и на наружных ограждениях зданий, достигается за счет мер, основанных на методах звукоизоляции, звукопоглощения и экранирования, применяемых на стадии проектирования и в сложившейся градостроительной ситуации, рассмотрен в работах Т.А. Чернышевой, Г.Т. Косьмина [85], Н. Г. Прищенко и др. [64].

Наряду с многочисленными теоретическими исследованиями М. С. Седовым, В. Н. Бобылевым, В. А. Тишковым и др., выполнялся также большой объем экспериментальных исследований [7], [75] в акустических камерах Нижегородского архитектурно-строительного Института (ННГАСУ), больших реверберационных камерах Вологодского государственного университета (ВоГУ) и в лаборатории строительной акустики МНИИТЭПа, которые позволили уточнить фактические значения звукоизоляции простых и сложных конструкций и оценить возможности прогнозирования свойств этих конструкций. Значительный вклад в теоретические и экспериментальные исследования звукоизоляции многослойных

систем легких ограждений внесли ученые НИИСФ РААСН: Г. Л. Осипов, А. А. Климухин, М. А. Пороженко [57], [59], И. Л. Шубин, С. И. Крышов [38].

Проблемой повышения звукоизоляции реальных ограждающих конструкций зданий и сооружений занимались многие исследователи. Наиболее экономически обоснованным является способ, при котором звукоизоляционные характеристики двойного ограждения улучшаются без увеличения поверхностной плотности. Расширить диапазон частот звукоизоляции двойного ограждения возможно путем изменения соотношения цилиндрических жесткостей при изгибе листов обшивки в 8 раз. Подобные конструкции могут быть выполнены следующими способами: применением материала с различным объемным весом, разной толщиной плит обшивок, а также изменением жесткости плит конструктивным путем: ослабления поперечного сечения с помощью пропилов, нанесенных на поверхность панели с определенным шагом и на определенную глубину.

В частности исследованиями звукоизоляции ограждений с измененной цилиндрической жесткостью занимался В. И. Заборов. В работе [18] теоретически доказано, что двойное ограждение, составленное из плит одинакового веса, но с различными цилиндрическими жесткостями при изгибе, является самым выгодным, что соответствует требованиям звукоизоляции. В работе [35] на примере фанерных плит толщиной 22 мм и деревянных плит различной толщины им отмечено, что причиной повышения звукоизоляции является смещение граничной частоты волнового совпадения в область более высоких частот.

В работе В. И. Заборова [36] выполнены теоретические и экспериментальные исследования повышения звукоизоляции двойными ограждениями, позволяющие разработать практические методы расчета звукоизоляции различных типов ограждающих конструкций, которые нашли широкое применение в проектной практике.

Для выбора оптимального проектного решения необходимо иметь возможность быстро рассчитывать звукоизоляционные характеристики различных вариантов рассматриваемой конструкции. С этой целью целесообразно использовать готовые алгоритмы решения задач звукоизоляции, графики, номограммы и таблицы,

облегчающие расчет. Полученные на основе анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований характерные частотные зависимости звукоизоляции от характеристик материалов, конструкций и др. параметров с достаточным для практических целей приближением отражают фактическое влияние этих параметров на звукоизоляцию помещений. Эти зависимости положены в основу практических методов расчета, позволяющих выбрать оптимальное сочетание изменяемых при проектировании характеристик, обеспечивающие нормативную звукоизоляцию помещений. Наиболее часто используемый расчетно-графический метод – графоаналитический.

В работе М. С. Седова и А. П. Юферева [76] приведено сравнение расчетных и экспериментальных кривых звукоизоляции двойных конструкций, построенных графоаналитическим способом, который основан на многочисленных экспериментальных исследованиях, как лабораторных, так и натурных.

Таким образом, графоаналитический способ позволяет быстро прогнозировать звукоизоляцию двойных ограждений [32], [71, 72]. Однако он не раскрывает и не объясняет механизма прохождения звука для тех двойных ограждений, которые ещё не исследованы экспериментально.

В работах Т. А. Чернышевой, Г. Т. Косьмина [82, 83] исследуется вопрос повышения звукоизолирующих качеств каркасных перегородок с одинаковой и разной толщиной обшивок. Проанализирована возможность повышения звукоизолирующих качеств этих ограждений при одновременном уменьшении их массы. Управлять звукоизоляцией таких конструкций можно либо смещением критической частоты за счет материалов и параметров листов, либо применением неоднородных конструкций, цилиндрическая жесткость которых отличается не менее чем в 8 раз. Графоаналитический метод расчета показал, что звукоизоляция каркасных перегородок с разной толщиной обшивок увеличивается за счет взаимного перекрытия провалов на границах волнового совпадения. Дополнительное повышение звукоизоляции на 3...5 дБ каркасно-обшивных перегородок происходит при заполнении воздушного промежутка



звукопоглощающим материалом. Полученные теоретические результаты расчетов нуждаются в экспериментальном подтверждении.

В работах В. Н. Бобылева [9], [12] установлено, что повышение звукоизоляции ограждений с уменьшенной жесткостью происходит за счет уплотнения спектра частот собственных колебаний и снижения при этом коэффициента звукоизлучения. Полученные экспериментальные и теоретические значения звукоизоляции имеют хорошую сходимость. В работе Д. В. Монича [52] подтверждаются эти выводы.

В работах А. А. Кочкина, Л. Э. Шашковой на базе теории самосогласования волновых полей исследованы способы увеличения звукоизоляции многослойных ограждений с вибродемпфирующими слоями путем уменьшения их изгибной жесткости [45, 46], [88].

### **Выводы по главе 1 и определение основных направлений исследований**

1. Выполнен критический анализ методов теоретических расчетов в области звукоизоляции многослойных легких ограждений с позиции возможности их использования для оценки новых конструктивных решений асимметричных каркасных перегородок путем сочетания листов обшивок разной цилиндрической жесткости (толщины и материала), в результате чего получено увеличение звукоизоляции в зоне пространственного резонанса одного слоя обшивки за счет другого.

2. Выполнен анализ конструктивных решений многослойных легких ограждений на основе существующих звукоизоляционных каркасно-обшивных перегородок, определены факторы, влияющие на их звукоизоляционные характеристики.

3. Существующие в настоящее время конструктивные решения каркасно-обшивных перегородок с обшивками одинаковой толщины по каркасу не обладают достаточной звукоизоляцией. Дальнейшим развитием таких ограждений является разработка многослойных легких конструкций с обшивками разной поверхностной плотности.

4. Обоснование новых конструктивных решений многослойных легких ограждений, в частности асимметричных каркасных перегородок, необходимо выполнять на базе теории звукоизоляции ограждающих конструкций В. И. Заборова, графоаналитического метода расчета.

Для достижения поставленной цели с учетом изложенного выше определены **основные направления исследований:**

- разработка на основе теоретических исследований эффективных по звукоизоляции конструктивных решений асимметричных каркасных перегородок;
- выполнение комплекса теоретических и экспериментальных исследований асимметричных каркасных перегородок с целью изучения влияния изменения соотношения поверхностной плотности и толщины листов обшивки на звукоизоляцию этих конструкций;
- экспериментальные исследования асимметричных каркасных перегородок с устройством вибродемпфирующих соединений в местах крепления каркаса с обшивками;
- разработка методических рекомендаций по проектированию звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок, узлов их сопряжения с другими ограждающими конструкциями.

## ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ АСИММЕТРИЧНЫХ КАРКАСНЫХ ПЕРЕГОРОДОК

Исходя из результатов анализа методов расчета звукоизоляции однослойных и многослойных легких ограждений, выполненного в первой главе, установлено, что практически теория звукоизоляции ограждающих конструкций В. И. Заборова позволяет исследовать прохождение звука через двойные ограждения с учетом упругих поперечных связей между обшивками и звуковых волн, распространяющихся в воздушном промежутке. Данный подход позволяет определять дополнительную звукоизоляцию двойных ограждений и на основе полученных характерных частотных зависимостей звукоизоляции возможность выполнять расчет графоаналитическим способом.

В данной главе работы приведены аналитические выражения для расчета звукоизоляции асимметричных каркасно-обшивных перегородок с целью определения оптимальных конструктивных решений этих конструкций, удовлетворяющих требованиям звукоизоляции, при условии, что граничная частота и частота собственных колебаний находятся в крайних точках нормируемого диапазона частот от 100 до 3150 Гц.

Расчет частотных характеристик изоляции воздушного шума и определение индекса звукоизоляции  $R_w$ , дБ, выполнен по стандартной методике графоаналитическим способом для разных конструктивных решений каркасно-обшивных перегородок с обшивками из гипсокартонных листов.

## 2.1 Звукоизоляция двойных ограждений от воздушного шума

Каркасно-обшивные перегородки с обшивками из ГКЛ являются перспективными конструкциями для применения в жилых и общественных зданиях, а также вспомогательных зданиях промышленных предприятий. Данный тип ограждающих конструкций легко монтируется, имеет малый вес и почти сравним по мобильности с трансформируемыми перегородками.

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  $R = R_0 + \Delta R$ .

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 будем рассматривать асимметричную каркасно-обшивную перегородку с шарнирным опиранием по контуру в проеме акустически жесткого бесконечного экрана, на которую действует диффузное звуковое поле. Схема конструкции приведена на рисунке 2.1.

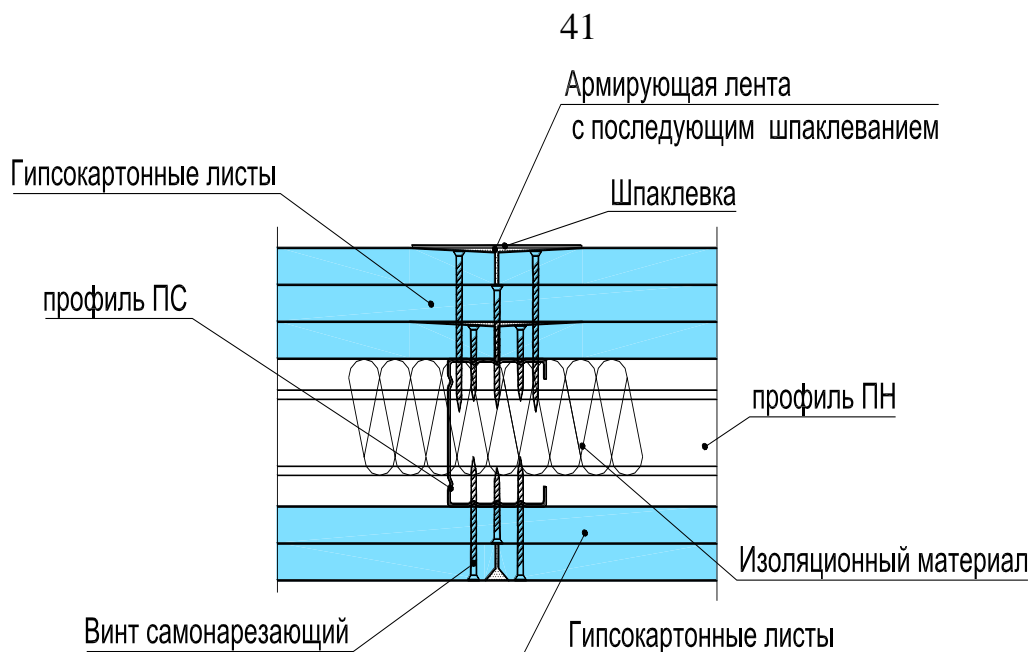


Рисунок 2.1 – Горизонтальный разрез асимметричной каркасно-обшивной перегородки с обшивкой гипсокартонными листами с двух сторон разной толщины (2х12,5 мм+3х12,5 мм) по каркасу со звукопоглощающим слоем.

Рассматриваются асимметричные каркасные перегородки, внешние листовые обшивки которых выполнены из ГКЛ плотностью от  $850 \text{ кг/м}^3$  до  $1100 \text{ кг/м}^3$ , толщиной 12,5 мм по каркасу из тонкостенного металлического профиля. Ширина воздушного промежутка принята разная: 50, 75 и 100 мм. Толщина листов обшивки из ГКЛ с двух сторон принята разная: один плюс два (1+2), один плюс три (1+3) и два плюс три (2+3) листа. Звукопоглощающий материал – минераловатные плиты «ИЗОВЕР ЗвукоЗащита» толщиной 50 мм и плотностью  $40 \text{ кг/м}^3$ .

## 2.2 Прохождение звука через однослойные ограждающие конструкции

Основополагающим элементом конструктивного решения звукоизоляции является перегородка, которая рассматривается как однослойная пластина. Поэтому важно в первую очередь оценить звукоизоляционные свойства однослойного однородного ограждения на основе теории звукоизоляции ограждающих конструкций В. И. Заборова [35]. Это даст возможность более обоснованно выбирать расчетные схемы прохождения звука через многослойные конструкции.

Под однослойными конструкциями подразумеваются конструкции, состоящие из одного или нескольких слоев, жестко связанных друг с другом. Схема прохождения звука через однослойную плоскую панель представлена на рис. 2.2.

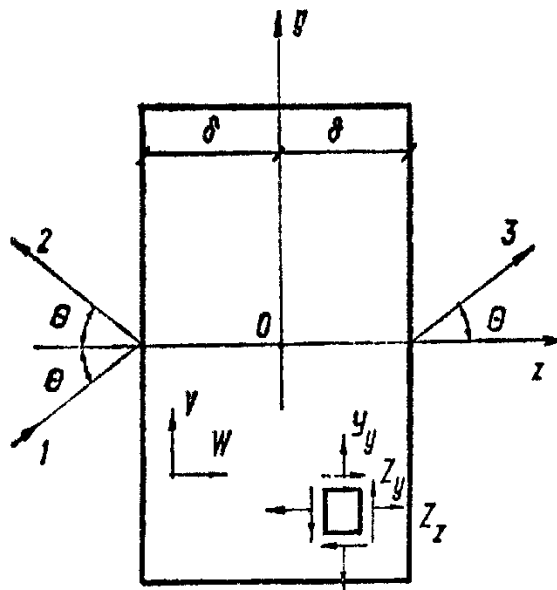


Рисунок 2.2 – Схема прохождения звука через плоскую панель.

Отношение энергии, прошедшей через конструкцию, к энергии, падающей на нее, называется коэффициентом звукопроницаемости  $\tau_\theta$ , являющимся

акустической характеристикой конструкции. 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, вычисляется по формуле:

$$\tau = \int_0^{\pi/2} \tau_\theta \sin 2\theta d\theta. \quad (2.1)$$

Звукоизоляция ограждающей конструкции  $R$ , дБ, – это величина, обратно пропорциональная коэффициенту звукопроницаемости  $\tau$ :

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau}. \quad (2.2)$$

Основное влияние на передачу звука оказывают изгибные волны. Они образуются, если толщина конструкции меньше  $1/6$  длины волны изгиба на рассматриваемой частоте. Ограждающие конструкции удовлетворяют этому условию во всем нормируемом диапазоне частот. В этом диапазоне длины изгибных волн меньше линейных размеров конструкций, поэтому в качестве модели однослойной конструкции может служить тонкая пластина с бесконечным числом степеней свободы, имеющая множество частот собственных колебаний. Величина частот собственных колебаний  $f_{mn}$  такого ограждения может быть определена по формуле:

$$f_{mn} = 0,45hc_1 [(m/a)^2 + (n/b)^2], \quad (2.3)$$

где  $h$  – толщина пластинки, м;  $c_1$  – скорость продольной волны, м/с;  $a, b$  – размеры сторон пластинки, м;  $m, n$  – любые целочисленные значения ( $m, n = 1, 2, 3 \dots$ ), определяющие количество полуволн, укладываемых в пластинке в двух направлениях. На первых резонансных частотах при малых  $m$  и  $n$  звукоизоляция такой перегородки практически равна нулю. На более высоких частотах звукоизоляция подчиняется закону массы, но тем не менее при малой толщине ограждения влиянием частот собственных колебаний нельзя пренебречь. Расчеты по формуле (2.3) показывают, что для однослойного тонкого ограждения в одной октавной полосе частот в нормируемом диапазоне (от 100 до 3150 Гц) приходится до 30 частот собственных колебаний, которые могут влиять на звукопроницаемость ограждения.

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. С увеличением частоты  $f$  уменьшается длина звуковой волны  $\lambda$ , так как  $\lambda = c/f$ .

Наконец, при определенной частоте (граничная частота) длина изгибной волны  $\lambda_{\text{и}}$  будет равна проекции длины волны  $\lambda_{\text{в}}$ , 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.

Следовательно, волновые совпадения возникают при равенстве геометрических размеров проекций длин звуковой волны на конструкцию и длины волны изгибных колебаний конструкций. При волновом совпадении распределение давления в падающей волне вдоль конструкции точно соответствует распределению амплитуд ее собственных колебаний для той же частоты, что и приводит к интенсивному росту колебаний. Граничную частоту для тонких плит, начиная с которой может возникнуть волновое совпадение, можно определить по формуле:

$$f_{\text{гр}} = \frac{c^2}{1,8c_1h}, \quad (2.4)$$

где  $c$  – скорость звука в воздухе, м/с;  $c_1$  – скорость распространения продольных звуковых волн в конструкции, м/с;  $h$  – толщина конструкции, м.

Скорость в плите равна:

$$c_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\mu^2)}}, \quad (2.5)$$

где  $E$  – модуль упругости, кгс/м<sup>2</sup> (Па);  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\rho = m/g$  – плотность среды, кг с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>.



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. Этот угол называется углом совпадения  $\theta_c$ , а для определенного угла частота, при которой происходит волновое совпадение, называется частотой совпадения.

Коэффициент звукопроницаемости тонкой плиты равен:

$$\frac{1}{\tau_\theta} = \left(1 + \eta \frac{f^2}{f_{\Gamma p}^2} \cdot \frac{\pi m_{\Pi}}{z_0} \sin^4 \theta \cos \theta\right)^2 + \left(1 - \frac{f^2}{f_{\Gamma p}^2} \sin^4 \theta\right) \left(\frac{\pi m_{\Pi} f}{z_0} \cos \theta\right)^2, \quad (2.6)$$

где  $m_{\Pi} = \rho h$ , кг/м<sup>2</sup> – масса единицы площади плиты;

$z_0 = \rho_0 c$  – удельное акустическое сопротивление воздуха ( $\rho_0$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>,  $c$  – скорость звука в воздухе, м/с).

Если  $f/f_{\Gamma p} < 0,5$ , то формулу (2.6) можно записать:

$$\tau_\theta = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi m_{\Pi} f}{z_0} \cos \theta\right)^2}. \quad (2.7)$$

Формула (2.7) соответствует звукопроницаемости ограждения, составленного из не связанных между собой масс. Если звуковая волна падает на такое ограждение нормально  $\theta = 0^\circ$ , то используя уравнение (2.2), получим формулу звукоизоляции, выражающую так называемый закон массы при нормальном падении волны:

$$R_0 = 10 \lg \left[ 1 + \left( \frac{\pi m_{\Pi} f}{z_0} \right)^2 \right], \text{ дБ}. \quad (2.8)$$

Чтобы определить закон массы при наклонном падении звуковой волны, необходимо подставить величину  $\tau_\theta$  из уравнения (2.7) в формулу (2.1) и произвести интегрирование от 0 до 90°. В результате имеем:

$$R = R_0 - 10 \lg(0.23 R_0), \text{ дБ}. \quad (2.9)$$

Отсюда видно, что при диффузном падении звука на ограждение его звукоизоляция значительно снижается (на средних и высоких частотах примерно на 10 дБ). Как показали измерения звукоизоляции, величина  $R$  находится обычно на 5 дБ ниже  $R_0$ . Формулу (2.10) называют законом массы:

$$R = 10 \lg \left[ 1 + \left( \frac{\pi m_{\text{п}} f}{z_0} \right)^2 \right] - 5 \approx 20 \lg \frac{\pi m_{\text{п}} f}{z_0} - 5 = 20 \lg m f - 47,5 \text{ дБ}, \quad (2.10)$$

где  $m_{\text{п}}$  – масса единицы площади плиты, кг/м<sup>2</sup>;  $z_0$  – удельное акустическое сопротивление воздуха, кг/м<sup>2</sup>с;  $f$  – частота, Гц.

При удвоении массы конструкции или частоты звукоизоляция возрастает в среднем на 6 дБ.

При частотах  $f > 0,5 f_{\text{гр}}$  действие закона массы теряет силу, так как величина звукоизоляции на этих частотах в связи с проявлением эффекта волнового совпадения значительно уменьшается по сравнению со значением звукоизоляции по формуле (2.10). В случае шарнирного опирания конструкции по краям на частотах звукоизоляция равна

$$R = 20 \lg \frac{\pi f_{\text{гр}} m_{\text{п}}}{z_0} + 30 \lg \frac{f}{f_{\text{гр}}} - 10 \lg \frac{1}{\eta} - 3, \text{ дБ}, \quad (2.11)$$

где  $m_{\text{п}}$  – масса единицы площади пластинки, кг/м<sup>2</sup>;  $z_0$  – удельное акустическое сопротивление воздуха, кг/м<sup>2</sup>с;  $\eta$  – коэффициент потерь, характеризующий внутреннее трение в материале конструкции.

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.

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

При  $f > f_{\text{гр}}$  существенное значение имеет цилиндрическая жесткость  $D$  конструкции при изгибе, которая равна:

$$D = \frac{E h^3}{12(1-\mu^2)}, \quad (2.12)$$

где  $E$  – модуль упругости, кгс/см<sup>2</sup> (Па);  $h$  – толщина конструкции, см;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Частота связана с цилиндрической жесткостью зависимостью:

$$f_{\text{гр}} = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{m_{\text{п}}/D}. \quad (2.13)$$

Рост звукоизоляции (при  $f > f_{гр}$ ) с повышением частоты составляет около 7,5 дБ на октаву, т.е. несколько выше, чем по закону массы.

Анализ формулы (2.6) показывает, что в области граничной частоты наблюдается значительное уменьшение величины звукоизоляции ограждающих конструкций; это уменьшение будет тем 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.

Итак, основное значение для звукоизоляции однослойного ограждения имеют обычно две области частот: область, управляемая массой, и область, где проявляется эффект волнового совпадения. Что касается области первых двух-трех резонансных частот ограждения, то она лежит, как правило, ниже нормируемого диапазона частот и в расчетах звукоизоляции может не учитываться.

Характерная частотная зависимость звукоизоляции дает возможность для использования графоаналитического метода расчета. Звукоизоляция перегородок из однородного материала определяется в зависимости от толщины перегородки и поверхностной плотности материала, из которого она выполнена.

### **2.3 Оценка изоляции воздушного шума однослойной плоской тонкой ограждающей конструкцией**

Нами выполнен расчет частотных характеристик изоляции воздушного шума и индекса изоляции  $R_w$ , дБ, однослойных плоских тонких ограждающих

конструкций из гипсокартонных листов толщиной: 12,5 мм, 25 мм (2х12,5 мм), 37,5 мм (3х12,5 мм) и 50 мм (4х12,5 мм) плотностью 1000 кг/м<sup>3</sup> (рис. 2.3 и 2.4) по стандартной методике графоаналитическим способом [32], [71, 72].

Для определения индекса изоляции воздушного шума однослойной тонкой ограждающей конструкцией из ГКЛ строится частотная характеристика изоляции воздушного шума, которая разбита на три области и изображается в виде ломаной линии, состоящей из трех прямолинейных отрезков. Значения граничной частоты волнового совпадения и границы «провала» звукоизоляции определяются в зависимости от физико-математических параметров конструкции.

В первой области рост звукоизоляции равен 4,5 дБ на октаву, во второй области происходит спад звукоизоляции вследствие явления волнового совпадения до значения граничной частоты, в третьей области идет увеличение звукоизоляции 7,5 дБ на октаву.

Для определения индекса изоляции воздушного шума  $R_w$ , дБ, необходимо определить сумму неблагоприятных отклонений данной частотной характеристики от оценочной кривой. Неблагоприятными считаются отклонения вниз от оценочной кривой. Если сумма неблагоприятных отклонений максимально приближается к 32 дБ, но не превышает эту величину, величина индекса  $R_w$  составляет 52 дБ. Если сумма неблагоприятных отклонений превышает 32 дБ, оценочная кривая смещается вниз на целое число децибел так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений не превышала указанную величину. Если сумма неблагоприятных отклонений значительно меньше 32 дБ или неблагоприятные отклонения отсутствуют, оценочная кривая смещается вверх (на целое число децибел) так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений от смещенной оценочной кривой максимально приближалась к 32 дБ, но не превышала эту величину. За величину индекса  $R_w$  принимается ордината смещенной (вверх или вниз) оценочной кривой в третьоктавной полосе со среднегеометрической частотой 500 Гц.

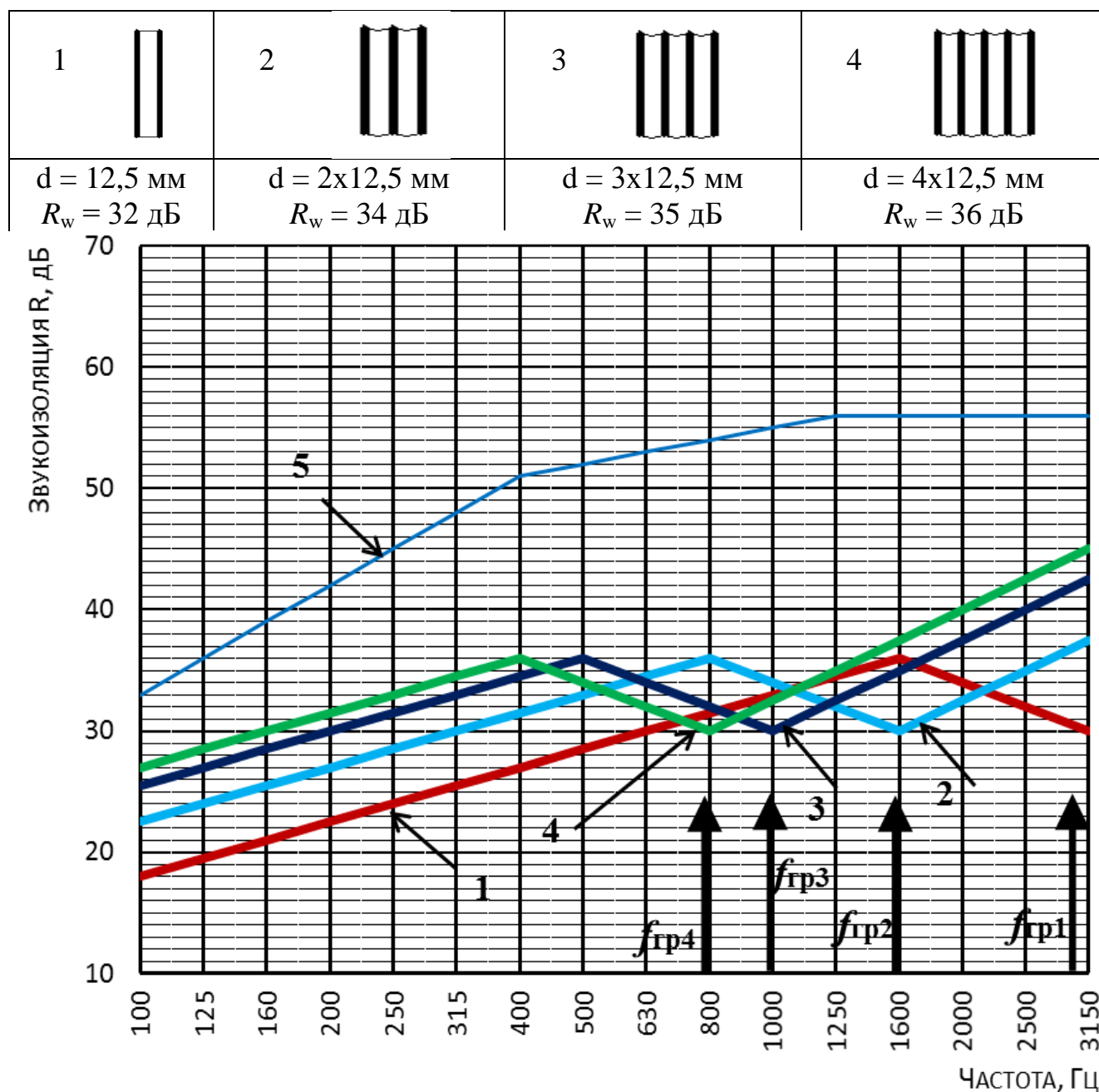


Рисунок 2.3 – Сравнение частотных характеристик однослойных тонких перегородок из гипсокартонных листов: 1 – толщиной 12,5 мм; 2 – толщиной 25 мм (2x12,5 мм); 3 – толщиной 37,5 мм (3x12,5 мм); 4 – толщиной 50 мм (4x12,5 мм); 5 – оценочная частотная характеристика изоляции воздушного шума.

Анализ результатов расчета показывает, что при изменении толщины однослойных ограждений от 50 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.

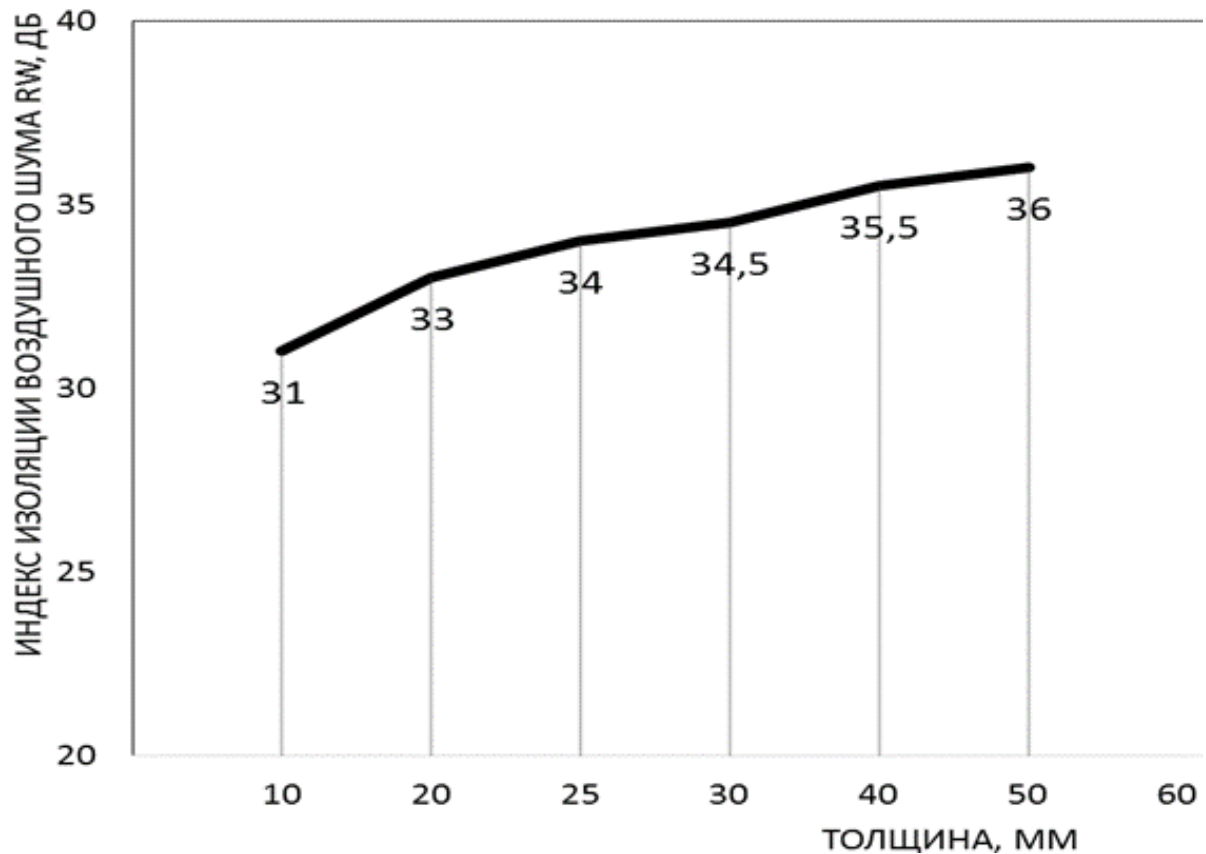


Рисунок 2.4 – Сравнение индексов изоляции воздушного шума тонких перегородок из ГКЛ толщиной: 12,5 мм -  $R_w = 32$  дБ; 25 мм (2х12,5 мм) -  $R_w = 34$  дБ; 37,5 мм (3х12,5 мм) -  $R_w = 35$  дБ и 50 мм (4х12,5 мм) -  $R_w = 36$  дБ.

Индекс изоляции воздушного шума  $R_w$  изменяется на 5 дБ, что свидетельствует о том, что традиционный закон массы к тонким ограждениям из ГКЛ не применяется, так как разность величин звукоизоляции на частоте волнового совпадения по сравнению с нормативной частотной характеристикой остается одной и той же (рис. 2.4). При этом качество звукоизоляции на низких частотах 100...315 Гц повышается примерно на 3 дБ при увеличении толщины листов в 2 раза (рис. 2.3).

Анализируя графики на рисунке 2.3, можно видеть, что однослойные тонкие перегородки не могут обеспечить удовлетворительную звукоизоляцию, т.к. из-за пространственного резонанса на частоте волнового совпадения наблюдается снижение звукоизоляции на 15...20 дБ в интервале около двух октав на средних и

высоких частотах нормированного диапазона: одному листу ГКЛ толщ. 12,5 мм соответствует граничная частота  $f_{гр1} = 3150$  Гц; двум листам ГКЛ толщ. 25 мм (2x12,5 мм) –  $f_{гр2} = 1600$  Гц, трем листам ГКЛ толщ. 37,5 мм (3x12,5 мм) –  $f_{гр3} = 1000$  Гц; четырем листам ГКЛ толщ. 50 мм (4x12,5 мм) –  $f_{гр4} = 800$  Гц.

Для устранения этого явления, ухудшающего звукоизоляцию, за таким ограждением желательно поставить следующее, другой толщины и с другой граничной частотой, которая зависит в основном от скорости продольных волн  $c$  в материале перегородки и ее толщины  $h$  и может быть определена по формуле (2.4), для взаимного перекрытия провалов звукоизоляции, как видно из рис. 2.3. 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.

За счет того, что частоты провалов однослойных тонких ограждений разные, суммарная звукоизоляция будет определяться от максимальной частоты. Поиск сочетания количества листов обшивки с разной частотой провала дает возможность достичь эффекта увеличения звукоизоляции, если объединить однослойные конструкции с граничными частотами, отличающимися между собой не менее чем в 2 раза.

Данную особенность можно использовать для проектирования эффективных каркасно-обшивных перегородок повышенной звукоизоляции.

## 2.4 Звукоизоляция двойного ограждения, составленного из двух одинаковых панелей

### 2.4.1 Ограждения с упругими поперечными связями

На основе теории звукоизоляции ограждающих конструкций В. И. Заборова [35] двойные ограждения с упругими поперечными связями характеризуются коэффициентом жесткости  $k$  (рис. 2.5). Представим эти связи в виде сплошного слоя с плотностью  $\rho_c$  и комплексной скоростью продольных волн

$$\bar{c}_1 = \sqrt{\frac{\bar{\lambda} + 2\bar{\mu}}{\rho_c}}, \quad (2.14)$$

где  $\bar{\lambda}$  и  $\bar{\mu}$  – комплексные коэффициенты Ламе.

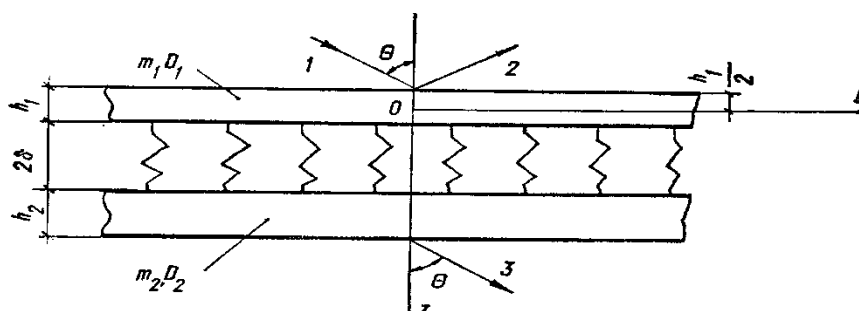


Рисунок 2.5 – Схема прохождения звука через двойное ограждение с упругими поперечными связями.

Пусть ограждение составлено из двух одинаковых плит с комплексной цилиндрической жесткостью  $\bar{D} = D(1 + i\eta)$  и массой единицы площади  $m_{\text{п}}$ , связанных между собой слоем из упругого материала. Примем, что деформации в слое происходят только в направлении, нормальном к плоскости плит. Колебательное движение  $w$  такой прокладки определяется одномерным волновым уравнением, которое при гармоническом процессе имеет вид



$$\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \overline{k_1^2} w = 0, \quad (2.15)$$

где  $\overline{k_1} = \frac{\omega}{c_1}$  - волновое число для продольных волн.

Движение плит описывается уравнениями:

$$\begin{aligned} \overline{D} \nabla^4 w_1 - m_{\Pi} \omega^2 w_1 &= q_1 + Z_z & \text{при } z = -\delta; \\ \overline{D} \nabla^4 w_2 - m_{\Pi} \omega^2 w_2 &= q_2 - Z_z & \text{при } z = \delta, \end{aligned} \quad (2.16)$$

где  $q_1 = p_1 + p_2$  при  $z = -(\delta + h)$ ;  $q_2 = -p_3$  при  $z = \delta + h$ ;

$$Z_z = (\overline{\lambda} + 2\overline{\mu}) \frac{\partial w}{\partial z}; \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} p_1 &= p_{10} \exp i k_0 [-y \sin \theta - (z + \delta + h) \cos \theta]; \\ p_2 &= p_{20} \exp i k_0 [-y \sin \theta + (z + \delta + h) \cos \theta]; \\ p_3 &= p_{30} \exp i k_0 [-y \sin \theta - (z - \delta - h) \cos \theta]. \end{aligned} \quad (2.18)$$

Здесь  $Z_z$  — нормальные напряжения в упругом слое,  $2\delta$  — его толщина.

Для случая плоской волны, падающей под углом  $\theta$ , решение уравнения (2.15) разыскиваем в виде  $w(y, z) = f(z) e^{-i k_0 y \sin \theta}$ .

Подставляя это уравнение в (2.15), получаем дифференциальное уравнение для определения неизвестной функции  $f(z)$ . Решая его, имеем

$$w = (C_1 \sin \overline{k_1} z + C_2 \sin \overline{k_2} z) e^{-i k_0 y \sin \theta}. \quad (2.19)$$

Посредством граничных условий для поверхностей слоя:  $w = w_1$  при  $z = -\delta$ ;  $w = w_2$  при  $z = \delta$  выражаем произвольные постоянные  $C_1$  и  $C_2$  через смещения плит и далее находим нормальные напряжения в слое:

$$\begin{aligned} Z_z &= \overline{k_1} \frac{\overline{\lambda} + 2\overline{\mu}}{\sin 2\overline{k_1} \delta} (w_2 - w_1 \cos 2\overline{k_1} \delta) & \text{при } z = -\delta; \\ Z_z &= \overline{k_1} \frac{\overline{\lambda} + 2\overline{\mu}}{\sin 2\overline{k_1} \delta} (w_2 \cos 2\overline{k_1} \delta - w_1) & \text{при } z = \delta. \end{aligned} \quad (2.20)$$

На низких частотах при  $(\sin 2\overline{k_1} \delta = 2\overline{k_1} \delta)$  приходим к обычному выражению упругой связи, усилия в которой пропорциональны разности смещений двух элементов плит:

$$Z_z = k(w_2 - w_1), \quad (2.21)$$

где

$$k = \frac{\lambda + 2\mu}{2\delta} . \quad (2.22)$$

Условие (2.20) указывает на пределы применимости представлений о прокладке между плитами как об упругой связи, не имеющей веса. Выражение (2.21) справедливо с ошибкой не более 25% (что соответствует ошибке при вычислении звукоизоляции до 2 дБ):

$$f \leq \frac{1}{6} \cdot \frac{c_1}{2\delta} \approx f_0 \sqrt{\frac{m_{\pi}}{2\rho_c \delta}} , \quad (2.23)$$

где –  $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_{\pi}}}$  – частота собственных колебаний плиты массой  $m_{\pi}$ , лежащей на упругом слое с коэффициентом жесткости  $k$ .

При  $2k_1\delta > \frac{\pi}{2}$  , т.е.  $f > \frac{1}{4} \cdot \frac{c_1}{2\delta}$  , выражение (2.21) становится вообще неправильным.

Подставив значения нормальных напряжений из уравнений (2.20) в (2.16), получим систему уравнений относительно  $w_1$  и  $w_2$ . Решение их ищем в виде

$$w_{1,2} = w_{10,20} e^{-ik_0 y \sin \theta} . \quad (2.24)$$

После подстановки уравнения (2.19) в (2.16) имеем

$$\begin{aligned} w_1 &= (p_1 + p_2) \frac{S}{S_0} - p_3 \bar{k}_1 \frac{\bar{\lambda} + 2\bar{\mu}}{S_0 \sin 2\bar{k}_1 \delta} ; \\ w_2 &= (p_1 + p_2) \bar{k}_1 \frac{\bar{\lambda} + 2\bar{\mu}}{S_0 \sin 2\bar{k}_1 \delta} - p_3 \frac{S}{S_0} , \end{aligned} \quad (2.25)$$

где

$$\begin{aligned} S &= m_{\pi} \omega^2 [\psi - 1 + \bar{k}_1 (\bar{\lambda} + 2\bar{\mu}) \operatorname{ctg} 2\bar{k}_1 \delta]; \\ S_0 &= S^2 - (\bar{k}_1 \frac{\bar{\lambda} + 2\bar{\mu}}{\sin 2\bar{k}_1 \delta})^2 , \quad \psi = \left( \frac{c_n}{c_0} \sin \vartheta \right)^4 . \end{aligned} \quad (2.26)$$

Используя граничные условия для поверхностей составляющих плит

$$\begin{aligned} i\omega w_1 &= \frac{p_1 - p_2}{\rho_0 c_0} \cos \vartheta \quad \text{при } z = -(\delta + h); \\ i\omega w_2 &= \frac{p_3}{\rho_0 c_0} \cos \vartheta \quad \text{при } z = \delta + h , \end{aligned} \quad (2.27)$$

исключаем  $p_2$  и находим коэффициент прохождения звука

$$A = \frac{-2i\overline{k_1} \frac{\overline{\lambda}+2\overline{\mu}}{\sin 2k_1\delta} \frac{\cos\vartheta}{\omega\rho_0 c_0}}{(1-i\nu-i\overline{k_1} \frac{\overline{\lambda}+2\overline{\mu}}{\omega\rho_0 c_0} \cos\vartheta \operatorname{ctg}\overline{k_1}\delta)(1-i\nu+i\overline{k_1} \frac{\overline{\lambda}+2\overline{\mu}}{\omega\rho_0 c_0} \cos\vartheta \operatorname{tg}\overline{k_1}\delta)}, \quad (2.28)$$

где  $\nu = 2 \frac{\psi-1}{\Delta}$  ;  $\Delta = \frac{2\rho_0 c_0}{m_{\Pi} \omega \cos\vartheta}$ .

Учтя далее, что  $\overline{\lambda} + 2\overline{\mu} = (\lambda + 2\mu)(1 + i\eta_c)$ , имеем  $\nu = \frac{2(\psi-1)}{\Delta} + 2i\eta \frac{\psi}{\Delta}$ ;

$$\overline{k_1} \frac{\overline{\lambda}+2\overline{\mu}}{\omega\rho_0 c_0} \cos\vartheta \operatorname{ctg}\overline{k_1}\delta = \frac{1}{\Delta_c} (Z_1^{(1)} + iZ_1^{(2)}); \quad (2.29)$$

$$\overline{k_1} \frac{\overline{\lambda}+2\overline{\mu}}{\omega\rho_0 c_0} \cos\vartheta \operatorname{tg}\overline{k_1}\delta = \frac{1}{\Delta_c} (Z_2^{(1)} + iZ_2^{(2)}),$$

причем  $Z_1^{(1)} = Z_c^{(1)}$  ;  $Z_1^{(2)} = Z_c^{(2)}$  ;  $Z_2^{(1)} = -Z_a^{(1)}$  ;  $Z_2^{(2)} = -Z_a^{(2)}$  ;  $\Delta_c = \frac{\rho_0 c_0}{\rho_c \delta \omega \cos\vartheta}$ .

Величина звукопроницаемости ограждения при падении на него волны под углом  $\theta$  будет

$$\tau_{\theta} = \frac{\Delta^2}{4\chi\alpha_1\alpha_2}. \quad (2.30)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \left(\frac{\Delta}{2} + \eta\psi + \frac{Z_1^{(2)}}{2\lambda_2}\right)^2 + \left(\psi - 1 + \frac{Z_1^{(1)}}{2\lambda_2}\right)^2; \\ \alpha_2 &= \left(\frac{\Delta}{2} + \eta\psi + \frac{Z_2^{(2)}}{2\lambda_2}\right)^2 + \left(\psi - 1 + \frac{Z_2^{(1)}}{2\lambda_2}\right)^2; \\ \chi &= \lambda_2^2 k_1^2 \delta^2 \cos^2 2k_1 \delta \operatorname{ch}^2 \eta_c k_1 \delta (\operatorname{tg}^2 2k_1 \delta + \operatorname{th}^2 \eta_c k_1 \delta); \\ \lambda_2 &= \frac{m_{\Pi}}{2\rho_c \delta}. \end{aligned} \quad (2.31)$$

Вычисления показывают, что величинами  $\frac{Z_1^{(1)}}{2\lambda_2}$  и  $\frac{Z_2^{(1)}}{2\lambda_2}$  на всех частотах, за исключением очень низких  $f < 1,2f_0$ , можно пренебречь по сравнению с единицей.

Исследуем сначала область частот, лежащих значительно ниже граничной частоты ( $\psi < 0,1$ ). В этом случае при достаточно больших значениях  $\lambda_2 \tau_{\theta} \approx \frac{\Delta^2}{4\chi}$ .

Отсюда находим величину дополнительной звукоизоляции по сравнению с однослойным ограждением:

$$\Delta R = 10 \lg 4\chi = 20 \lg 2\lambda_2 k_1 \delta \operatorname{ch} \eta_c k_1 \delta \cos 2k_1 \delta \sqrt{\operatorname{tg}^2 2k_1 \delta + \operatorname{th}^2 \eta_c k_1 \delta}. \quad (2.32)$$

Тогда, за исключением узких полос частот собственных колебаний слоя, лежащих около  $2k_1 \delta = n\pi$  ( $n = 1, 2, \dots$ ), при которых по толщине упругого слоя укладывается целое число полувольт, получим:

$$\Delta R = 20 \lg 2 \lambda_2 k_1 \delta \operatorname{ch} \eta_c k_1 \delta \sin 2 k_1 \delta. \quad (2.33)$$

На низких частотах выражение  $f \leq f_0 \sqrt{\frac{m_{\text{п}}}{2 \rho_c \delta}}$  переходит в формулу (2.32).

При  $f \geq f_0 \sqrt{\frac{m_{\text{п}}}{2 \rho_c \delta}}$ , если усреднить  $\sin^2 2 k_1 \delta$  в интервале не менее 1/4 октавы, имеем

$$\Delta R = 20 \lg 2 \lambda_2 k_1 \delta \operatorname{ch} \eta_c k_1 \delta - 3 \text{ дБ}. \quad (2.34)$$

При значениях  $\eta_c k_1 \delta < 0,7$  можно принять  $\operatorname{ch} \eta_c k_1 \delta = 1$ , и формула (2.34) примет вид

$$\Delta R = 20 \lg \frac{f}{f_0} + 10 \lg \frac{m_{\text{п}}}{2 \rho_c \delta} - 3 \text{ дБ}. \quad (2.35)$$

Таким образом, рост дополнительной звукоизоляции при  $f_0 \sqrt{\frac{m_{\text{п}}}{2 \rho_c \delta}} < f \leq f_{\text{гр}}$  идет примерно со скоростью 6 дБ на октаву. Без учета массы упругой прокладки и тем самым волновых явлений в связях, что справедливо при  $f < f_0 \sqrt{\frac{m_{\text{п}}}{2 \rho_c \delta}}$ , скорость роста дополнительной звукоизоляции  $\Delta R$  составляет 12 дБ на октаву.

Пусть теперь  $\psi \geq 1$ . При  $f > f_{\text{гр}}$  наибольшая звукопроницаемость  $\tau_{\theta}$  соответствует углу совпадения

$$\theta_c = \arcsin \frac{c_0}{c_{\text{и}}}. \quad (2.36)$$

Произведя интегрирование  $\tau_{\theta} \sin 2 \theta$  в области угла совпадения, получим среднюю величину звукопроницаемости

$$\tau = \frac{\pi \Delta^2}{4 \lambda_2^2 \chi} \cdot \frac{\sin^2 \theta_c}{(\gamma_1 + \frac{Z_1^{(2)} + Z_2^{(2)}}{4 \lambda_2})(\eta + \frac{Z_1^{(2)}}{2 \lambda_2})(\eta + \frac{Z_2^{(2)}}{2 \lambda_2})}. \quad (2.37)$$

Выражение для звукоизоляции запишем в виде

$$R = R_a + \Delta R \quad \text{при } f > 2 f_{\text{гр}}, \quad (2.38)$$

где  $R_a$ —звукоизоляция однослойного ограждения, а величина

$$\begin{aligned} \Delta R = & 20 \lg \lambda_2 k_1 \delta \cos 2 k_1 \delta \operatorname{ch} \eta_c k_1 \delta \sqrt{\operatorname{tg}^2 2 k_1 \delta + \operatorname{th}^2 \eta_c k_1 \delta} + \\ & 10 \lg \frac{1}{\eta} \left( \eta + \frac{Z_1^{(2)} + Z_2^{(2)}}{4 \lambda_2} \right) \left( \eta + \frac{Z_1^{(2)}}{2 \lambda_2} \right) \left( \eta + \frac{Z_2^{(2)}}{2 \lambda_2} \right) + 9 \text{ дБ} \end{aligned} \quad (2.39)$$

есть дополнительная звукоизоляция при установке второй плиты, связанной с первой упругим слоем.

Если граничная частота лежит в области низких или средних частот, что бывает при сравнительно толстых и тяжелых составляющих плитах, то  $\lambda_2$  достаточно велико. В этом случае обычно  $\eta \gg \frac{\eta_c}{2\lambda_2}$ .

Тогда при тех же предположениях, которые были использованы при выводе формулы (2.38), получим для  $f \geq f_0 \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{2\rho_c \delta}}$

$$\Delta R = 20 \lg \frac{f}{f_0} + 10 \lg \frac{m_{\Pi}}{2\rho_c \delta} - 20 \lg \frac{1}{\eta}. \quad (2.40)$$

Рост дополнительной звукоизоляции составляет 6 дБ на октаву. При малых значениях  $k_1 \delta$  (меньше  $2\pi$ )  $\Delta R$ , как это следует из анализа формулы (2.40), увеличивается со скоростью порядка 3 дБ на октаву.

В случае больших значений коэффициентов потерь  $\eta_c$  при  $\eta_c k_1 \delta > 1,1$  можно положить  $\text{th } \eta_c k_1 \delta = 1$ ;  $Z_1^{(2)} = Z_2^{(2)} = \frac{1}{k_1 \delta}$ .

Тогда для  $f > \frac{1}{3\eta_c} \cdot \frac{c_1}{2\delta} \approx \frac{2}{\eta_c} f_0 \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{2\rho_c \delta}}$  выражение примет вид

$$\Delta R = 20 \lg \frac{f}{f_0} + 10 \lg \frac{m_{\Pi}}{2\rho_c \delta} + 4,4 \frac{\eta_c f}{f_0 \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{2\rho_c \delta}}} + 10 \lg \frac{1}{\eta} \left( \eta + \frac{f_0}{f \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{2\rho_c \delta}}} \right)^3 - 3 \text{дБ} \quad (2.41)$$

Отсюда видно, что при большом внутреннем трении в слое на высоких частотах возможен очень быстрый рост дополнительной звукоизоляции.

Итак, величина дополнительной звукоизоляции  $\Delta R$  ограждения, составленного из двух плит без жесткой связи между ними по контуру с упругим промежуточным слоем, имеет следующую частотную характеристику. На низких частотах, начиная с частоты собственных колебаний, величина дополнительной звукоизоляции растет со скоростью 12 дБ на октаву; на средних частотах ( $f \geq f_0 \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{2\rho_c \delta}}$ ) рост дополнительной звукоизоляции снижается до 6 дБ на октаву, еще более уменьшаясь в области граничной частоты  $f_{\text{гр}}$ . При частотах выше граничной величина  $\Delta R$  повышается вначале со скоростью 6 дБ на октаву, а на высоких частотах скорость роста  $\Delta R$  может увеличиваться с частотой.

### 2.4.2. Ограждения с упругими поперечными и продольными связями

Рассмотрим ограждение из двух одинаковых плит, но связанных между собой упругими поперечными и продольными связями.

Разобьем действующее на ограждение звуковое давление и смещения на симметричные  $q_c$  и  $w_c$  и антисимметричные  $q_a$  и  $w_a$  части. Воспользуемся уравнениями (2.16) и запишем их в виде

$$\begin{aligned}\overline{D}\nabla^4 w_c - 2\overline{s}_c \delta_1^2 \nabla^2 w_c - m_n \omega^2 w_c &= \tilde{q}_c - 2\tilde{k}_c w_c; \\ \overline{D}\nabla^4 w_a - 2\overline{s}_a \delta_1^2 \nabla^2 w_a - m_n \omega^2 w_a &= \tilde{q}_a - 2\tilde{k}_a w_a,\end{aligned}\quad (2.42)$$

где  $\overline{k}_c$  и  $\overline{k}_a$  — комплексные коэффициенты жесткости слоя в поперечном направлении при его симметричных и антисимметричных колебаниях;  $\overline{s}_c$  и  $\overline{s}_a$  — комплексные коэффициенты жесткости слоя в продольном направлении при тех же типах колебаний.

Появление коэффициентов  $\overline{k}_a$  и  $\overline{s}_c$  вызвано силами инерции упругого слоя. Пусть скорость поперечных волн в слое  $c_2$  значительно меньше скорости звука в воздухе  $\left[\gamma = \left(\frac{c_2}{c_0} \sin \theta\right)^3 \ll d\right]$ . Тогда при симметричной поперечной нагрузке  $q_c$  смещения поверхностей слоя на основании будут:

$$w_c = \pm \frac{q_c}{\rho_c \delta \omega^2} \overline{k}_1 \delta \operatorname{tg} \overline{k}_1 \delta \quad \text{при } z = \pm \delta, \quad (2.43)$$

откуда, введя  $\overline{k}_1 = k_1 \left(1 - \frac{1}{2} i \eta_c\right)$ , имеем

$$k_c = \frac{q_c}{2w_c} = \frac{\rho_c \delta \omega^2}{2} \left(Z_{kc}^{(1)} + i Z_{kc}^{(2)}\right), \quad (2.44)$$

где  $Z_{kc}^{(1)} = Z_c^{(1)}$ ,  $Z_{kc}^{(2)} = Z_c^{(2)}$ .

Аналогично при антисимметричной нагрузке  $q_a$  получаем

$$k_a = \frac{q_a}{2w_a} = \frac{\rho_c \delta \omega^2}{2} \left(Z_{ka}^{(1)} + i Z_{ka}^{(2)}\right), \quad (2.45)$$

где  $Z_{ka}^{(1)} = Z_a^{(1)}$ ,  $Z_{ka}^{(2)} = Z_a^{(2)}$ .

Определим теперь коэффициенты жесткости слоя в продольном направлении. При антисимметричной нагрузке относительно плоскости  $z = 0$  граничные условия для поверхностей слоя будут  $Z_y = \tau_a$ ,  $Z_z = 0$  при  $z = -\delta$ ,  $z = \delta$ . Находим

$$s_a = \frac{\tau_a}{2\vartheta_a} = \frac{\rho_c \delta \omega^2}{2} \cdot \frac{\operatorname{ctg} \bar{k}_2 \delta}{k_2 \delta} = \frac{\rho_c \delta \omega^2}{2} \left( Z_{sa}^{(1)} + i Z_{sa}^{(2)} \right), \quad (2.46)$$

причем

$$Z_{sa}^{(1)} = \frac{\frac{\operatorname{tg} k_2 \delta}{\operatorname{ch}^2 \frac{1}{2} \eta_c k_2 \delta} - \frac{\eta_c}{2} \cdot \frac{\operatorname{th} \frac{1}{2} \eta_c k_2 \delta}{\cos^2 k_2 \delta}}{k_2 \delta \left( \operatorname{tg}^2 k_2 \delta + \operatorname{th}^2 \frac{1}{2} \eta_c k_2 \delta \right)}; \quad (2.47)$$

$$Z_{sa}^{(2)} = \frac{\frac{\operatorname{th} \frac{1}{2} \eta_c k_2 \delta}{\cos^2 k_2 \delta} + \frac{\eta_c}{2} \cdot \frac{\operatorname{tg} k_2 \delta}{\operatorname{ch}^2 \frac{1}{2} \eta_c k_2 \delta}}{k_2 \delta \left( \operatorname{tg}^2 k_2 \delta + \operatorname{th}^2 \frac{1}{2} \eta_c k_2 \delta \right)}; \quad k_2 = \frac{\omega}{c_2}.$$

Для симметричной нагрузки  $Z_y = \tau_c$ ,  $Z_z = 0$  при  $z = -\delta$ ;  $Z_y = -\tau_c$ ,  $Z_z = 0$  при  $z = \delta$  получаем

$$s_c = \frac{\tau_c}{2\vartheta_c} = -\frac{\rho_c \delta \omega^2}{2} \cdot \frac{\operatorname{tg} \bar{k}_2 \delta}{k_2 \delta} = \frac{\rho_c \delta \omega^2}{2} \left( Z_{sc}^{(1)} + i Z_{sc}^{(2)} \right) \quad (2.48)$$

где

$$Z_{sc}^{(1)} = \frac{\frac{\operatorname{tg} k_2 \delta}{\operatorname{ch}^2 \frac{1}{2} \eta_c k_2 \delta} + \frac{\eta_c}{2} \cdot \frac{\operatorname{th} \frac{1}{2} \eta_c k_2 \delta}{\cos^2 k_2 \delta}}{k_2 \delta \left( 1 + \operatorname{tg}^2 k_2 \delta \operatorname{th}^2 \frac{1}{2} \eta_c k_2 \delta \right)}; \quad (2.49)$$

$$Z_{sc}^{(2)} = -\frac{-\frac{\operatorname{th} \frac{1}{2} \eta_c k_2 \delta}{\cos^2 k_2 \delta} + \frac{\eta_c}{2} \cdot \frac{\operatorname{tg} k_2 \delta}{\operatorname{ch}^2 \frac{1}{2} \eta_c k_2 \delta}}{k_2 \delta \left( 1 + \operatorname{tg}^2 k_2 \delta \operatorname{th}^2 \frac{1}{2} \eta_c k_2 \delta \right)}.$$

Коэффициент прохождения звука равен:

$$A = \frac{-i\Delta(S_c - S_a)}{2\left(\frac{\Delta}{2} - iS_c\right)\left(\frac{\Delta}{2} - iS_a\right)}. \quad (2.50)$$

Здесь

$$S_c = \bar{\psi} - 1 + \frac{2}{m_n \omega^2} [\bar{S}_c (k_0 \delta_1 \sin \vartheta)^2 + \bar{k}_c]; \quad (2.51)$$

$$S_a = \bar{\psi} - 1 + \frac{2}{m_n \omega^2} [\bar{S}_a (k_0 \delta_1 \sin \vartheta)^2 + \bar{k}_a].$$

Определяем коэффициент звукопроницаемости:

$$\tau_{\theta} = \frac{\Delta^2}{4\lambda_2^2} \cdot \frac{\left[ Z_k^{(1)} - Z_s^{(1)} (k_0 \delta_1 \sin \theta)^2 \right]^2 + \left[ Z_k^{(2)} - Z_s^{(2)} (k_0 \delta_1 \sin \vartheta)^2 \right]^2}{\left[ \left( \frac{\Delta}{2} + S_{c2} \right)^2 + S_{c1}^2 \right] \left[ \left( \frac{\Delta}{2} + S_{a2} \right)^2 + S_{a1}^2 \right]}, \quad (2.52)$$

где

$$\begin{aligned} Z_k^{(1)} &= \frac{\operatorname{tg} 2k_1 \delta - \frac{\eta_c}{2} \operatorname{th} \eta_c k_1 \delta}{k_1 \delta \cos 2k_1 \delta \operatorname{ch} \eta_c k_1 \delta (\operatorname{tg}^2 2k_1 \delta + \operatorname{th}^2 \eta_c k_1 \delta)}; \\ Z_k^{(2)} &= \frac{\operatorname{th} \eta_c k_1 \delta + \frac{\eta_c}{2} \operatorname{tg} 2k_1 \delta}{k_1 \delta \cos 2k_1 \delta \operatorname{ch} \eta_c k_1 \delta (\operatorname{tg}^2 2k_1 \delta + \operatorname{th}^2 \eta_c k_1 \delta)}; \end{aligned} \quad (2.53)$$

$$Z_s^{(1)} = Z_k^{(1)}(k_2); \quad Z_s^{(2)} = Z_k^{(2)}(k_2); \quad k_0 = \frac{\omega}{c_0};$$

$$\begin{aligned} S_{c1} &= \psi - 1 + \frac{Z_{sc}^{(1)}}{2\lambda_2} (k_0 \delta_1 \sin \vartheta)^2 + \frac{Z_{kc}^{(1)}}{2\lambda_2}; \\ S_{c2} &= \frac{Z_{sc}^{(2)}}{2\lambda_2} (k_0 \delta_1 \sin \vartheta)^2 + \frac{Z_{kc}^{(2)}}{2\lambda_2} + \eta\psi; \\ S_{a1} &= \psi - 1 + \frac{Z_{sa}^{(1)}}{2\lambda_2} (k_0 \delta_1 \sin \vartheta)^2 + \frac{Z_{ka}^{(1)}}{2\lambda_2}; \\ S_{a2} &= \frac{Z_{sa}^{(2)}}{2\lambda_2} (k_0 \delta_1 \sin \vartheta)^2 + \frac{Z_{ka}^{(2)}}{2\lambda_2} + \eta\psi. \end{aligned} \quad (2.54)$$

При  $f < \frac{1}{6} \cdot \frac{c_2}{2\delta} \approx f_1 \frac{c_2}{c_1} \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{2\rho_c \delta}}$  выражение (2.52) совпадает с (2.30).

Подсчеты показывают, что, за исключением очень низких частот, вторые и третьи члены в выражениях  $S_{c1}$  и  $S_{a1}$  малы по сравнению с единицей и поэтому практически  $S_{c1} = S_{a1} = \psi - 1$ . Тогда для частот, при которых возникает явление совпадения, величина звукоизоляции определяется выражением:

$$R = R_a + \Delta R, \quad (2.55)$$

где  $R_a$  — звукоизоляция однослойного ограждения, а

$$\begin{aligned} \Delta R &= 10 \lg \frac{\lambda_2^2}{\left( Z_k^{(1)} - Z_s^{(1)} \omega \delta_1 \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{D}} \right)^2 + \left( Z_k^{(2)} - Z_s^{(2)} \omega \delta_1 \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{D}} \right)^2} + 10 \lg \frac{1}{\eta} \left[ \eta + \frac{Z_{kc}^{(2)} + Z_{ka}^{(2)}}{4\lambda_2} + \right. \\ &\left. \frac{\omega \delta_1^2}{4\lambda_2} \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{D}} \left( Z_{sc}^{(2)} + Z_{sa}^{(2)} \right) \right] \left( \eta + \frac{Z_{kc}^{(2)}}{2\lambda_2} + Z_{sc}^{(2)} \frac{\omega \delta_1^2}{2\lambda_2} \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{D}} \right) \left( \eta_{\Pi} + \frac{Z_{ka}^{(2)}}{2\lambda_2} + \frac{\omega \delta_1^2}{2\lambda_2} \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{D}} Z_{sa}^{(2)} \right) + 9 \text{ дБ}. \end{aligned}$$



Продольные связи оказывают влияние на прохождение звука главным образом при достаточно высоких частотах. Поэтому рассмотрим звукоизоляцию на

частотах  $f > \frac{1}{3\eta_c} \cdot \frac{c_1}{2\delta} \approx \frac{2}{\eta_c} f_0 \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{2\rho_c\delta}}.$

При этом  $Z_{kc}^{(2)} = Z_{ka}^{(2)} = \frac{1}{k_1\delta}, Z_{sc}^{(2)} = Z_{sa}^{(2)} = \frac{1}{k_2\delta}.$

Тогда

$$\Delta R = 20 \lg \lambda_2 k_1 \delta c h \eta_c k_1 - 10 \lg \left[ 1 - 2\omega \delta_1^2 \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{D}} \cdot \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{ch \eta_c k_1 \delta}{ch \eta_c k_2 \delta} \cdot \cos 2(k_1 - k_2) \delta + \left( \omega \delta_1^2 \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{D}} \cdot \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{ch \eta_c k_1 \delta}{ch \eta_c k_2 \delta} \right)^2 \right] + 10 \lg \frac{1}{\eta} \left( \eta + \frac{1}{2k_1 \delta \lambda_1} + \frac{\omega \delta_1}{2k_2 \lambda_2} \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{D}} \right)^3 + 9 \text{ дБ.} \quad (2.56)$$

Приближенно при достаточно больших значениях  $\lambda_2$

$$\Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2, \quad (2.57)$$

где

$$\Delta R_1 = 20 \lg \frac{f}{f_0} + 10 \lg \frac{m_{\Pi}}{2\rho_c\delta} + 4,4 \frac{\eta_c f}{f_0 \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{2\rho_c\delta}}} + 10 \lg \frac{1}{\eta} \left( \eta + \frac{f_0}{f \sqrt{\frac{m_{\Pi}}{2\rho_c\delta}}} \right)^3 - 3, \quad (2.58)$$

$$\Delta R_2 = 10 \lg \frac{1}{1 - 2\varphi f e^{-\pi \eta_c f \frac{2\delta}{c_1} \left( \frac{c_1}{c_2} - 1 \right)} \cos 2\pi f \frac{2\delta}{c_1} \left( \frac{c_1}{c_2} - 1 \right) + \varphi^2 f^2 e^{-\pi \eta_c f \frac{2\delta}{c_1} \left( \frac{c_1}{c_2} - 1 \right)}}, \quad (2.59)$$

$$\varphi = \frac{4\pi^2 f_{\text{гр}} c_2 \delta_1^2}{c_0^2 c_1}. \quad (2.60)$$

Первый член этой формулы совпадает с (2.55), а второй учитывает жесткость упругого слоя в продольном направлении и на высоких частотах должен заменить первое слагаемое.

Очевидно, что повышение звукоизоляции за счет усилий сдвига в упругом слое возможно лишь при  $\cos 2\pi f \frac{2\delta}{c_1} \left( \frac{c_1}{c_2} - 1 \right) > 0,$

т.е.  $\frac{2n - \frac{1}{2}}{2} \cdot \frac{c_2}{c_1 - c_2} \cdot \frac{c_1}{2\delta} < f < \frac{2n + \frac{1}{2}}{2} \cdot \frac{c_2}{c_1 - c_2} \cdot \frac{c_1}{2\delta} \quad (n = 0, 1, 2, \dots).$

Отсюда, в частности, видно, что формула (2.59) с ошибкой не более 2 дБ справедлива лишь при частотах  $f \leq \frac{1}{6} \cdot \frac{c_2}{c_1 - c_2} \cdot \frac{c_1}{2\delta}$ .

Наибольшее возможное повышение звукоизоляции будет при  $\cos 2\pi f \frac{2\delta}{c_1} \left( \frac{c_1}{c_2} - 1 \right) = 1$  или  $f_n \leq n \frac{c_2}{c_1 - c_2} \cdot \frac{c_1}{2\delta}$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) и равно

$$\Delta R_2 = 20 \lg \frac{1}{1 - \varphi f \exp \left[ -\pi \eta c f \frac{2\delta}{c_1} \left( \frac{c_1}{c_2} - 1 \right) \right]}. \quad (2.61)$$

Снижение звукоизоляции ( $\Delta R_2 < 0$ ) за счет продольной жесткости слоя наблюдается в области частот, при которых  $\cos 2\pi f \frac{2\delta}{c_1} \left( \frac{c_1}{c_2} - 1 \right) < 0$ , откуда

$$\frac{2n + \frac{1}{2}}{2} \cdot \frac{c_2}{c_1 - c_2} \cdot \frac{c_1}{2\delta} < f < \frac{2n + \frac{3}{2}}{2} \cdot \frac{c_2}{c_1 - c_2} \cdot \frac{c_1}{2\delta}.$$

Наибольшее снижение звукоизоляции будет на частотах  $f_n = \frac{2n+1}{2} \cdot \frac{c_2}{c_1 - c_2} \cdot \frac{c_1}{2\delta}$  и составляет

$$\Delta R_2 = 20 \lg \frac{1}{1 + \varphi f \exp \left[ -\pi \eta c f \frac{2\delta}{c_1} \left( \frac{c_1}{c_2} - 1 \right) \right]}. \quad (2.62)$$

Таким образом, формула (2.56) для определения оптимальной толщины упругого слоя, соответствующая наибольшему повышению звукоизоляции за счет связей сдвига на частоте  $f = \frac{4}{3} f_{\text{гр}}$ , переходит при наличии волновых явлений в упругом слое в выражение:

$$2\delta_1 \approx \frac{10^4}{f_{\text{гр}}} \sqrt{\frac{c_1}{c_2}} e^{\pi \eta c_2 \frac{n}{2}}. \quad (2.63)$$

В данном случае при выборе размеров ограждения следует прежде всего подобрать толщину упругого слоя  $2\delta$  таким образом, чтобы при частоте  $f = \frac{4}{3} f_{\text{гр}}$  возможно точнее удовлетворялось равенство (2.62), а затем найденное значение  $n$  подставить в (2.63).

### 2.4.3 Ограждения с воздушным промежутком

Пусть теперь ограждение, составленное из двух безграничных плит, разделено воздушным промежутком толщиной  $\delta$ . Вычисления значительно упростятся, если мы примем плиты одинаковыми. Схема передачи звука через такое ограждение при падении плоской звуковой волны под углом  $\theta$  на рисунке 2.6.

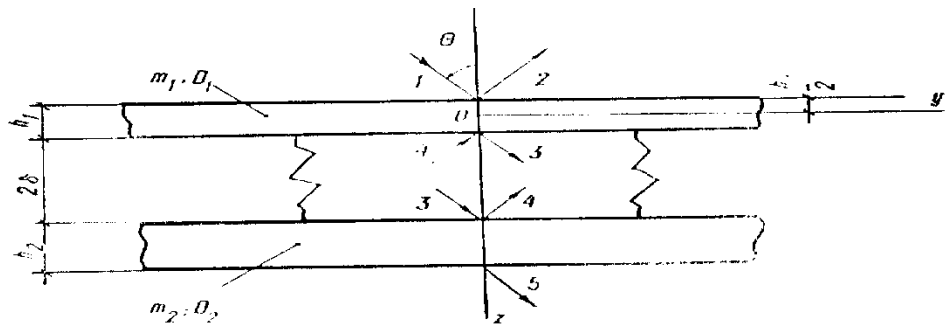


Рисунок 2.6 – Схема прохождения звука через плоскопараллельную панель с учетом распространяющейся в промежуточном слое звуковой волны.

Уравнения изгибных колебаний плит двойного ограждения имеют вид:

$$\begin{aligned} \overline{D}_1 \nabla^4 w_1 - m_n \omega^2 w_1 &= (p_1 + p_2)_{z=-\frac{h}{2}} - (p_3 + p_4)_{z=\frac{h}{2}}; \\ \overline{D}_2 \nabla^4 w_2 - m_n \omega^2 w_2 &= (p_3 + p_4)_{z=\frac{h}{2}+d} - (p_5)_{z=\frac{3h}{2}+d}, \end{aligned} \quad (2.64)$$

где давления в падающей  $p_1$ , отраженной  $p_2$  от первой плиты, прошедшей  $p_3$  через первую плиту, отраженной  $p_4$  от второй плиты и прошедшей  $p_5$  через вторую плиту волнах равны:

$$\begin{aligned} p_1 &= p_{10} \exp ik_0 \left[ -y \sin \vartheta - \left( z + \frac{h}{2} \right) \cos \theta \right]; \\ p_2 &= p_{20} \exp ik_0 \left[ -y \sin \vartheta + \left( z + \frac{h}{2} \right) \cos \theta \right]; \\ p_3 &= p_{30} \exp ik_0 \left[ -y \sin \vartheta - \left( z - \frac{h}{2} \right) \cos \theta \right]; \end{aligned} \quad (2.65)$$

$$p_4 = p_{40} \exp i k_0 \left[ -y \sin \vartheta + \left( z - \frac{h}{2} \right) \cos \theta \right];$$

$$p_5 = p_{50} \exp i k_0 \left[ -y \sin \vartheta - \left( z - \frac{3h}{2} - d \right) \cos \theta \right].$$

Зададим смещение плит в виде  $w_{1,2} = w_{10,20} e^{-i k_0 y \sin \theta}$  тогда

$$w_{10} = \frac{p_{10} + p_{20} - p_{30} - p_{40}}{m_{\Pi} \omega^2 (\psi - 1) + i \eta m_{\Pi} \omega^2};$$

$$w_{20} = \frac{p_{30} e^{-i \bar{\mu}} + p_{40} e^{i \bar{\mu}} - p_{50}}{m_{\Pi} \omega^2 (\psi - 1) + i \eta m_{\Pi} \omega^2}, \quad (2.66)$$

где  $\bar{\mu} = \mu \left( 1 - \frac{1}{2} i \eta_{\text{в}} \right)$ ;  $\mu = k_0 d \cos \vartheta$ ;  $k_0 = \frac{\omega}{c_0}$ ;  $\psi = \left( \frac{\omega}{\omega_{\text{гр}}} \right)^2 \sin^4 \vartheta$ ;  $\omega_{\text{гр}} = 2\pi f_{\text{гр}}$ ,  
 $\eta_{\text{в}}$  – коэффициент потерь воздуха.

Используя далее граничные условия для плит

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial t} = \frac{p_1 - p_2}{\rho_0 c_0} \cos \vartheta \text{ при } z = -\frac{h}{2};$$

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial t} = \frac{p_3 - p_4}{\rho_0 c_0} \cos \vartheta \text{ при } z = \frac{h}{2};$$

$$\frac{\partial \omega_2}{\partial t} = \frac{p_3 - p_4}{\rho_0 c_0} \cos \vartheta \text{ при } z = \frac{h}{2} + d;$$

$$\frac{\partial \omega_2}{\partial t} = \frac{p_5}{\rho_0 c_0} \cos \vartheta \text{ при } z = \frac{3}{2}h + d, \quad (2.67)$$

получим коэффициент прохождения звука:

$$A = \frac{p_{50}}{p_{10}} = \frac{1}{e^{i \bar{\mu}} (1 + \bar{u})^2 - e^{-i \bar{\mu}} \bar{u}^2}, \quad (2.68)$$

где  $\bar{u} = u - i v$ ;

$$u = \frac{\psi \eta}{\Delta};$$

$$v = \frac{\psi - 1}{\Delta};$$

$$\Delta = \frac{2 \rho_0 c_0}{m_{\Pi} f \cos \theta}.$$

Рассмотрим некоторые частные случаи.

Пусть  $\psi \ll 1$  и  $\sin \mu \approx \mu$ , т.е.  $f < 0,5 f_{\text{гр}}$  и  $f < c_0 / 6d$ . Тогда

$$\tau_{\theta} = |A|^2 \approx \frac{1}{1 + \frac{4}{\Delta^2} \left[ \left( \frac{k_0 d}{\Delta} \eta_B \cos \theta \right)^2 + \left( 1 - \frac{k_0 d}{\Delta} \cos \theta \right)^2 \right]} \quad (2.69)$$

Коэффициент звукопроницаемости  $\tau$  при диффузном падении звука вычисляется по формуле (2.52). Однако если при однослойных ограждениях в качестве предельного угла падения волны принимается угол, равный  $75 \dots 80^\circ$ , то при двойных ограждениях он будет, естественно, меньше. Обозначим его через  $\theta_0$ . Для частот больших удвоенной величины первой частоты собственных колебаний двойного ограждения при угле падения  $\theta_0$

$$f_0 = \frac{1}{\cos \theta_0} \sqrt{\frac{2\rho_0 c_0^2}{m_{\pi} d}}, \quad (2.70)$$

т. е. при  $\omega > 2\omega_0$ , величина звукопроницаемости равна:

$$\tau = \int_0^{\theta_0} \frac{\sin 2\vartheta d\vartheta}{1 + \left( \frac{2k_0 d}{\Delta^2} \right)^2} \approx \frac{1}{12 \sqrt[3]{4} \left( \frac{m_{\pi} f}{2\rho_0 c_0} \right)^2 \left( \frac{f}{f_p} \right)^2 \left( \frac{m_B}{m_{\pi}} \right)^{1/3}}, \quad (2.71)$$

где  $f_p = \sqrt{\frac{2\rho_0 c_0^2}{m_{\pi} d}}$  – первая частота собственных колебаний двойного ограждения при нормальном падении звука как системы двух масс величиной  $m_{\pi}$  каждая, соединенных упругой связью жесткостью  $\rho_0 c_0^2/d$ ;

$m_B = \rho_0 d$  – масса воздушного промежутка, отнесенная к единице площади.

Величина звукоизоляции однослойного ограждения в исследуемом диапазоне частот определяется законом массы. Тогда величина дополнительной звукоизоляции при установке второй плиты будет:

$$\Delta R = 20 \lg \frac{f}{f_p} + 3,3 \lg \frac{m_B}{m_{\pi}} + 18 - 10 \lg \operatorname{tg}^2 \theta_0. \quad (2.72)$$

Здесь следует обратить внимание на то, что даже на низких частотах рост дополнительной звукоизоляции составляет лишь 6 дБ на октаву вместо 12 дБ на октаву при наличии упругого промежуточного слоя. Причиной снижения звукоизоляции является распространение звуковых волн в воздушном промежутке под всевозможными углами. Отметим также, что удвоение толщины воздушного промежутка  $d$  повышает величину звукоизоляции на 4 дБ.

В области выше граничной мы можем, как обычно, ограничиться интегрированием в области угла совпадения  $\theta_c = \arcsin\left(\frac{f_{\text{гр}}}{f}\right)^{1/2}$ , полагая  $\sin \theta = (1 + \varepsilon) \sin \theta_c$ .

Тогда при  $\eta/\Delta \gg 1$  и  $\eta_B k_0 d \cos \theta_c \ll 1$  имеем

$$\tau = \int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} \frac{2 \sin^2 \theta_c \Delta_c^2 d_\varepsilon}{\left[\left(\frac{\eta}{4}\right)^2 + \varepsilon^2\right] \left\{1 + \frac{1}{\Delta_c^2} \left[\left(\frac{\eta}{4}\right)^2 + \varepsilon^2\right] \sin \mu + \frac{\varepsilon}{\Delta_c} \sin 2\mu\right\}}. \quad (2.73)$$

В результате интегрирования получим (за исключением узких полос частот, где  $\sin \mu_c = \sin k_0 d \cos \theta_c$  близок к нулю)

$$\tau \approx \frac{\pi \sin^2 \theta_c \Delta_c^4}{16 \eta^3 \sin^2 \mu_c} \quad (2.74)$$

при  $\left(\Delta_c = \frac{2 \rho_0 c_0}{m_{\text{п}} f \cos \theta}\right)$ .

Равенство  $\sin \mu = 0$  или  $\frac{n \lambda_0}{2 \cos \theta} = d$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ).

Если  $2 f_{\text{гр}} < f < c_0/6d$  ( $\sin \mu \approx \mu$ ), то величина дополнительной звукоизоляции равна

$$\Delta R = 40 \lg \frac{f}{f_0} + 20 \lg \eta - 5 \text{ дБ}. \quad (2.75)$$

При  $f > c_0/6d$ , имея в виду возбуждение ограждения звуковыми волнами и измерение величины его звукоизоляции в полосе частот, заменяем  $\sin^2 \mu$  его средним значением, равным  $1/2$  и получаем

$$\Delta R = 20 \lg \frac{m_{\text{п}} f}{2 \rho_0 c_0} + 20 \lg \eta - 7 = 20 \lg \frac{f}{f_0} + 10 \lg \frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{в}}} + 20 \lg \eta - 10 \text{ дБ}. \quad (2.76)$$

Отсюда следует, что на частотах, при которых длина звуковой волны  $\lambda_0$  меньше шестикратной толщины воздушного промежутка, звукоизоляция двойного ограждения не зависит от величин этого промежутка, согласно которым с ростом частоты влияние толщины воздушного промежутка уменьшается, а на высоких частотах становится пренебрежимо малым. Для того

же, чтобы получить удовлетворительное согласие с приведенными измерениями звукоизоляции по величине, необходимо принять  $\eta$  не менее 0,08. Значительное увеличение толщины воздушного промежутка более 14...16 см не приводит к сколько-нибудь заметному изменению средней (в интервале 100...3150 Гц) величины звукоизоляции.

## **2.5 Звукоизоляция двойного ограждения, составленного из разных панелей без связи по контуру**

Рассмотрим прохождение звука через двойное ограждение, в котором движение от одной плиты к другой передается только упругими поперечными связями, равномерно распределенными по поверхности преграды [18]. Связями служит воздух или упругий материал, помещенный в промежутке между облицовками.

Пусть на ограждение, составленное из двух различных неограниченных по протяженности тонких плит, связанных между собой упругим слоем, падает плоская звуковая волна под углом  $\theta$ .

С повышением частоты в характеристике звукоизоляции наблюдаются последовательные минимумы и максимумы. Важным фактором при анализе прохождения звука через двойное ограждение является наличие у данного ограждения области повышенного прохождения звука (провал звукоизоляции) вблизи резонансной частоты системы «масса - упругость - масса» ( $f_p$ ). Ухудшение звукоизоляции вызывается резонансными слоями воздуха между элементами конструкции; оно может быть уменьшено введением в воздушный промежуток звукопоглощающего материала. Эффективность звукопоглотителя повышается с уменьшением массы конструкции. Резонансная частота асимметричной каркасно-обшивной перегородки  $f_p$  из рассматриваемых материалов и толщиной

воздушного промежутка 50...200 мм находится в диапазоне низких частот (от 50 Гц до 100 Гц), вследствие чего ее негативное влияние на звукоизоляцию в нормируемом диапазоне частот незначительное.

Для целей данного исследования, если пренебречь влиянием распространения упругих волн в слое (усилия в слое постоянны по толщине и пропорциональны разности смещений составляющих панелей), то звукопроницаемость двойного ограждения при падении на него звуковой волны под углом  $\theta$  для частот  $f > (2 - 3)f_p$  равна:

$$\tau_{\theta} = \left( \frac{\kappa}{4\pi^2 m_1 f^2} \right)^2 \frac{\Delta^2}{(\psi_2 - 1)^2 (\lambda \beta \psi_2 - 1)^2 + \eta^2 (2\lambda \beta \psi_2 - \lambda \beta - 1)^2 \psi_2^2}, \quad (2.77)$$

где  $m_1 (p_1)$  и  $m_2 (p_2)$  – поверхностные массы первой и второй плит, кг/м<sup>2</sup>;

$$\lambda = \frac{m_2}{m_1} = \frac{p_2}{p_1}, \quad (2.78)$$

$$\beta = \frac{D_1}{D_2}, \quad (2.79)$$

$$c_{и2} = 2,5^4 \sqrt{\frac{D_2 f^2}{m_2}}, \quad (2.80)$$

$$\psi_2 = \left( \frac{c_{и2}}{c} \sin \theta \right)^4, \quad (2.81)$$

$$\Delta = \frac{z_0}{\pi m_2 f \cos \theta}, \quad (2.82)$$

$$z_0 = \rho_0 c_0, \quad (2.83)$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – цилиндрические жесткости при изгибе первой и второй плит ограждения. Приняли, что  $D_2 > D_1$ ;

$c_{и2}$  – фазовая скорость изгибной волны во второй плите;

$\eta$  – коэффициент потерь.

Подставив выражение (2.77) в формулу (2.1) найдем среднее значение звукопроницаемости двойного ограждения  $\tau$ . Наибольшая величина звукопроницаемости будет при равенстве нулю первого члена знаменателя (2.77). Вычисленные из этого условия углы падения волны являются углами совпадения для первой и второй плит, равными:

$$\sin \theta_{c1} = \frac{c}{c_{и1}}; \quad (2.84a), \quad \sin \theta_{c2} = \frac{c}{c_{и2}}, \quad (2.84)$$



где  $c_{и1}$  – фазовая скорость изгибной волны в первой плите определяется по формуле:

$$c_{и1} = 2,5 \sqrt[4]{\frac{D_1 f^2}{m_1}}. \quad (2.85)$$

Таким образом, 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 ( $D_2 > D_1$ ) и определяется по формуле (2.4).

При частотах, лежащих на 1-2 октавы ниже граничной частоты второй плиты  $f_{гр2}$ , но выше  $(2-3)f_p$ , значение звукоизоляции двойного ограждения в соответствии с (2.14) выражается формулой:

$$R = R_1 + \Delta R_1, \text{ дБ}, \quad (2.86)$$

где  $R_1$  – звукоизоляция второй плиты, согласно закону массы определяется по формуле (2.10);  $\Delta R_1$  – дополнительная звукоизоляция двойного ограждения по сравнению с однослойным определяется по формуле:

$$\Delta R_1 = 40 \lg \frac{f}{f_1}, \text{ дБ}, \quad (2.87)$$

где  $f_1$ , Гц – частота собственных колебаний первой плиты весом  $p_1$ , кг/м<sup>2</sup>, лежащей на упругом слое с приведенным коэффициентом жесткости  $k$ , кг/м<sup>3</sup>:

$$f_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k}{p_1}}. \quad (2.88)$$

Выше граничной частоты  $f_{гр2}$  величина звукоизоляции двойного ограждения, составленного из различных панелей, определяется по формуле:

$$R = R_2 + \Delta R_2, \quad (2.89)$$

где  $R_2$  – звукоизоляция второй плиты, определяется по формуле (2.11);  $\Delta R_2$  – дополнительная звукоизоляция двойного ограждения по сравнению с однослойным, определяется по формуле:

$$\Delta R_2 = 40 \lg \frac{f}{f_1} - 20 \lg \frac{1}{1 - \lambda \beta}, \text{ дБ}, \quad (2.90)$$

где  $f_1$  – то же, что в формуле (2.88),  $\lambda$  – то же, что в формуле (2.78),  $\beta$  – то же, что в формуле (2.79).

Если ограждение составлено из двух одинаковых панелей весом  $m$  ( $p$ ) кг/м<sup>2</sup> каждая, то выражение значения звукоизоляции для частот, лежащих ниже граничной частоты, совпадает с формулой (2.86), а при  $f > f_{гр}$  равно

$$\Delta R_2 = 40 \lg \frac{f}{f_1} - 20 \lg \frac{1}{\eta} + 3, \text{ дБ}, \quad (2.91)$$

где  $f_1$  – то же, что в формуле (2.88), Гц.

Из формул (2.87), (2.90) и (2.91) видно, что рост величины дополнительной звукоизоляции двойного ограждения идет со скоростью 12 дБ на октаву (за исключением области граничной частоты).

Поскольку в формулах не учитывалось распространение упругой волны в слое, то необходимо наложить дополнительное условие, что длина продольной волны  $c_1$  в слое должна быть не меньше шестикратной его толщины.

Формулы (2.87), (2.90) и (2.91) справедливы при  $f < \frac{c_1}{6d} \approx f_1 \sqrt{\frac{p_1}{p_c}}$ , Гц, где  $d$  – толщина упругого слоя;  $p_c$  – поверхностный вес упругого слоя.

Сравним величину звукоизоляции двойного ограждения из разных панелей со значением звукоизоляции ограждения, составленного из двух одинаковых панелей, при одинаковом общем весе и равных значениях частот  $f_{гр2} = f_{гр}$ , где  $f_{гр2}$  и  $f_{гр}$  относятся соответственно ко второй плите ограждения из различных панелей и к двойному ограждению из одинаковых плит. В этом случае за счет различия составляющих панелей на частотах выше граничной происходит дополнительное улучшение звукоизоляции, равное

$$\Delta R_{доп} = 20 \lg \frac{\lambda(1-\lambda\beta)}{\eta(1+\lambda)^2} + 9 = 20 \lg \frac{p_1 p_2}{\eta(p_1 + p_2)^2} \left[ 1 - \left( \frac{c_{и1}}{c_{и2}} \right)^2 \right] + 9, \text{ дБ}. \quad (2.92)$$

Отсюда видно, что влияние отношения весов  $\lambda = p_2/p_1$  и цилиндрических жесткостей при изгибе  $\beta = D_1/D_2$  плит на величину дополнительной звукоизоляции двойного ограждения тем значительнее, чем меньше величина внутреннего трения  $\eta$  в материале ограждения.

Наибольшую величину  $\Delta R_{доп}$  имеет при  $\beta = 0$  и  $\lambda = 1$ , т.е.  $D_1 = 0$  и  $p_1 = p_2$ . При этом дополнительная звукоизоляция определяется по формуле:

$$\Delta R_{\text{доп}} = 20 \lg \frac{1}{\eta} - 3, \text{ дБ.} \quad (2.93)$$

Поэтому наиболее целесообразными являются отдельные перегородки, составленные из облицовок одинаковой массы, но с различными цилиндрическими жёсткостями при изгибе.

Подобные конструкции могут быть выполнены, например, следующими способами: применением материалов с различной объемной массой, различных толщин облицовок, а также изменением жесткости плит конструктивным путем: образованием выступов (ребер) на поверхности ограждения через определенные расстояния в двух направлениях или устройством впадин, или посредством одновременного применения одной панели с ребрами, а другой со впадинами. На практике можно добиться величины порядка 5...10 дБ.

Анализ формулы (2.14) показал, что изменение толщин слоев конструкции в 2 раза меняет граничную частоту в 2 раза, за счет чего происходит взаимное перекрывание провала звукоизоляции одной конструкцией другой.

Рассмотрим теперь случай, когда колебательное движение одной панели передается другой как упругими связями, так и звуковыми волнами, распространяющимися в воздушном промежутке двойного ограждения, не занятом связями. Последние располагаются в этом промежутке в виде отдельных равномерно распределенных по поверхности плит упругих прокладок, характеризуемых приведенным коэффициентом жесткости  $k$ .

За счет распространения звука в воздушном промежутке звукопроницаемость двойного ограждения повышается на величину

$$\frac{1}{\tau_0} = \left[ 1 + \frac{2\pi f z_0}{k \cos \theta \sin\left(\frac{2\pi f d}{c} \cos \theta\right)} \right]^2. \quad (2.94)$$

Условие резонанса для воздуха, заключенного в промежутке между плитами

$$\sin\left(\frac{2\pi f d}{c} \cos \theta\right) = 0, \quad (2.95)$$

приводит к выражению

$$\frac{m\lambda_B}{2 \cos \theta} = d \quad (m = 1, 2, 3, \dots), \quad (2.96)$$

где  $\lambda_B$  — длина звуковой волны в воздухе.

Таким образом, явление резонанса воздуха в промежутке между плитами возникает каждый раз, когда след целого числа полуволн на отрезке  $d$  равен последнему.

Условие (2.95) выполняется в области частот до 3150 Гц при ширине воздушного промежутка более 0,05 м. По мере увеличения промежутка снижаются частоты, при которых становятся возможными резонансные колебания, и тем расширяется область частот, где наблюдается уменьшение звукоизоляции двойного ограждения из-за возникновения резонансных явлений.

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

На частотах ниже частоты собственных колебаний  $f_{mn}$  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 ( $\lambda_1 < 6d$ ).

Для подавления резонансных колебаний воздуха, заключенного в промежутке между панелями, 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.

Характерная частотная зависимость звукоизоляции двойного ограждения дает возможность выполнять расчет графоаналитическим методом, в котором используют непосредственные зависимости нормируемых характеристик звукоизоляции от изменяемых при проектировании параметров конструкций. Результаты расчетов изоляции воздушного шума в нормируемом диапазоне частот для разных конструктивных решений каркасно-обшивных перегородок, представлены в разделе 2.6.

## 2.6 Оценка изоляции воздушного шума однослойных, симметричных и асимметричных каркасно-обшивных конструкций

Нами проведены расчеты частотных характеристик изоляции воздушного шума и определены индексы изоляции воздушного шума  $R_w$ , дБ, каркасно-обшивных перегородок, следующих конструктивных решений: симметричных (с одинаковым количеством листов облицовки с двух сторон по каркасу) и асимметричных (с разным количеством листов облицовки с двух сторон по каркасу) для определения оптимальных конструктивных решений каркасно-обшивных перегородок, которые удовлетворяют 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.

Расчет частотной характеристики изоляции воздушного шума и индекса звукоизоляции  $R_w$ , дБ симметричных (базовых) каркасно-обшивных перегородок с обшивкой из ГКЛ: по одному листу ГКЛ (1x12,5 мм+1x12,5 мм) и по два листа ГКЛ (2x12,5 мм+2x12,5 мм), установленных с разным воздушным промежутком 50, 100, 150 и 200 мм выполнен в графической форме (рис. 2.7 и 2.8).

Расчет изоляции воздушного шума каркасно-обшивной перегородкой с обшивкой из ГКЛ одинаковой толщины с двух сторон по каркасу с воздушным промежутком между ними проводится в следующей последовательности. Частотная характеристика изоляции воздушного шума строится по частотной характеристике однослойного тонкого плоского ограждения с учетом величины дополнительной звукоизоляции на увеличение поверхностной плотности обшивки и толщины воздушного промежутка. Определяется частота резонанса. Индекс звукоизоляции воздушного шума  $R_w$ , дБ, каркасно-обшивной перегородки по известной частотной характеристике звукоизоляции находят методом последовательных попыток: сдвигая оценочную кривую и проверяя выполнение одного из указанных выше условий.

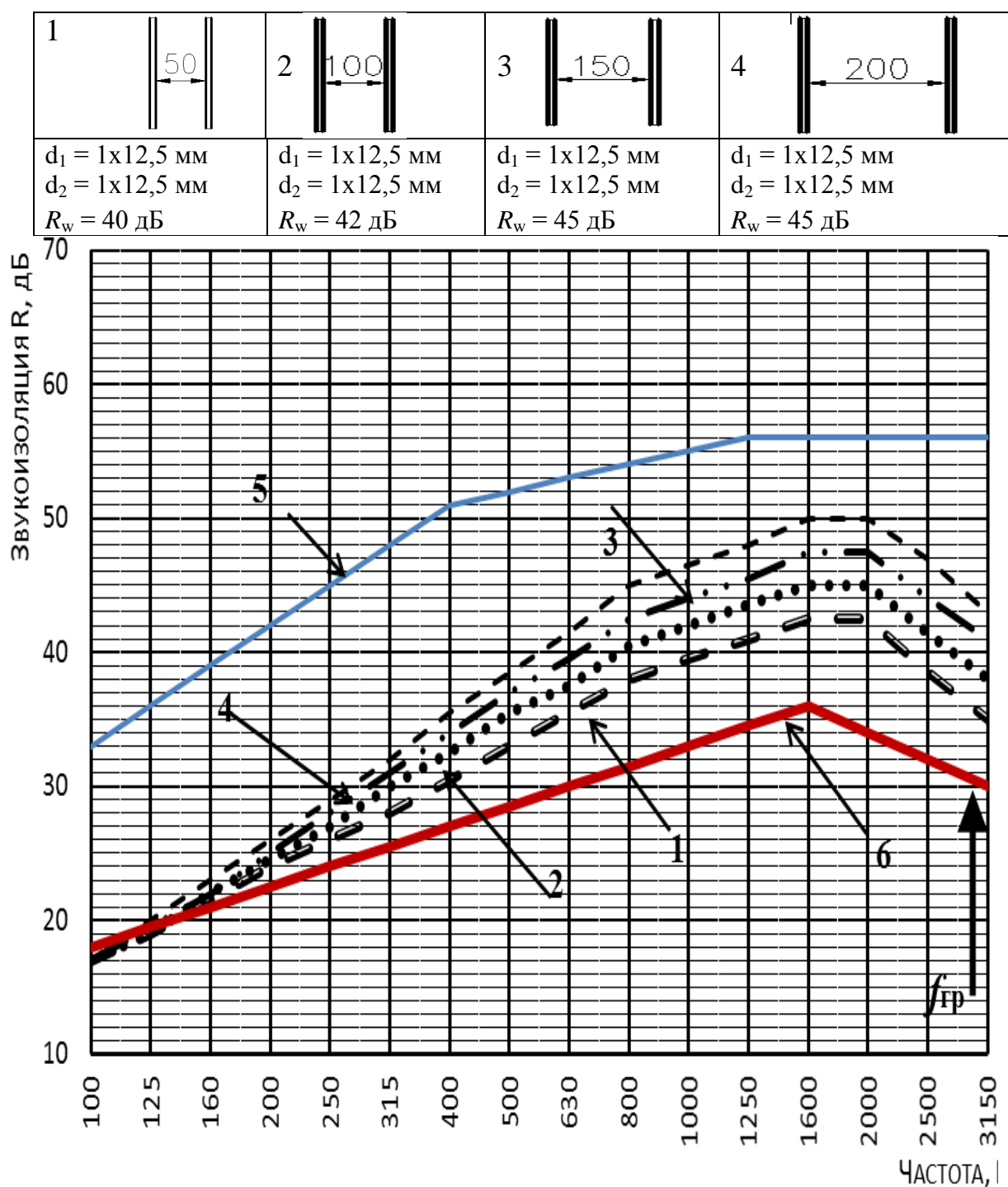
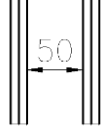
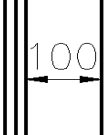
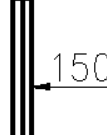



Рисунок 2.7 – Сравнение частотных характеристик изоляции воздушного шума симметричных каркасно-обшивных перегородок с обшивками из ГКЛ по одному листу с двух сторон по каркасу (1x12,5 мм+1x12,5 мм) с разным воздушным промежутком: 1 – воздушный промежуток 50 мм; 2 – воздушный промежуток 100 мм; 3 – воздушный промежуток 150 мм; 4 – воздушный промежуток 200 мм; 5 – оценочная частотная характеристика изоляции воздушного шума; 6 – однослойная плоская тонкая перегородка толщ. 12,5 мм.

1		2		3		4	
$d_1 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$ $d_2 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$		$d_1 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$ $d_2 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$		$d_1 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$ $d_2 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$		$d_1 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$ $d_2 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$	
$R_w = 42 \text{ дБ}$		$R_w = 47 \text{ дБ}$		$R_w = 49 \text{ дБ}$		$R_w = 51 \text{ дБ}$	

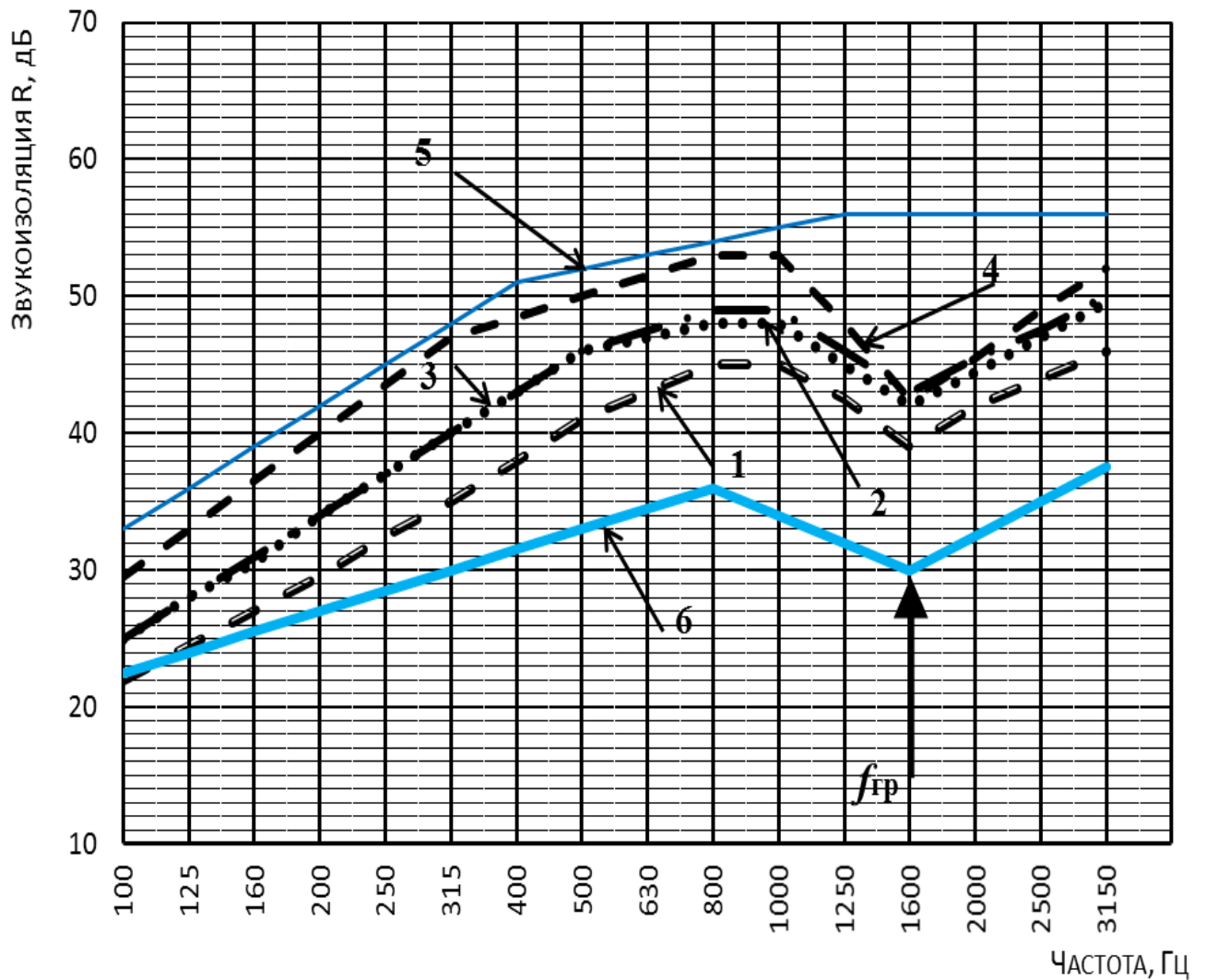


Рисунок 2.8 – Сравнение частотных характеристик изоляции воздушного шума симметричных каркасно-обшивных перегородок с обшивками из ГКЛ по два листа с двух сторон по каркасу ( $2 \times 12,5 \text{ мм} + 2 \times 12,5 \text{ мм}$ ) с разным воздушным промежутком: 1 – воздушный промежуток 50 мм; 2 – воздушный промежуток 100 мм; 3 – воздушный промежуток 150 мм; 4 – воздушный промежуток 200 мм; 5 – оценочная частотная характеристика изоляции воздушного шума; 6 – однослойная плоская тонкая перегородка толщ. 25 мм ( $2 \times 12,5 \text{ мм}$ ).

Из графиков видно, что граничная частота тонких листовых материалов располагается в верхней части нормируемого диапазона частот. Этим объясняется большая глубина резонансного провала на частотной характеристике симметричных каркасно-обшивных перегородок. Этот провал характерен как для материала обшивки, испытываемого отдельно, так и для симметричных каркасно-обшивных перегородок с заполнением воздушного промежутка звукопоглощающим материалом.

Анализ результатов расчетов показывает, что при применении симметричных каркасно-обшивных перегородок с воздушным промежутком индекс изоляции  $R_w$ , дБ, ограждения увеличивается на 8...9 дБ, по сравнению с однослойной конструкцией, за счет удвоения массы и раздельной конструкции. Увеличение воздушного промежутка в два раза дает еще дополнительный эффект примерно на 2...3 дБ.



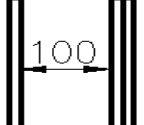
Добавление второго слоя гипсокартона в обшивках увеличивает индекс звукоизоляции на 6...11 дБ. Это увеличение не имеет выраженной зависимости от других конструктивных параметров и в среднем составляет 9 дБ. Такой рост изоляции воздушного шума нельзя объяснить только увеличением поверхностной плотности обшивок. Важное значение имеет то обстоятельство, что удвоение массы обшивок происходит при увеличении ее жесткости тоже в 2 раза, в результате чего сохраняется положение граничной частоты. В случае применения обшивок из одного слоя удвоенной толщины такой эффект невозможен.

Значение индекса звукоизоляции для симметричных каркасно-обшивных перегородок определяется в основном снижением звукоизоляции на частоте волнового совпадения. Величина индекса изоляции составляет для конструкций из четырех-шести листов ГКЛ 42...51 дБ. При применении раздельных перегородок такого типа наблюдается снижение звукоизоляции на очень низких частотах 60...80 Гц (ниже нормируемого диапазона) в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.7 и 2.8 как для однослойных ограждений аналогичной массы.



Расчет изоляции воздушного шума асимметричной каркасной перегородкой с обшивкой из ГКЛ разной толщины с каждой стороны с воздушным промежутком между ними проводится в следующей последовательности. Частотная характеристика изоляции воздушного шума асимметричной каркасной перегородкой строится по частотной характеристике однослойного тонкого плоского ограждения большей толщины с учетом величины дополнительной звукоизоляции этого слоя на увеличение поверхностной плотности. В построении графика учитывается величина граничной частоты волнового совпадения для обшивки меньшей толщины, а также величина дополнительной звукоизоляции воздушного промежутка. Индекс звукоизоляции воздушного шума  $R_w$ , дБ, асимметричной каркасной перегородки по известной частотной характеристике звукоизоляции находят методом последовательных попыток: сдвигая оценочную кривую и проверяя выполнение одного из указанных выше условий.

Расчет частотной характеристики изоляции воздушного шума и индекса звукоизоляции  $R_w$ , дБ, асимметричных каркасных перегородок с обшивками из ГКЛ: один и два листа ГКЛ (1х12,5 мм+2х12,5 мм), один и три листа ГКЛ (1х12,5 мм+3х12,5 мм), один и четыре листа ГКЛ (1х12,5 мм+4х12,5 мм), установленных с воздушным промежутком 100 мм выполнен в графической форме (рис. 2.9.1-2.9.4).

1		2		3	
	$d = 12,5 \text{ мм}$		$d = 2 \times 12,5 \text{ мм}$		$a = 1 \times 12,5 \text{ мм}$ $d = 2 \times 12,5 \text{ мм}$
	$R_w = 32 \text{ дБ}$		$R_w = 34 \text{ дБ}$		$R_w = 48 \text{ дБ}$

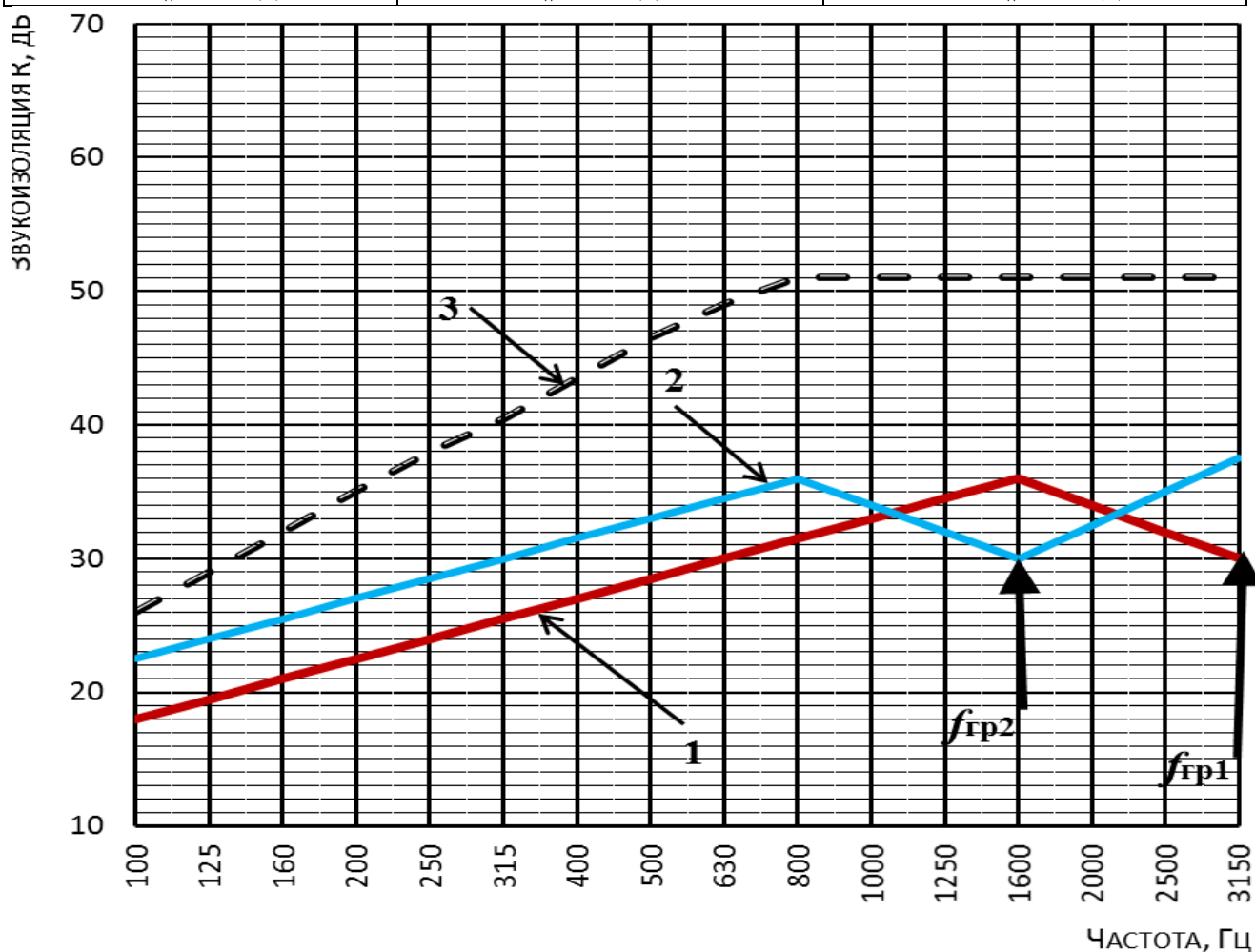


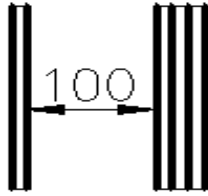


Рисунок 2.9.1 – Рассчитанная частотная характеристика изоляции воздушного шума асимметричной каркасно-обшивной перегородки с облицовкой разной толщины: один лист ГКЛ (толщ. 12,5 мм) и два листа ГКЛ (толщ. 2х12,5 мм): 1 – однослойное тонкое плоское ограждение из одного листа ГКЛ толщ. 12,5 мм; 2 – однослойное тонкое плоское ограждение из двух листов ГКЛ толщ. 25 мм (2х12,5 мм); 3 – асимметричная каркасно-обшивная перегородка с облицовкой из ГКЛ разной толщины (1х12,5 мм+2х12,5 мм).

1		2		3	
	$d = 1 \times 12,5 \text{ мм}$		$d = 3 \times 12,5 \text{ мм}$		$a = 1 \times 12,5 \text{ мм}$ $d = 3 \times 12,5 \text{ мм}$
	$R_w = 32 \text{ дБ}$		$R_w = 35 \text{ дБ}$		$R_w = 49 \text{ дБ}$

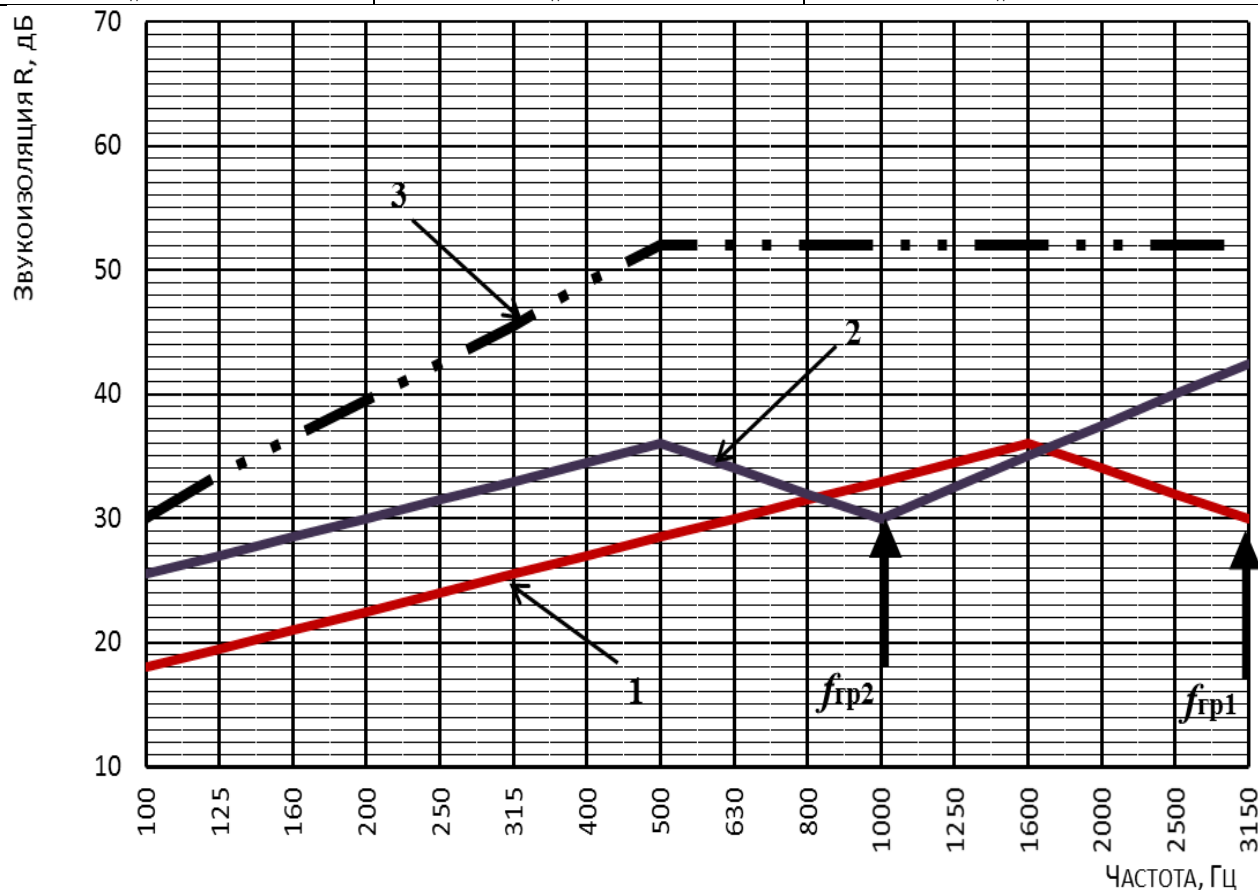


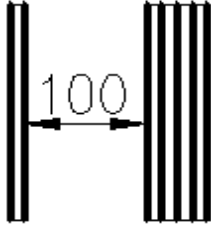


Рисунок 2.9.2 – Рассчитанная частотная характеристика изоляции воздушного шума асимметричной каркасно-обшивной перегородки с облицовкой разной толщины: один лист ГКЛ (толщ. 12,5 мм) и три листа ГКЛ (толщ. 3x12,5 мм): 1 – однослойное тонкое плоское ограждение из одного листа ГКЛ толщ. 12,5 мм; 2 – однослойное тонкое плоское ограждение из трех листов ГКЛ толщ. 37,5 мм (3x12,5 мм); 3 – асимметричная каркасно-обшивная перегородка с облицовкой из ГКЛ разной толщины (1x12,5 мм+3x12,5 мм).

1		2		3	
	$d = 1 \times 12,5 \text{ мм}$		$d = 4 \times 12,5 \text{ мм}$		$a = 12,5 \text{ мм}$ $d = 4 \times 12,5 \text{ мм}$
	$R_w = 32 \text{ дБ}$		$R_w = 36 \text{ дБ}$		$R_w = 52 \text{ дБ}$

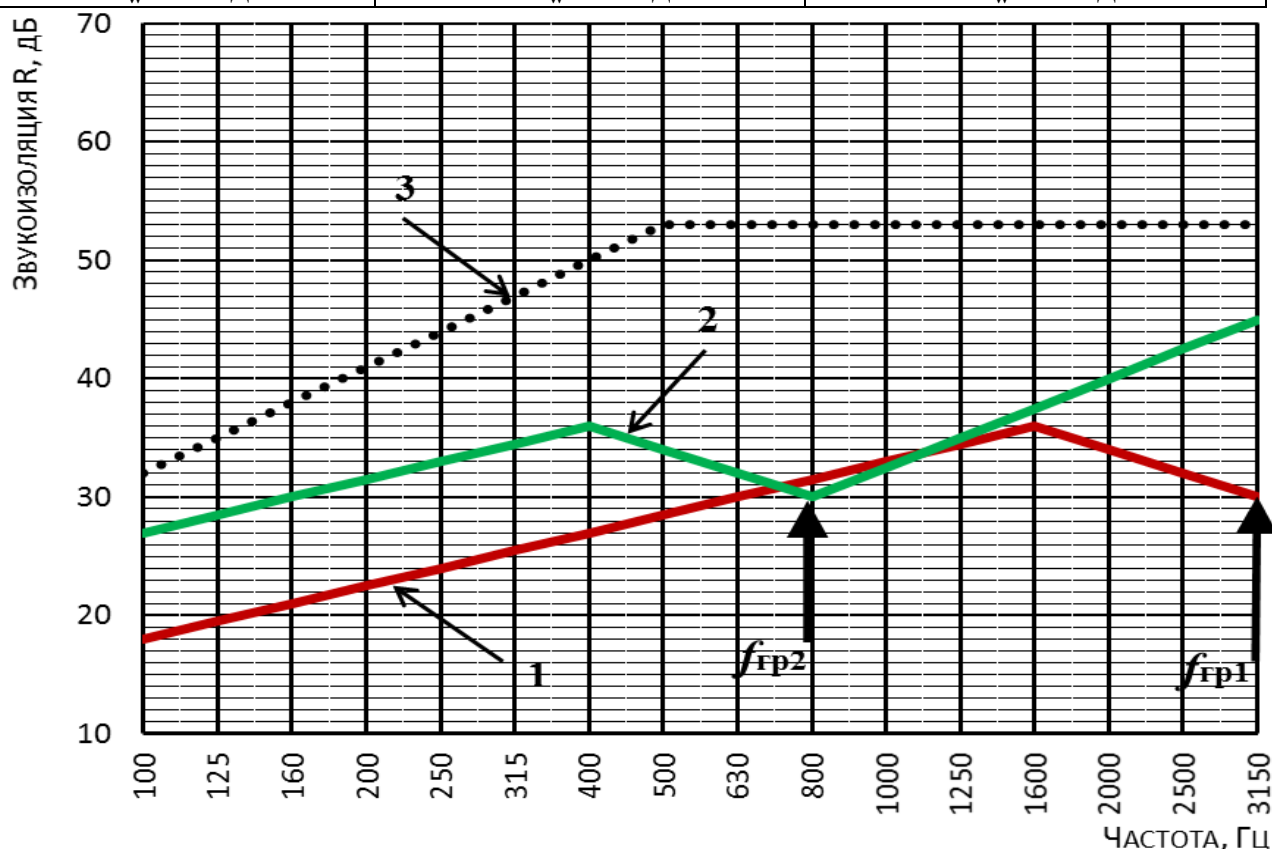


Рисунок 2.9.3 – Рассчитанная частотная характеристика изоляции воздушного шума асимметричной каркасно-обшивной перегородки с облицовкой разной толщины: один лист ГКЛ (толщ. 12,5 мм) и четыре листа ГКЛ (толщ. 4x12,5 мм): 1 – однослойное тонкое плоское ограждение из одного листа ГКЛ толщ. 12,5 мм; 2 – однослойное тонкое плоское ограждение из четырех листов ГКЛ толщ. 50 мм (4x12,5 мм); 3 – асимметричная каркасно-обшивная перегородка с облицовкой из ГКЛ разной толщины (1x12,5 мм+4x12,5 мм).

Анализируя рис. 2.9.1 – 2.9.3, можно видеть, что повышение звукоизоляции вблизи граничных частот достигается путем взаимного перекрытия провалов звукоизоляции при сочетании облицовок разной толщины. Снижение цилиндрической жесткости ограждения без значительного изменения его массы

путем применения слоистых ограждений разной толщины, наблюдаем когда за счет сочетания листов разной цилиндрической жесткости возможно увеличение звукоизоляции в зоне пространственного резонанса одного слоя ограждения за счет другого вблизи граничной частоты.

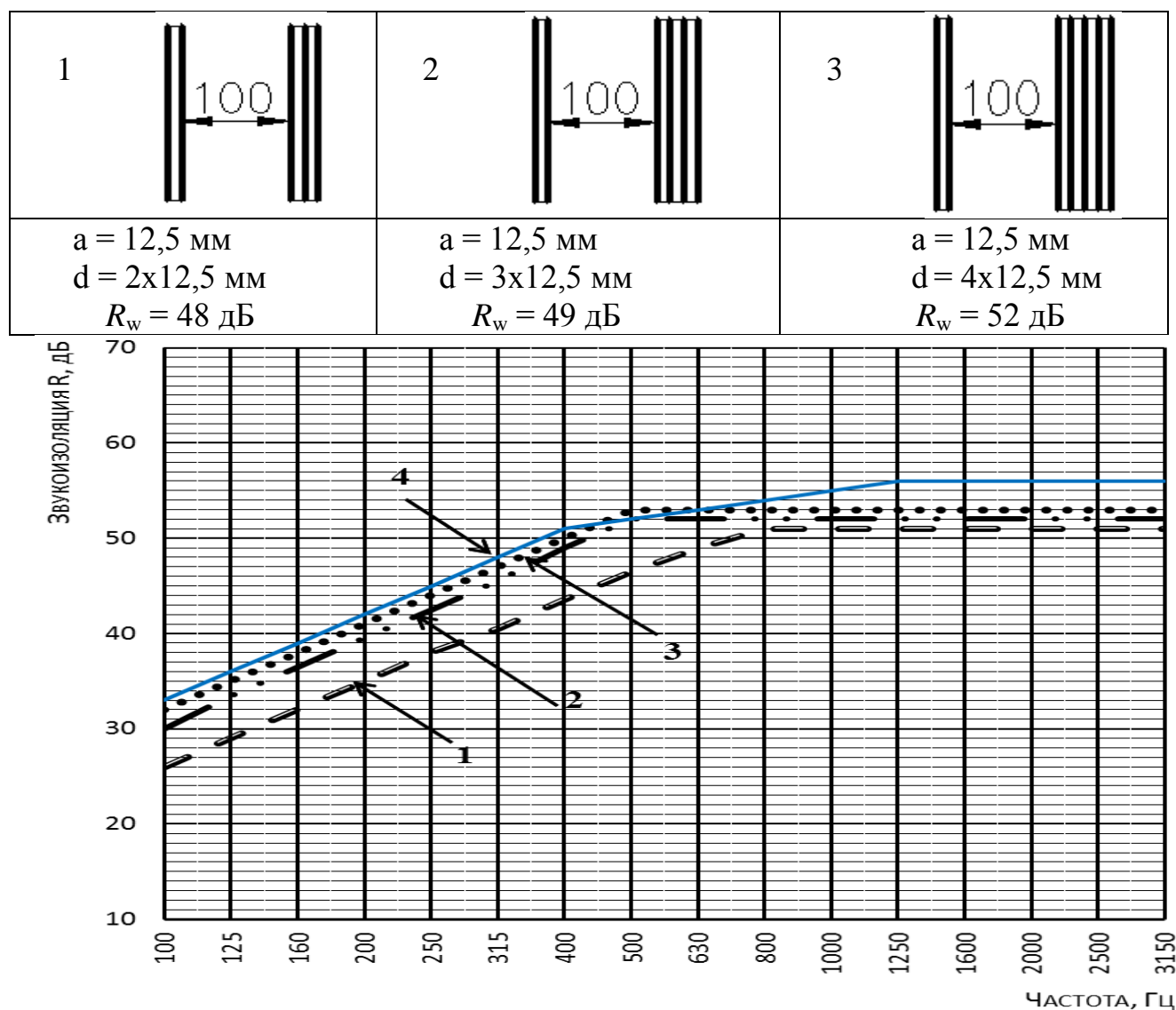


Рисунок 2.9.4 – Сравнение рассчитанных частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричных каркасно-обшивных перегородок с воздушным промежутком 100 мм: 1 – обшивка ГКЛ по каркасу разной толщины (1х12,5 мм+2х12,5 мм); 2 – обшивка ГКЛ разной толщины (1х12,5 мм+3х12,5 мм); 3 – обшивка ГКЛ разной толщины (1х12,5 мм+4х12,5 мм); 4 – оценочная частотная характеристика изоляции воздушного шума.

На рис. 2.9.4 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 обшивок ограждения.

Значения звукоизоляции в области низких и средних частот 100...500 Гц остаются практически такими же, как и двухслойных ограждений равной массы, а на высоких частотах увеличиваются примерно на 8 дБ. За счет этого индекс изоляции асимметричной каркасно-обшивной перегородки растет на 4...5 дБ. Таким образом, эффект звукоизоляции за счет применения обшивок разной толщины почти равен удвоению массы перегородки.

Значение индекса звукоизоляции на уровне 48...52 дБ при массе ограждения 40...60 кг/м<sup>2</sup>, при общем количестве гипсокартонных листов 4-5, позволяет рекомендовать асимметричные каркасно-обшивные перегородки для применения в качестве межквартирных перегородок, перегородок между помещениями офисов, стен и перегородок между рабочими помещениями административных зданий промышленных предприятий.

Расчет изоляции воздушного шума симметричной и асимметричной каркасно-обшивной перегородкой со звукопоглощающим слоем строится по способу, изложенному выше, с учетом величины дополнительной звукоизоляции на увеличение поверхностной плотности материала заполнения воздушного промежутка. Индекс звукоизоляции воздушного шума  $R_w$ , дБ, симметричной и асимметричной каркасно-обшивной перегородки по известной частотной характеристике звукоизоляции находим методом последовательных попыток: сдвигая оценочную кривую и проверяя выполнение одного из указанных выше условий.

Расчет частотных характеристик изоляции воздушного шума и индекса звукоизоляции  $R_w$ , симметричных каркасно-обшивных перегородок с обшивками из ГКЛ и заполненным воздушным промежутком толщ. 100 мм минераловатным звукопоглотителем толщ. 50 мм: по одному листу ГКЛ (1х12,5 мм+1х12,5 мм), по два листа ГКЛ (2х12,5 мм+2х12,5 мм), по три листа ГКЛ (3х12,5 мм+3х12,5 мм) выполнен в графической форме (рис. 2.10).

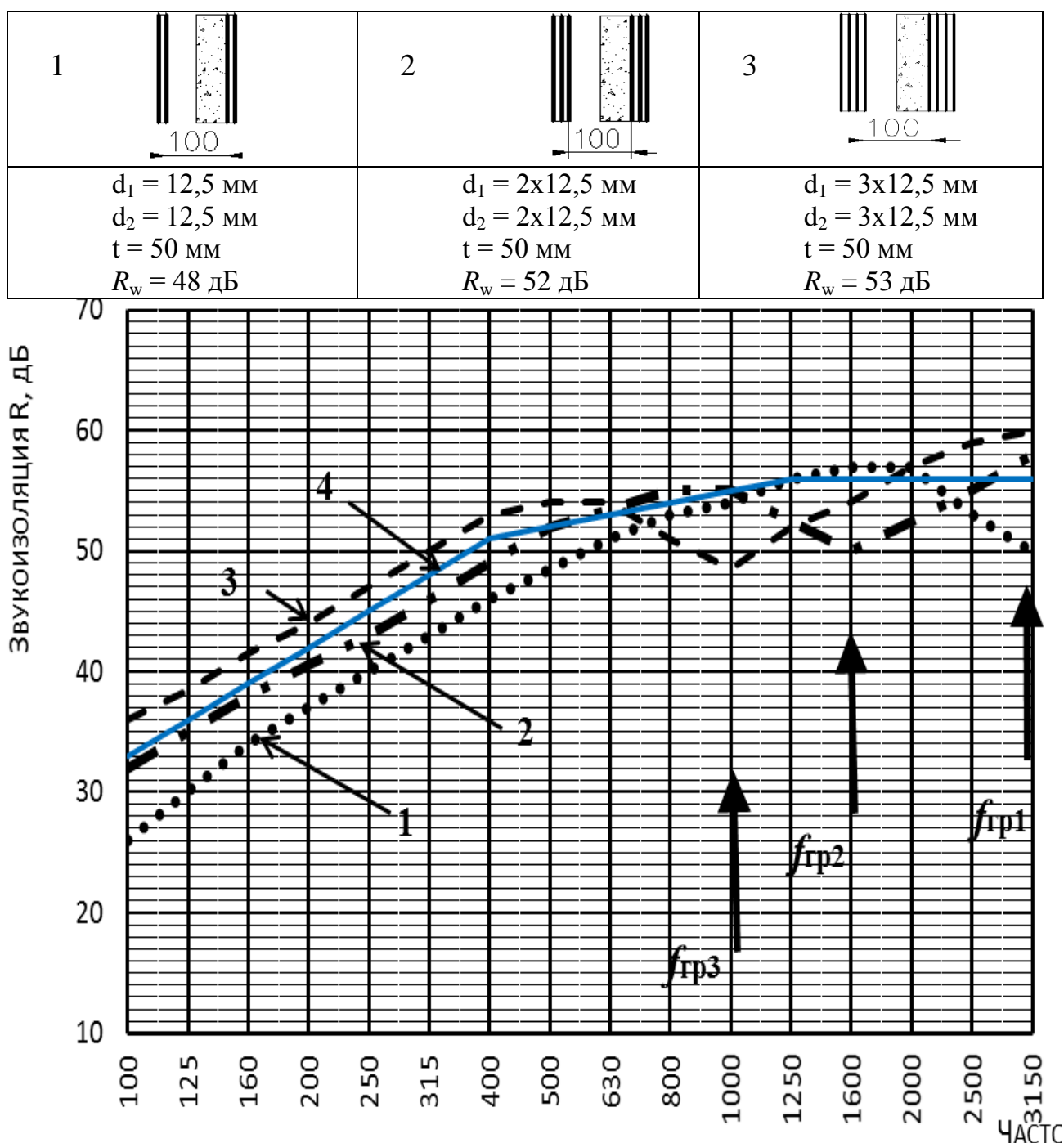


Рисунок 2.10 – Сравнение частотных характеристик изоляции воздушного шума симметричных каркасно-обшивных перегородок с обшивками из ГКЛ и заполненным воздушным промежутком толщ. 100 мм минераловатным звукопоглотителем толщ. 50 мм: 1 – по одному листу ГКЛ (1x12,5 мм+1x12,5 мм); 2 – по два листа ГКЛ (2x12,5 мм+2x12,5 мм); 3 – по три листа ГКЛ (3x12,5 мм+3x12,5 мм); 4 – оценочная частотная характеристика изоляции воздушного шума.

Размещение в промежутке между обшивками звукопоглощающего материала дает увеличение индекса звукоизоляции на 2...11 дБ, которое зависит от вида каркаса, звукопоглощающего материала и степени заполнения им промежутка.

Анализируя данные на рис. 2.10, можно отметить, что, в случае применения двойных перегородок с обшивками одинаковой толщины, наличие звукопоглощающего материала в воздушном промежутке более эффективно на высоких частотах при тонких ограждениях меньшей массы.

На низких и средних частотах сохраняется тенденция зависимости звукоизоляции от общей массы ограждения.

Несмотря на явные изменения качества частотной характеристики звукоизоляции, индекс изоляции воздушного шума для различных конструктивных решений симметричных перегородок, представленный на рис. 2.7 и 2.8, изменяется в соответствии с законом массы примерно на 6 дБ при удвоении толщины листов, это свидетельство того, что звукопоглощающий слой не устраняет провала за счет волнового совпадения и максимальное неблагоприятное отклонение звукоизоляции от нормы определяет значение индексов звукоизоляции  $R_w$ .

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 толщиной 50 мм 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.

Расчет частотной характеристики изоляции воздушного шума и индекса звукоизоляции  $R_w$ , дБ, асимметричных каркасных перегородок с обшивками из ГКЛ (1+2), (1+3) и (2+3) с минераловатным звукопоглотителем толщ. 50 мм в воздушном промежутке толщ. 50, 75, 100 мм выполнен в графической форме на рисунках 2.11.1-2.11.3.



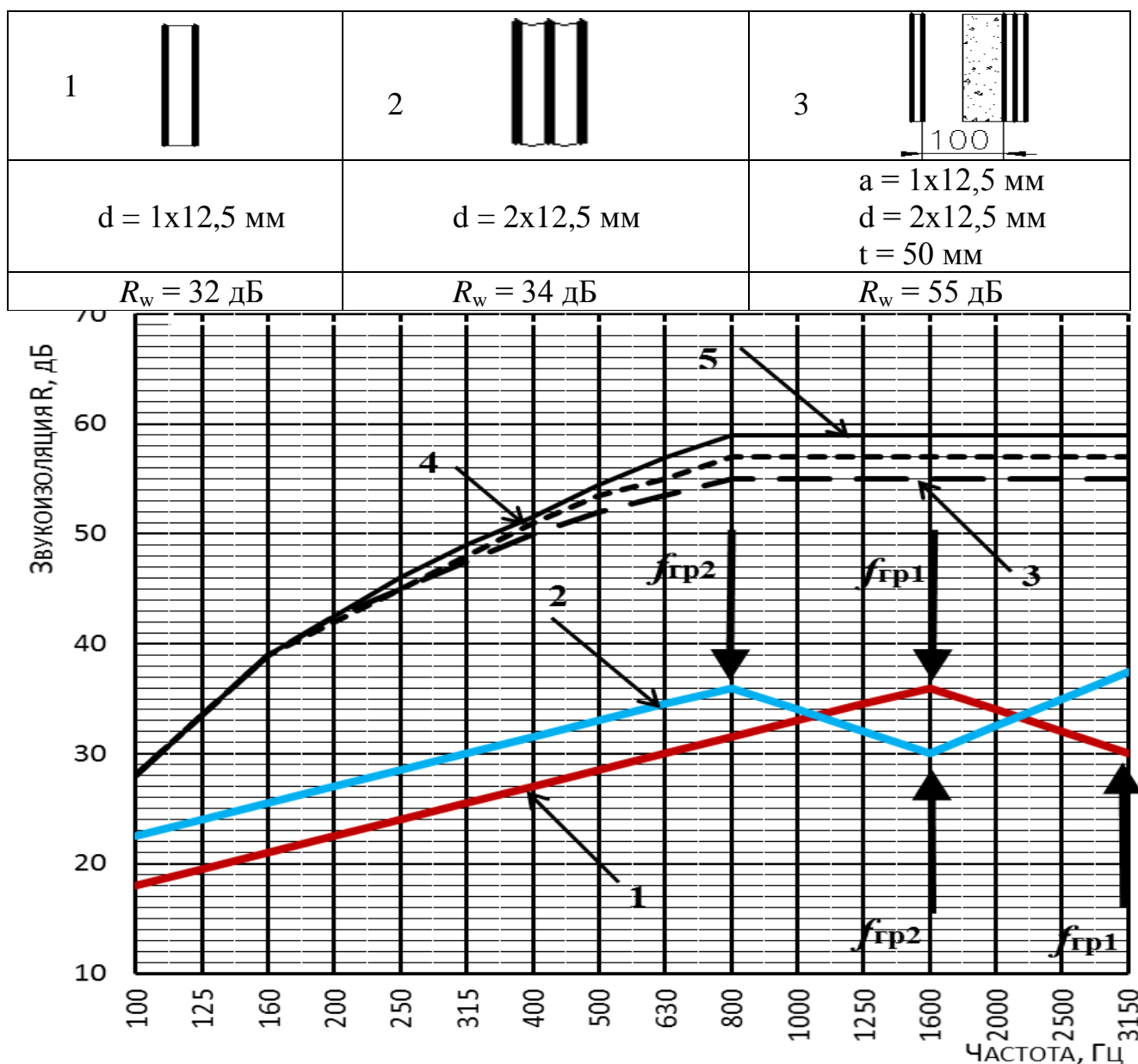


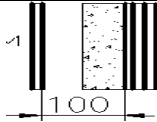


Рисунок 2.11.1 – Рассчитанные частотные характеристики изоляции воздушного шума легких конструкций: 1 – однослойное тонкое плоское ограждение из одного листа ГКЛ толщ. 12,5 мм,  $R_w = 32$  дБ; 2 – однослойное тонкое плоское ограждение из двух листов ГКЛ толщ. 25 мм (2x12,5 мм),  $R_w = 34$  дБ. Асимметричные 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

1		2		3	
	$d = 1 \times 12,5 \text{ мм}$		$d = 3 \times 12,5 \text{ мм}$		$a = 1 \times 12,5 \text{ мм}$ $d = 3 \times 12,5 \text{ мм}$ $t = 50 \text{ мм}$
	$R_w = 34 \text{ дБ}$		$R_w = 35 \text{ дБ}$		$R_w = 57 \text{ дБ}$

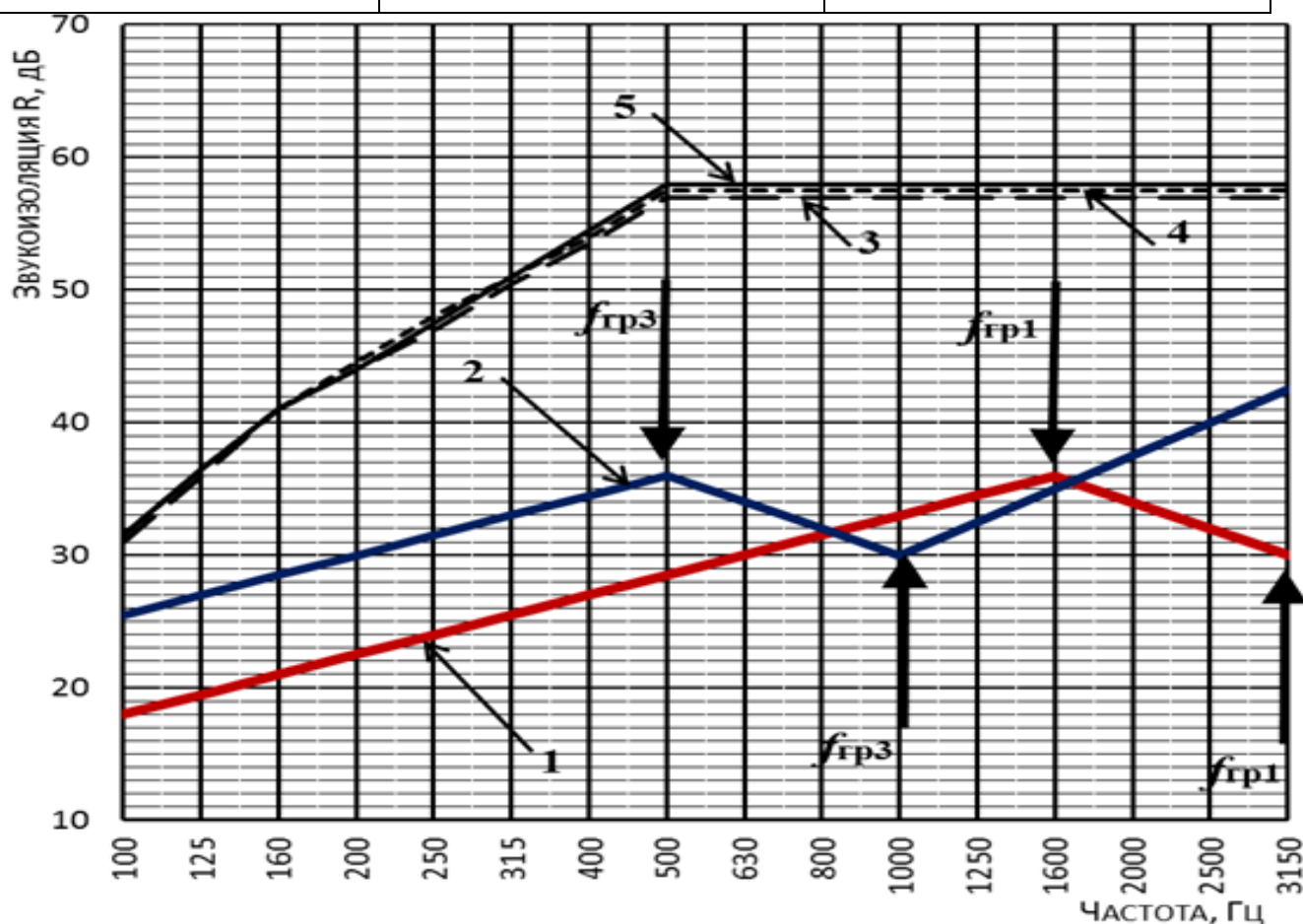


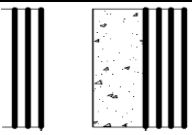


Рисунок 2.11.2 – Рассчитанные частотные характеристики изоляции воздушного шума легких конструкций: 1 – однослойное тонкое плоское ограждение из одного листа ГКЛ толщ. 12,5 мм,  $R_w = 32$  дБ; 2 – однослойное тонкое плоское ограждение из трех листов ГКЛ толщ. 37,5 мм (3x12,5 мм),  $R_w = 35$  дБ. Асимметричные 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.

1		2		3	
	$d = 2 \times 12,5 \text{ мм}$		$d = 3 \times 12,5 \text{ мм}$		$a = 2 \times 12,5 \text{ мм}$ $d = 3 \times 12,5 \text{ мм}$ $t = 50 \text{ мм}$
	$R_w = 34 \text{ дБ}$		$R_w = 35 \text{ дБ}$		$R_w = 58 \text{ дБ}$

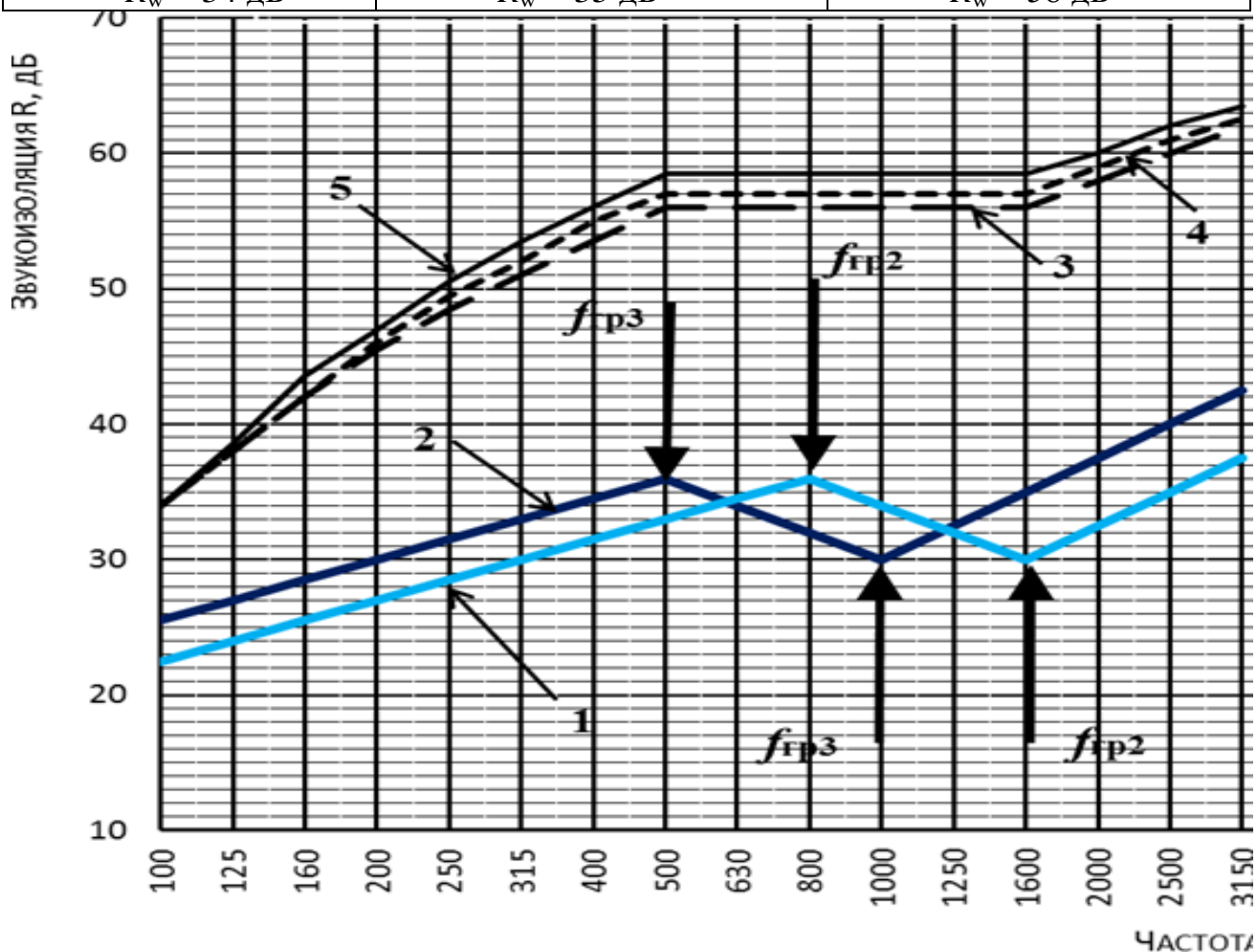


Рисунок 2.11.3 – Рассчитанные частотные характеристики изоляции воздушного шума легких конструкций: 1 – однослойное тонкое плоское ограждение из двух листов ГКЛ толщ. 12,5 мм ( $2 \times 12,5 \text{ мм}$ ),  $R_w = 34 \text{ дБ}$ ; 2 – однослойное тонкое плоское ограждение из трех листов ГКЛ толщ. 37,5 мм ( $3 \times 12,5 \text{ мм}$ ),  $R_w = 35 \text{ дБ}$ . Асимметричные каркасные перегородки ( $2 \times 12,5 \text{ мм} + 3 \times 12,5 \text{ мм}$ ) с заполненным воздушным промежутком минераловатным звукопоглотителем толщ. 50 мм: 3 – воздушный промежуток толщ. 50 мм,  $R_w = 56 \text{ дБ}$ ; 4 – воздушный промежуток толщ. 75 мм,  $R_w = 57 \text{ дБ}$ ; 5 – воздушный промежуток толщ. 100 мм,  $R_w = 58 \text{ дБ}$ .

Индексы изоляции перегородок из двух листов разной толщины (1x12,5 +2x12,5 мм; 1x12,5+3x12,5 мм; 2x12,5+3x12,5 мм) поверхностной плотностью 40...90 кг/м<sup>2</sup> со звукопоглощающим слоем составляют 55, 57, 58 дБ (рис.2.12), что соответствует однослойной конструкции поверхностной плотностью 350-400 кг/ м<sup>2</sup>.

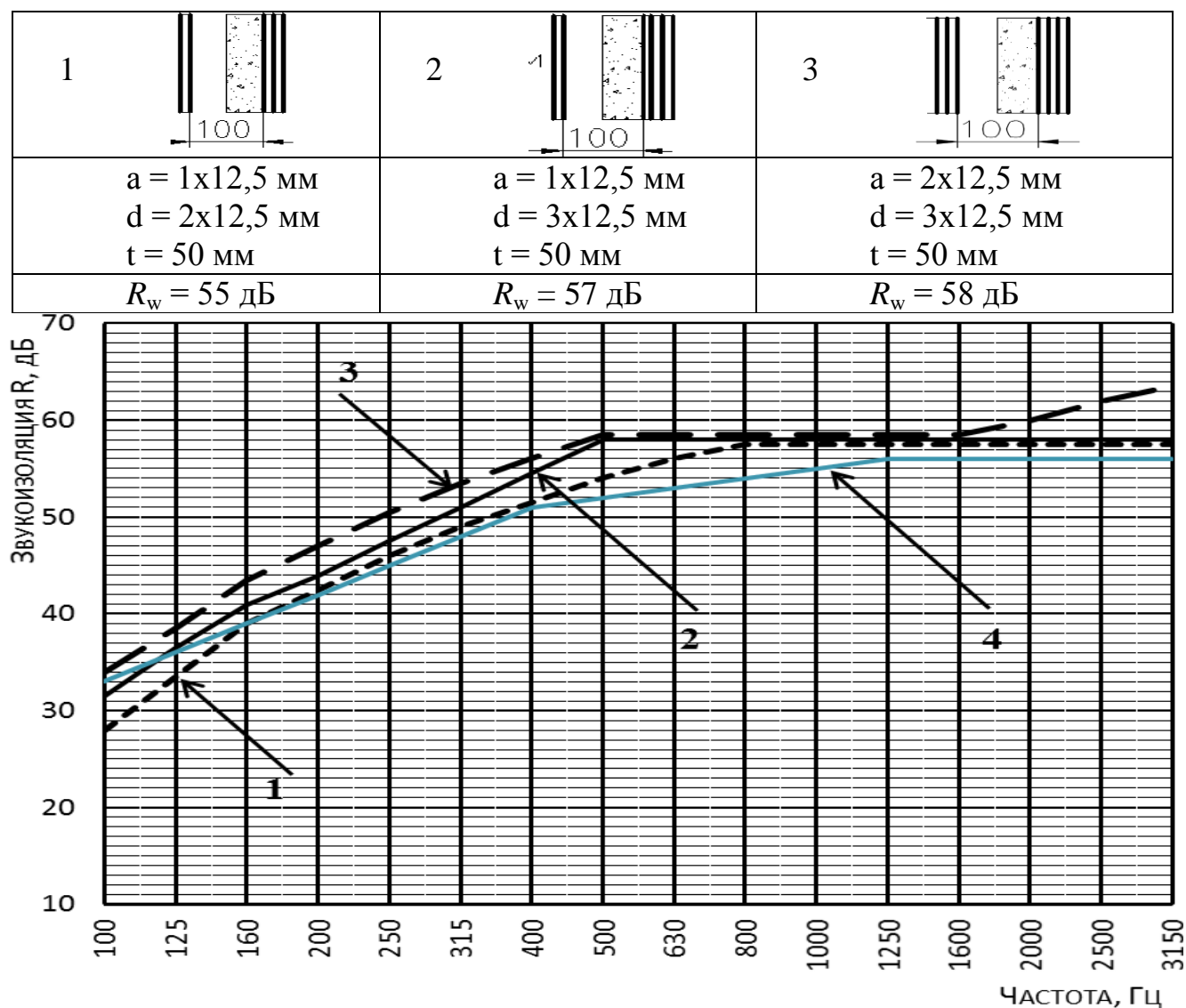


Рисунок 2.12 – Сравнение рассчитанных частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричных каркасно-обшивных перегородок с заполненным воздушным промежутком толщ. 100 мм минераловатным звукопоглотителем толщ. 50 мм: 1 – с обшивкой из ГКЛ разной толщины (1x12,5 мм+2x12,5 мм); 2 – с обшивкой из ГКЛ разной толщины (1x12,5 мм+3x12,5 мм); 3 – с обшивкой из ГКЛ разной толщины (2x12,5 мм+3x12,5 мм); 4 – оценочная частотная характеристика изоляции воздушного шума.

1		2		3		4	
$a = 1 \times 12,5 \text{ мм}$ $d = 2 \times 12,5 \text{ мм}$	$d_1 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$ $d_2 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$	$a = 1 \times 12,5 \text{ мм}$ $d = 2 \times 12,5 \text{ мм}$	$d_1 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$ $d_2 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$	$R_w = 55 \text{ дБ}$	$R_w = 52 \text{ дБ}$	$R_w = 48 \text{ дБ}$	$R_w = 47 \text{ дБ}$

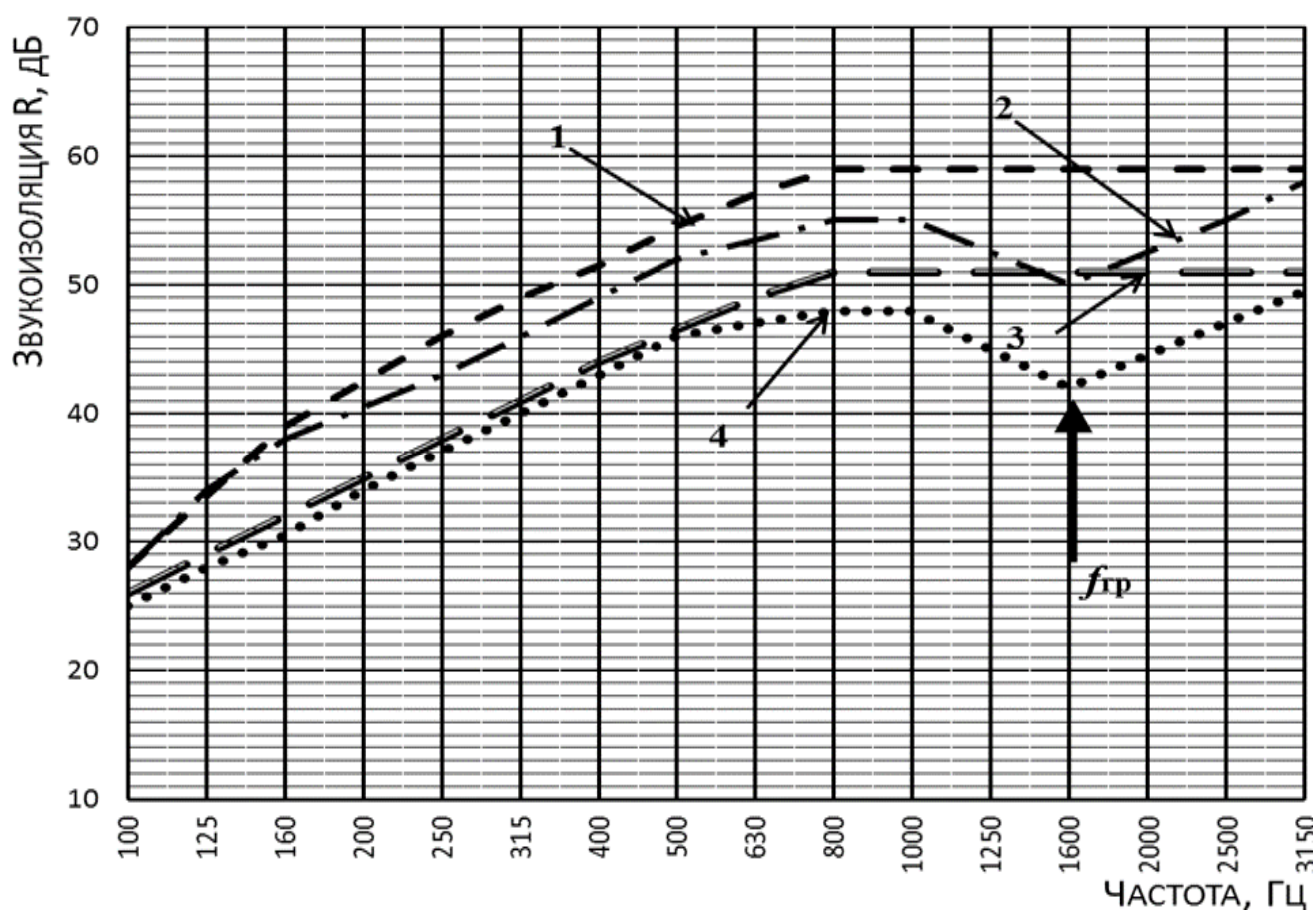


Рисунок 2.13 – Сравнение рассчитанных частотных характеристик симметричных и асимметричных каркасных перегородок с обшивкой из ГКЛ:

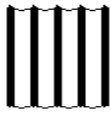
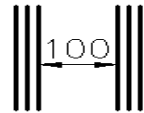
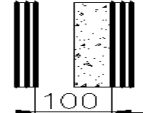
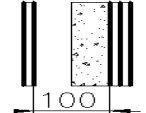
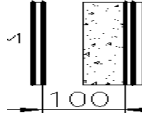
- со звукопоглощающим слоем толщ. 50 мм в воздушном промежутке 100 мм: 1 – разной толщины (1x12.5 мм+2x12.5 мм),  $R_w = 55 \text{ дБ}$ ; 2 – одинаковой толщины (2x12.5 мм + 2x12.5 мм),  $R_w = 53 \text{ дБ}$ ;

- без звукопоглощающего слоя в воздушном промежутке 100 мм: 3 – разной толщины (1x12.5 мм+2x12.5 мм),  $R_w = 48 \text{ дБ}$ ; 4 – одинаковой толщины (2x12.5 мм + 2x12.5 мм),  $R_w = 47 \text{ дБ}$ .

Анализируя данные на рисунке 2.13, можно отметить, что звукопоглощающий материал в воздушном промежутке способствует потерям звуковой энергии при излучении ее от одной обшивки к другой и эффективность его применения составляет около 6...7 дБ независимо от толщины обшивок.

Несмотря на явные изменения качества частотной характеристики звукоизоляции, индекс изоляции воздушного шума для различных конструктивных решений, представленных на рисунках 2.9 и 2.10, изменяется в соответствии с законом массы примерно на 6дБ при удвоении толщины листов, это свидетельство того, что звукопоглощающий слой не устраняет провала за счет волнового совпадения и максимальное неблагоприятное отклонение звукоизоляции от нормы определяет значение индексов  $R_w$ .

Сравнения рассчитанных частотных характеристик изоляции воздушного шума перегородок с одинаковой поверхностной плотностью, но различных конструкций (однослойных, симметричных и асимметричных каркасно-обшивных перегородок, со звукопоглощающим слоем и без) представлены на рисунке 2.14.

1		2		3		4		5	
$d = 4 \times 12,5 \text{ мм}$	$d_1 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$ $d_2 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$	$d_1 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$ $d_2 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$ $t = 50 \text{ мм}$	$d_1 = 1 \times 12,5 \text{ мм}$ $d_2 = 2 \times 12,5 \text{ мм}$ $t = 50 \text{ мм}$	$d_1 = 1 \times 12,5 \text{ мм}$ $d_2 = 3 \times 12,5 \text{ мм}$ $t = 50 \text{ мм}$					
$R_w = 36 \text{ дБ}$	$R_w = 47 \text{ дБ}$	$R_w = 53 \text{ дБ}$	$R_w = 55 \text{ дБ}$	$R_w = 57 \text{ дБ}$					

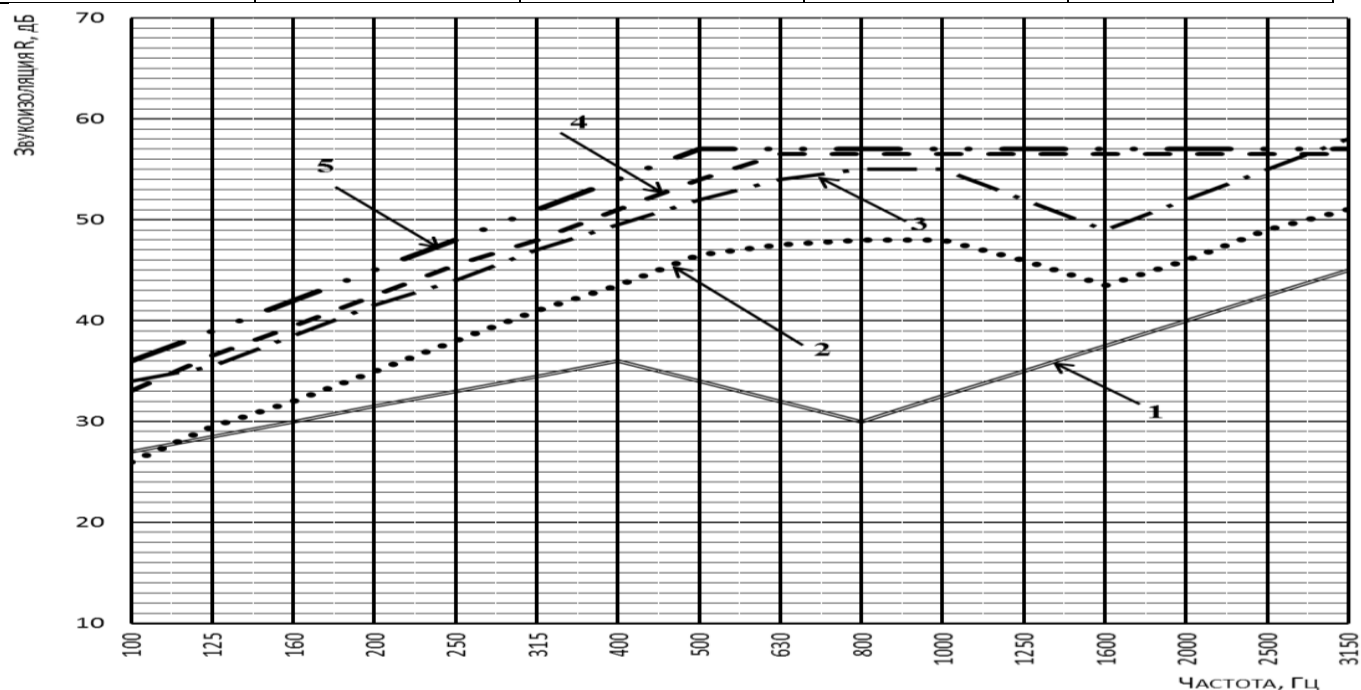


Рисунок 2.14 – Сравнение рассчитанных частотных характеристик воздушного шума перегородок с одинаковой поверхностной плотностью: 1 – однослойное тонкое плоское ограждение из четырех листов ГКЛ толщ. 50 мм (4x12,5 мм); 2 – обшивка с двух сторон ГКЛ одинаковой толщины (2x12,5 мм + 2x12,5 мм) с воздушным промежутком толщ. 100 мм; 3 – обшивка с двух сторон ГКЛ одинаковой толщины (2x12,5 мм + 2x12,5 мм) со звукопоглощающим слоем 50 мм в воздушном промежутке 100 мм; 4 – обшивка с двух сторон ГКЛ разной толщины (1x12,5 мм+2x12,5 мм) со звукопоглощающим слоем 50 мм в воздушном промежутке 100 мм; 5 – обшивка с двух сторон ГКЛ разной толщины (1x12,5 мм+3x12,5 мм) со звукопоглощающим слоем 50 мм в воздушном промежутке.

Анализ рисунка 2.14 показывает, что наилучшей звукоизолирующей способностью с индексом изоляции воздушного шума  $R_w = 55, 57 \text{ дБ}$  обладают асимметричные каркасные перегородки со звукопоглощающим слоем в воздушном промежутке.



Рассчитанные частотные характеристики и индексы изоляции ограждающих конструкций, состоящих из двух тонких листов с воздушным промежутком между ними при разной толщине листов ГКЛ (рис. 2.15), показывают, что при применении двухслойных перегородок с обшивками разной толщины отсутствует видимый провал в частотных характеристиках звукоизоляции на высоких частотах, объясняемый смещением частот волнового совпадения для наружных и внутренних слоев ограждения.

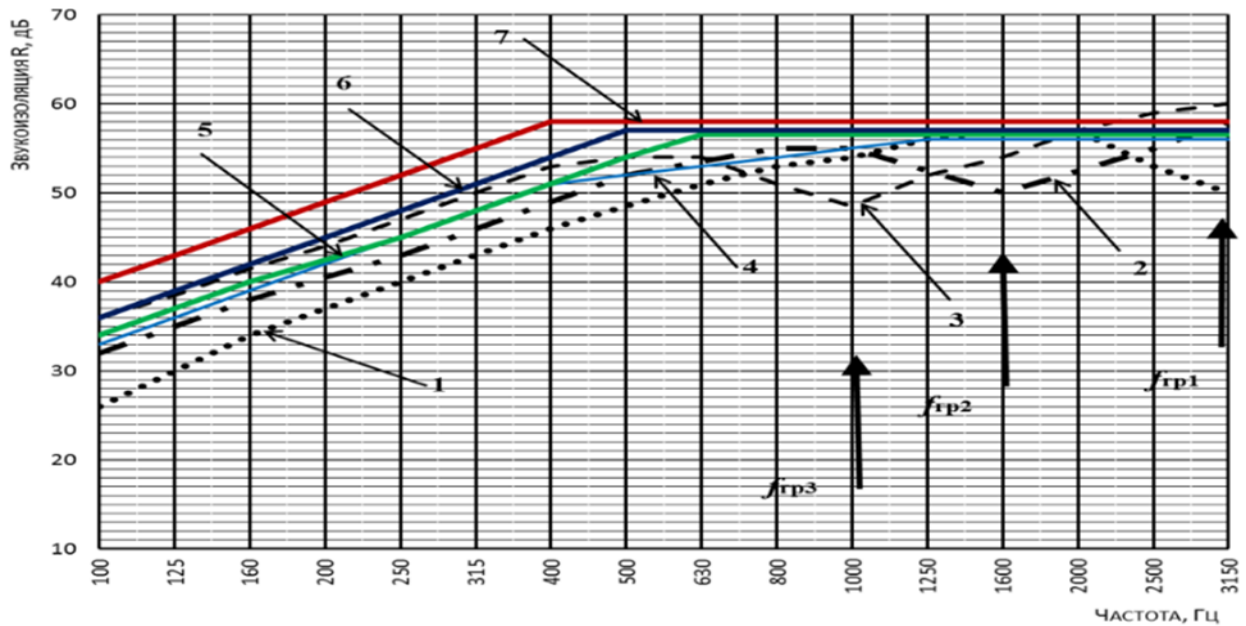


Рисунок 2.15 – Сравнение рассчитанных частотных характеристик изоляции воздушного шума симметричных и асимметричных каркасных перегородок с обшивкой из ГКЛ по каркасу и воздушным промежутком 100 мм со звукопоглощающим слоем 50 мм: симметричные (базовые): 1 – (1х12,5 мм+1х12,5 мм),  $R_w = 48$  дБ; 2 – (2х12,5 мм+2х12,5 мм),  $R_w = 53$  дБ; 3 – (3 х 12,5 мм + 3 х 12,5 мм),  $R_w = 56$  дБ; 4 – оценочная кривая; асимметричные: 5 – (1х12,5 мм + 2х12,5 мм),  $R_w = 55$  дБ; 6 – (1х12,5 мм+3х12,5 мм),  $R_w = 57$  дБ; 7 – (2х12,5 мм+3х12,5 мм),  $R_w = 58$  дБ.

Значения звукоизоляции в области низких и средних частот 100...500 Гц остаются практически такими же, как и двухслойных ограждений равной массы, а на высоких частотах увеличиваются примерно на 8 дБ. За счет этого индекс изоляции двухслойной перегородки с обшивками разной толщины растет на 4...5 дБ. Таким образом, эффект звукоизоляции за счет применения обшивок разной толщины почти равен удвоению массы перегородки.



## Выводы по главе 2

1. Оценку звукоизолирующей способности асимметричных каркасных перегородок можно выполнять на основе теории звукоизоляции ограждающих конструкций В. И. Заборова и графоаналитическим методом расчета.

2. Установлено, что эффект повышения звукоизоляции каркасно-обшивными перегородками возможен при сочетании обшивок разной толщины при условии, если величины поверхностных плотностей обшивок отличаются между собой не менее чем в 2 раза, вследствие того, что происходит перекрытие провалов звукоизоляции в области волнового совпадения в нормированном диапазоне частот.

3. Доказано, что рассчитанные частотные характеристики изоляции воздушного шума и индексы звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок разных конструктивных решений показывают возможность повышения звукоизолирующих качеств в нормируемом диапазоне частот путем соответствующего подбора параметров ограждения: количества листов обшивок, ширины воздушного промежутка, наличия звукопоглощающего материала.

4. Доказано, что асимметричные каркасные перегородки в области средних и высоких частот эффективнее по сравнению с симметричными (базовыми).

5. Подбор оптимального сочетания количества листов в обшивке асимметричной каркасно-обшивной перегородки позволит рационально использовать материальные ресурсы при проектировании и строительстве звукоизолирующих ограждений при условии экономического обоснования данного конструктивного решения.

6. Полученные результаты теоретических исследований показывают, что количество листов обшивок, и как следствие изменение массы обшивок, приводит к увеличению звукоизоляции асимметричных перегородок (1+2), (1+3) и (2+3) по сравнению с симметричными (базовыми) перегородками (2+2) на 2...8 дБ, а индексы изоляции воздушного шума соответственно на 2...4 дБ.

### **ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АСИММЕТРИЧНЫХ КАРКАСНЫХ ПЕРЕГОРОДОК**

Теоретические исследования, выполненные в главах 1 – 2, показывают, что звукоизоляция многослойных систем легких ограждений зависит от физико-механических характеристик материалов, применяемых для изготовления обшивок, звукопоглощающего слоя, конструктивного решения, геометрических размеров ограждения. Данные параметры оказывают комплексное влияние на звукоизолирующую способность многослойных систем легких ограждений, к которым относятся каркасно-обшивные перегородки на металлическом каркасе с облицовочными слоями из ГКЛ. Повышение звукоизоляции этих конструкций может достигаться за счет сочетания обшивок разной толщины; вида каркаса и способа крепления к нему обшивок; толщины воздушного промежутка между обшивками; наличием, вида звукопоглощающего материала и степени заполнения им промежутка. В главе приводится методика проведения экспериментальных исследований в помещениях для измерения изоляции воздушного шума в натуральных условиях. Полученные результаты дают возможность оценить степень влияния указанных выше параметров на звукоизолирующую способность исследуемых ограждений. По результатам экспериментальных исследований установлена степень достоверности используемого практического метода расчета при оценке звукоизолирующих свойств.

### 3.1 Описание экспериментальных установок, средств измерения, методики проведения и оценки результатов эксперимента

Экспериментальные исследования по определению изоляции воздушного шума асимметричными каркасными перегородками проведены в помещениях для измерений изоляции воздушного шума в натуральных условиях акустической лаборатории Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (ДонНАСА) г. Макеевка. Конструктивное решение помещений показано на рисунках 3.1 и 3.2, монтаж асимметричной перегородки на рисунке 3.3, измерительная аппаратура на рисунках 3.4 и 3.5.

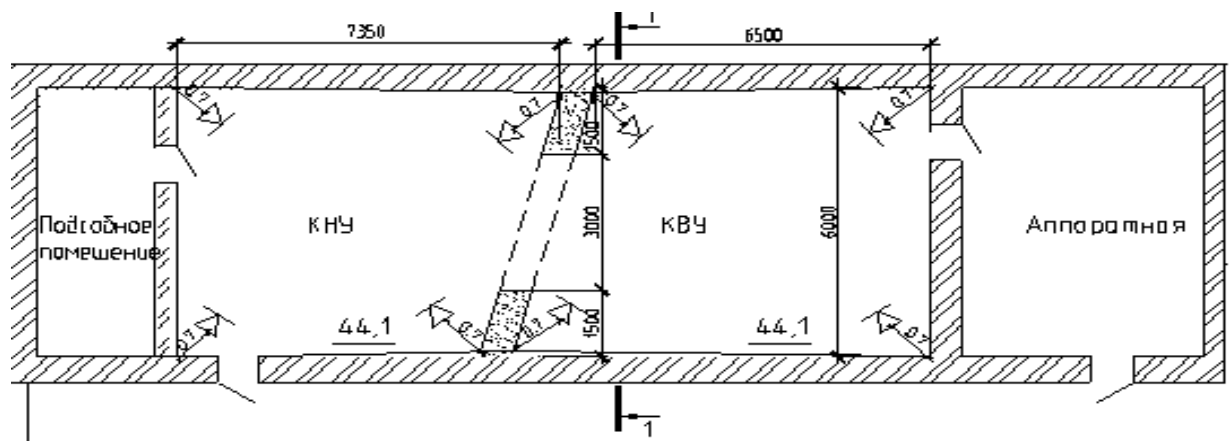


Рисунок 3.1 – Конструктивное решение помещений для измерений изоляции воздушного шума в натуральных условиях акустической лаборатории ДонНАСА: план камер: - аппаратная - 29,34 м<sup>2</sup>; камера высокого уровня (КВУ) 98 м<sup>3</sup>; камера низкого уровня (КНУ) 98 м<sup>3</sup>; подсобное помещение – 15,13 м<sup>2</sup>.

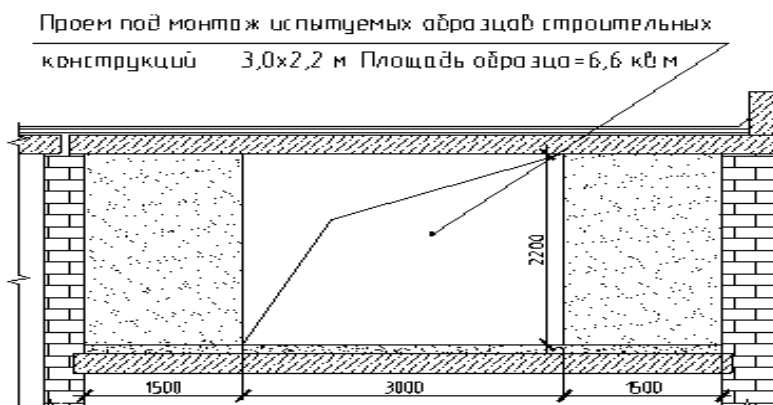


Рисунок 3.2 – Разрез 1-1.

Проем под монтаж испытуемых образцов строительных конструкций размером 3,0х2,2 м.



Рисунок 3.3 а), б) – Монтаж асимметричной гипсокартонной перегородки.



Рисунок 3.4 – а) Испытуемая асимметричная гипсокартонная перегородка.  
б) Установка измерительного микрофона в расчетной точке.



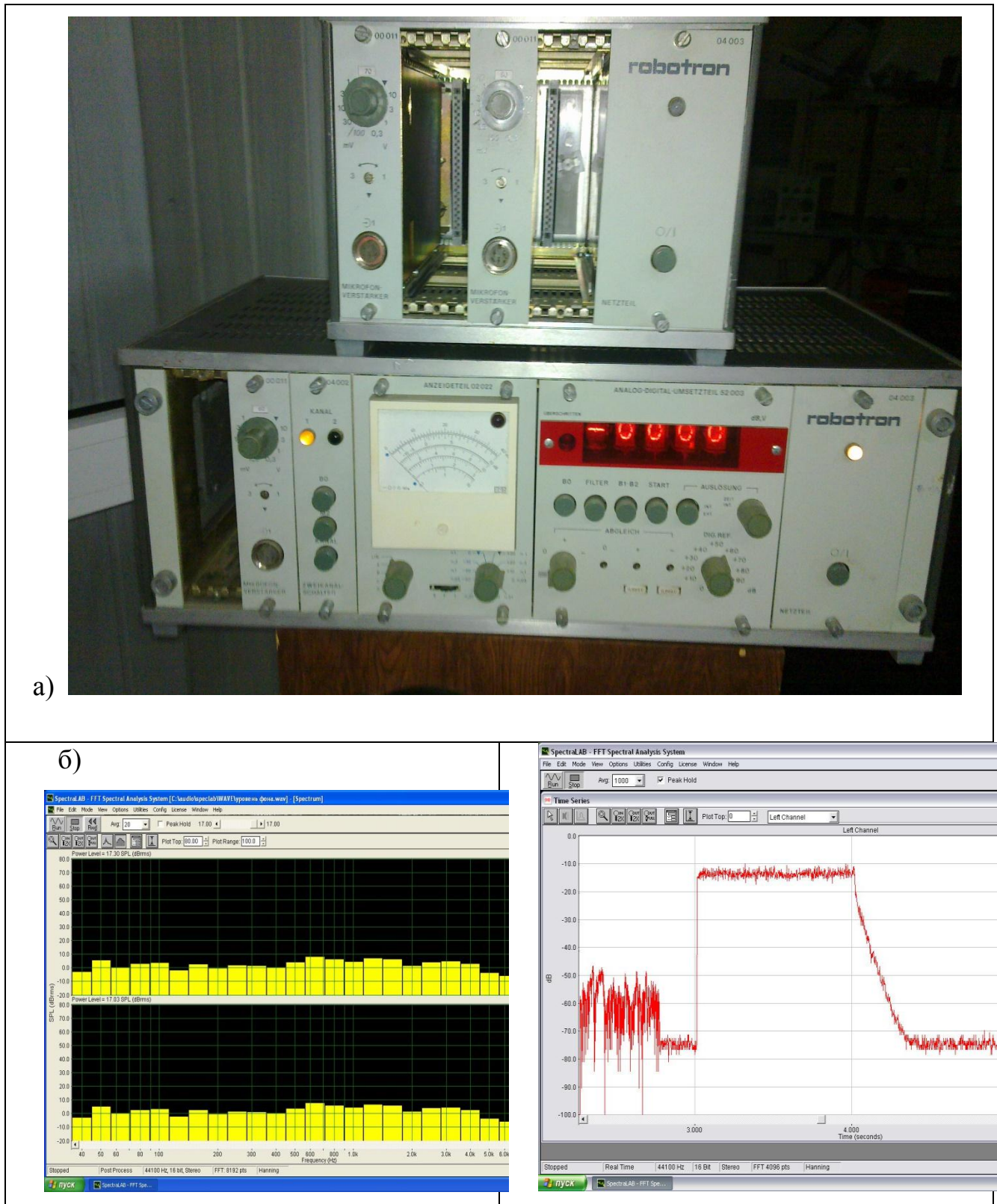


Рисунок 3.5 – а) Акустический измерительный стенд «Robotron-Messelektronik». б) Данные измерений: частотная характеристика асимметричной гипсокартонной перегородки; время реверберации.

Испытуемая конструкция перегородки монтировалась в проеме между помещением высокого уровня (КВУ) и помещением низкого уровня (КНУ). Размер проема 2,2 x 3,0 м.

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, изложенной в [22-25], [34].

Фактическая звукоизоляция рассчитывается по формуле:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \lg \left( \frac{S}{A} \right), \quad (3.1)$$

где  $L_1$  – 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>.

В работе использованы следующие средства измерения:

- акустический измерительный стенд «Robotron-Messelektronik»;
- программный комплекс реального времени для спектрального анализа акустических сигналов «SpectraLAB»;
- шумомер-анализатор спектра Robotron типа 00025 заводской №9010;
- генератор «белого» шума типа 03004;
- узкополосный фильтр Robotron типа 01020;
- предусилитель Robotron типа 00011, усилитель мощности LV 103 и четыре громкоговорителя мощностью 100 Вт каждый;
- два прецизионных микрофона MD102 с максимально плоской характеристикой;
- самописец Robotron уровня 02013.

Блок-схема электроакустической измерительной установки лаборатории акустики ДонНАСА приведена на рисунке 3.6.

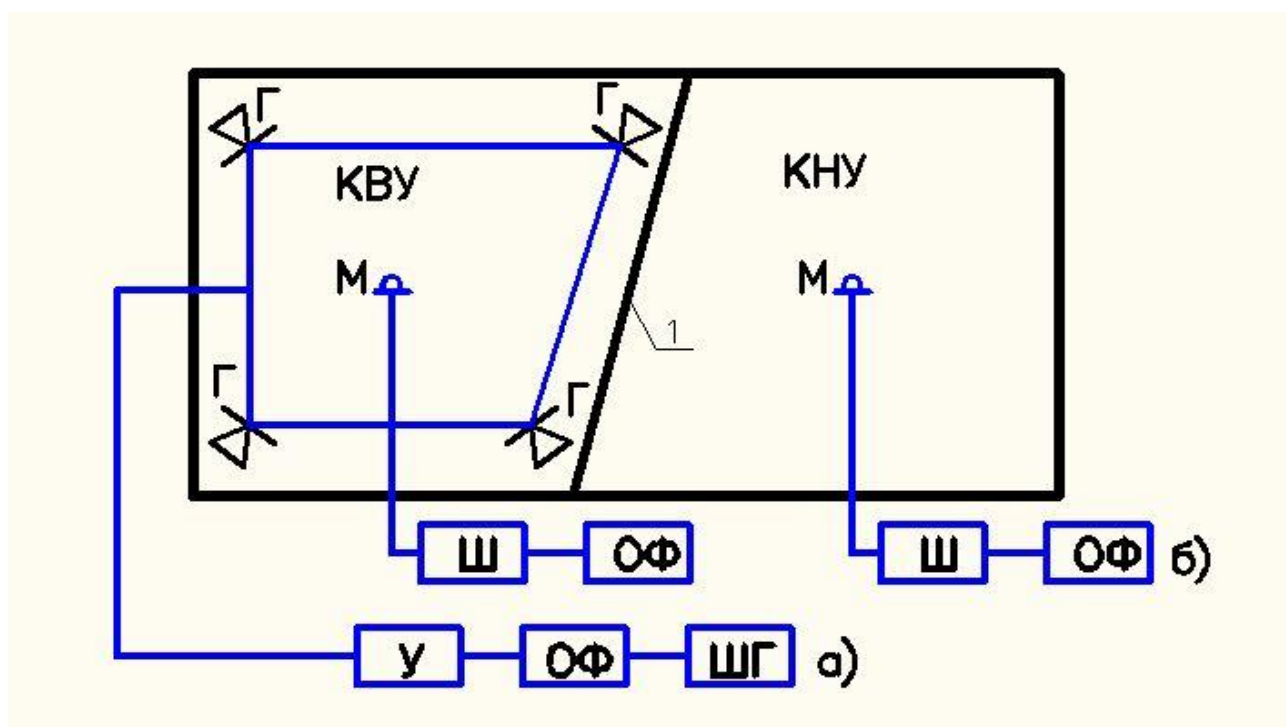


Рисунок 3.6 – Блок-схема электроакустической измерительной установки акустической лаборатории ДонНАСА:

а) передающий тракт: генератор «белого» шума (ШГ); третьоктавный фильтр (ОФ); усилитель мощности (У); громкоговоритель (Г);

б) приемный тракт: шумомер (Ш); микрофон (М); третьоктавный фильтр (ОФ).

1 - исследуемое ограждение.

Технические характеристики средств измерений стандартизации соответствуют требованиям [24], [34]. Свидетельства поверки средств измерений приведены в приложении Г.

Повторяемость измерения изоляции воздушного шума в рабочем диапазоне частот при доверительной вероятности 0,96 (рис. 3.7) отвечает требованиям п. 10 [34]. Среднеквадратичное отклонение разности средних уровней звукового давления в испытательных помещениях с учетом эквивалентной площади звукопоглощения определяется по формуле:

$$y = -0,0028x^4 + 0,1065x^3 - 1,5259x^2 + 10,057x + 27,205.$$

Величина среднеквадратичного отклонения равна  $R^2 = 0,9617$ .



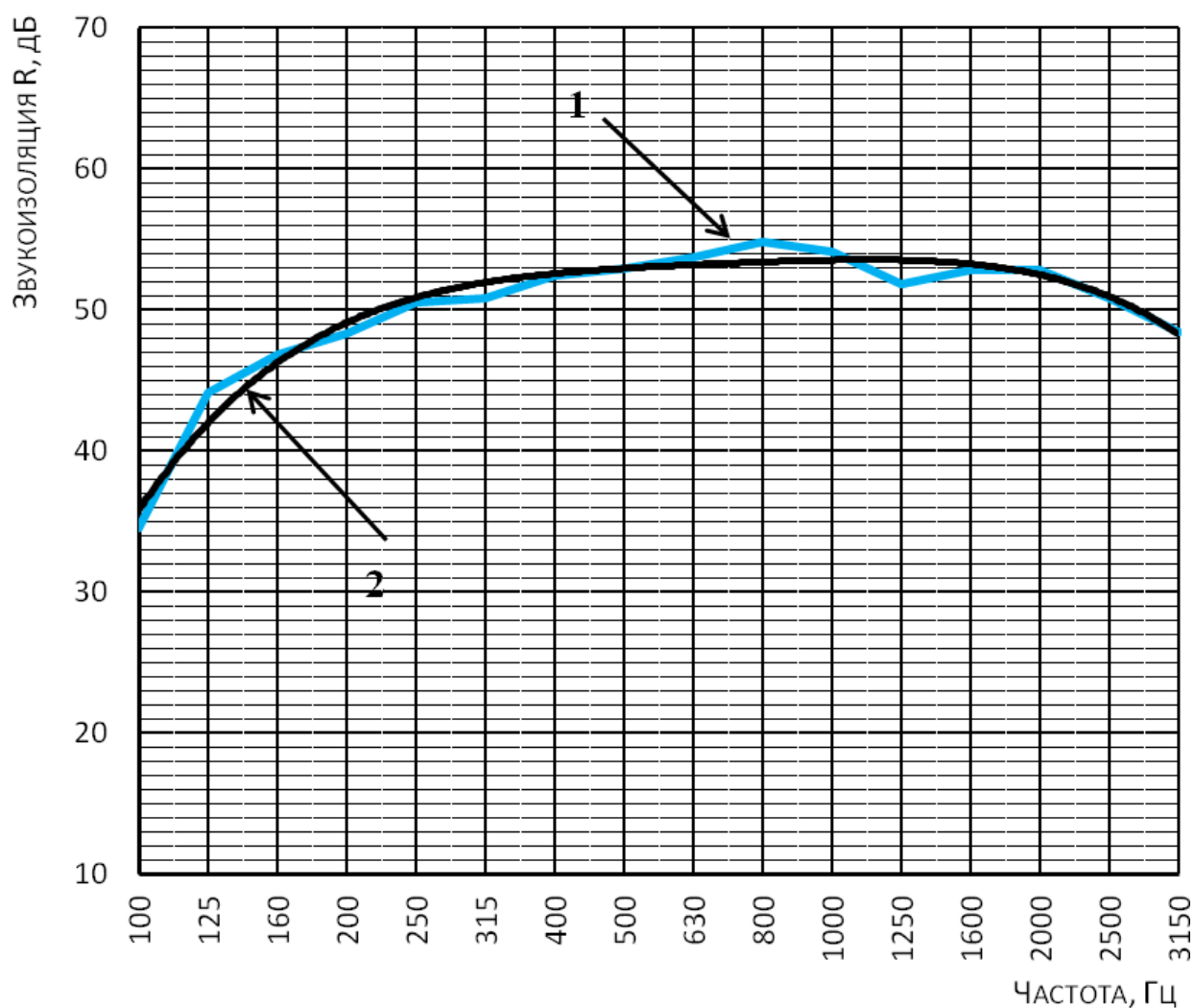


Рисунок 3.7 – Среднеквадратичное отклонение разности средних уровней звукового давления в помещениях для измерения изоляции воздушного шума в натуральных условиях акустической лаборатории ДонНАСА асимметричной каркасной перегородкой (1+2): 1 – график разности средних уровней звукового давления в испытательных помещениях с учетом эквивалентной площади звукопоглощения; 2 – среднеквадратичное отклонение разности средних уровней звукового давления в испытательных помещениях с учетом эквивалентной площади звукопоглощения.

Перед проведением измерений и по их окончании выполнялась калибровка приемной измерительной установки с помощью калибратора Robotron типа CAL 200 заводской № 91008.

Измерения проводились в диапазоне частот от 100 до 3150 Гц. При проведении измерений в КВУ создавались необходимые уровни звукового давления в пределах 92...100 дБ. В КНУ полезные сигналы превышали собственные шумы по уровню не менее чем на 15 дБ на всех частотах нормируемого диапазона (100...3150 Гц).

Вычисление звукоизоляции ограждающих конструкций производилось по формуле (3.1). Уровни звукового давления  $L_1$  и  $L_2$  вычислялись как среднее значение из измеренных уровней.

Средние уровни звукового давления ( $\bar{L}$ , дБ) в измерительных помещениях рассчитывались по формуле:

$$\bar{L} = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_1} \right), \quad (3.2)$$

где  $n$  - количество точек измерения в измерительных помещениях ( $n = 6$  для каждого испытательного помещения), шт.;  $L_1$  - уровень звукового давления в  $i$ -той измерительной точке, дБ.

При измерениях для получения усредненных расчетных значений выполняется серия измерений в 6 точках объема камер КВУ и КНУ. В каждой точке определяется уровень звука ( $L_1$  в КВУ и  $L_2$  в КНУ), а также уровень фоновых шумов в КНУ (уровень  $B_2$ ), необходимый для коррекции уровня  $L_2$  при расчетах воздушной изоляции. При измерениях определяется время реверберации в КНУ. Последовательность измерений по точкам и показателям может быть любой.

Необходимое число измерений в КНУ принималось в соответствии с требованиями [24], [34]. Граничная частота диффузного звукового поля определялась по формуле:

$$f_{\text{гр.дифф.}} = 125 \sqrt[3]{180/V}, \quad (3.3)$$

где  $V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>;

для КВУ -  $f_{\text{гр.дифф.}} = 154$  Гц; КНУ -  $f_{\text{гр.дифф.}} = 154$  Гц.

Для проведения измерений звукоизоляции ограждающих конструкций в помещениях для измерений изоляции воздушного шума в натурных условиях с

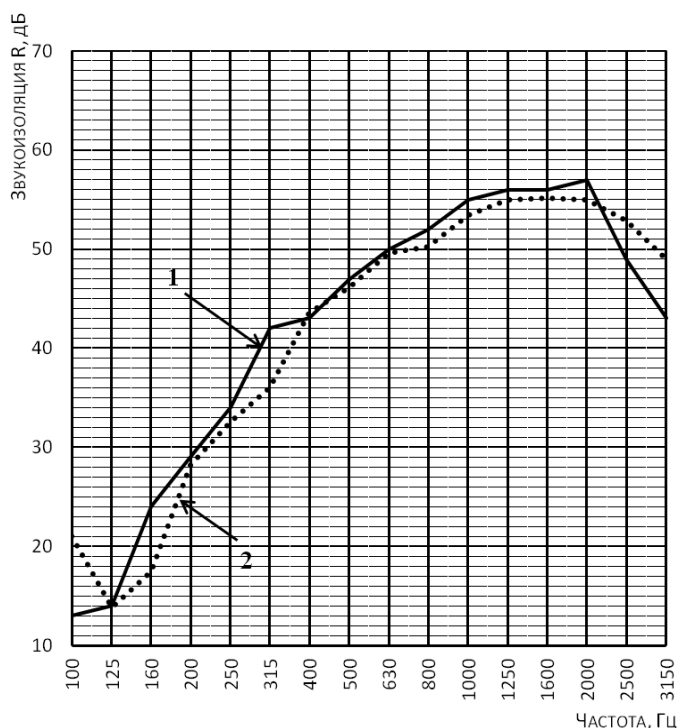
необходимой надежностью и точностью требуется соблюдение следующих условий: наличие диффузного звукового поля в помещениях для измерений, отсутствие или наличие обычных для здания обходных путей между КВУ и КНУ, уровень звукового давления в КВУ порядка 100 дБ, уровень помех не должен превышать 15 дБ; наличие малого звукопоглощения в КНУ.

Измерительная установка и помещения для измерений изоляции воздушного шума в натурных условиях акустической лаборатории ДонНАСА удовлетворяют требованиям [24], [34] для определения звукоизоляции ограждающих конструкций в нормируемом диапазоне частот. Применяемая акустическая аппаратура обеспечивает создание в камере уровень звукового давления в пределах 92...100 дБ в данном диапазоне. Измерительные приборы обеспечивают стабильный прием звукового сигнала с погрешностью не более 1...1,5 дБ при уровне помех (собственных шумов) менее 15 дБ. Значение времени стандартной реверберации, изменяемое в диапазоне 2...5 сек, свидетельствует о малом звукопоглощении в камере низкого уровня. Точность проводимых измерений определяется величиной суммарной погрешности, которая составляет 1...2 дБ при доверительной вероятности 0,96.

Распространение шума зависит от температуры, относительной влажности и атмосферного давления воздуха в испытательных помещениях во время испытаний. Выполнен сравнительный анализ измеренных частотных характеристик изоляции воздушного шума базовых каркасно-обшивных перегородок с одинаковыми конструктивными решениями и физико-механическими свойствами в акустической лаборатории ДонНАСА и акустических камерах НИИСФ. Сопоставимость результатов измерений частотных характеристик и индекса изоляции воздушного шума базовых конструкций приведены на рисунках 3.8 – 3.11. Прослеживается хорошая сходимость полученных результатов измерений. Проведенное рассмотрение подтверждает наличие необходимых условий, которые обеспечивают точное и надежное измерение звукоизоляции ограждающих конструкций в помещениях

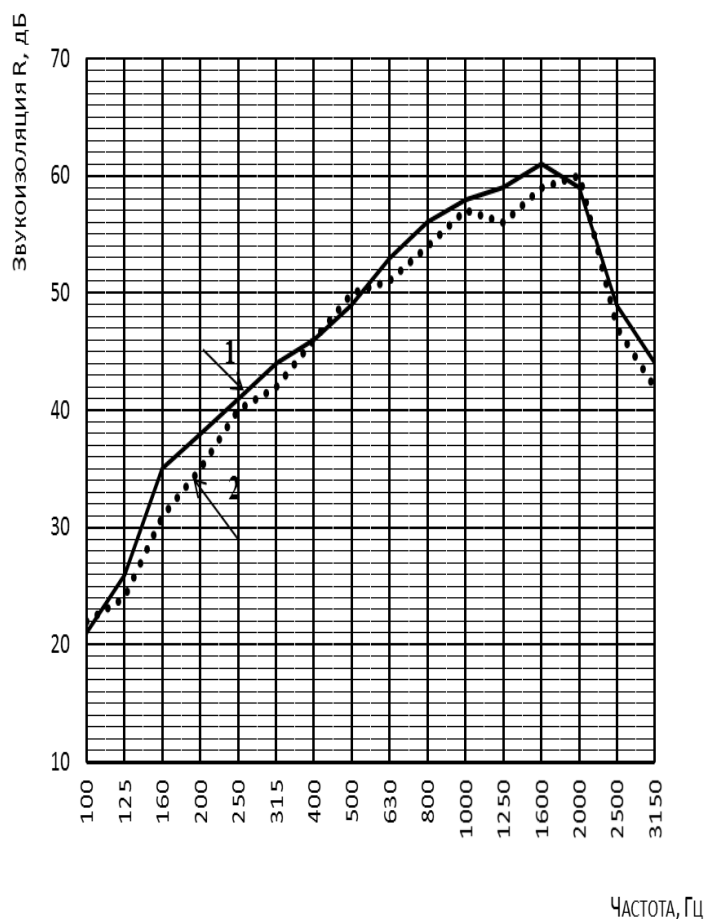
для измерений изоляции воздушного шума в натурных условиях акустической лаборатории ДонНАСА [21].

Результаты акустической лаборатории ДонНАСА находятся в согласии с результатами межлабораторного испытания. Следовательно соответствующий метод измерения применен правильно и все требования, предъявляемые к испытательной установке, средствам измерений и монтажу образца, выполнены, результат измерения следует рассматривать в качестве правильной реализации измеряемой величины.



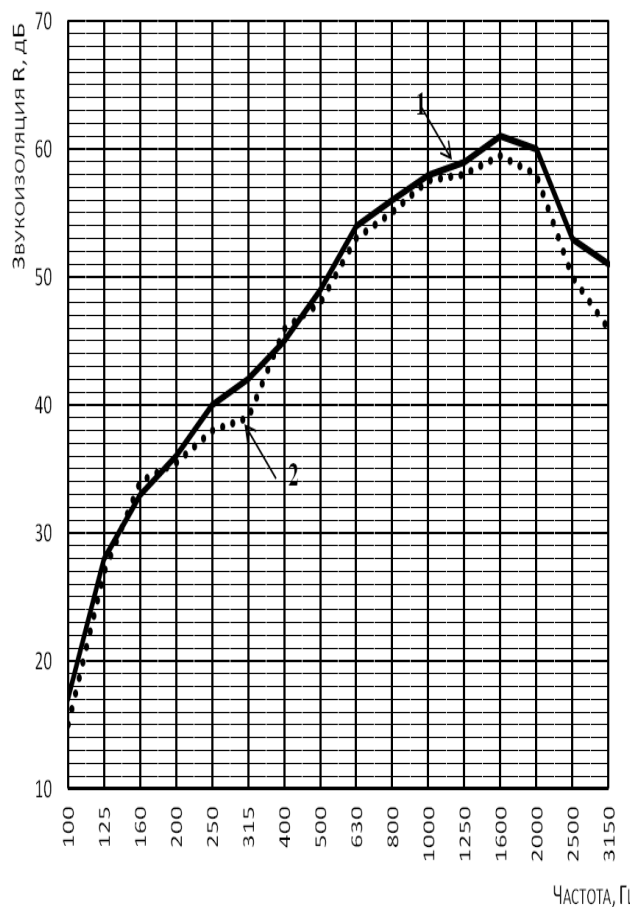
Частота, Гц	Измеренная частотная характеристика НИИСФ г.Москва	Измеренная частотная характеристика ДонНАСА
100	13	20
125	14	14
160	24	18
200	29	29
250	34	33
315	42	37
400	43	44
500	47	46,5
630	50	50
800	52	50
1000	55	53,5
1250	56	55
1600	56	55
2000	57	55
2500	49	53
3150	43	49
Индекс изоляции воздушного шума, дБ	$R_w=42$ $R'_w=40$	$R_w=42$ $R'_w=40$

Рисунок 3.8 – Сопоставление результатов измерений частотных характеристик и индекса изоляции воздушного шума каркасно-обшивных перегородок в акустических камерах НИИСФ г. Москва и акустической лаборатории ДонНАСА. Базовая конструкция перегородки: металлический профиль ПС 50/50, звукоизоляционный материал на основе минерального волокна плотностью  $40 \text{ кг/м}^3$  и толщиной 50 мм, гипсокартонные листы толщиной 12,5 мм по одному слою с каждой стороны: 1 – частотная характеристика изоляции воздушного шума, измеренная в акустических камерах НИИСФ. Индекс изоляции воздушного шума  $R_w = 42 \text{ дБ}$ ,  $R'_w = 40 \text{ дБ}$ ; 2 – частотная характеристика изоляции воздушного шума, измеренная в акустической лаборатории ДонНАСА. Индекс изоляции воздушного шума  $R_w = 42 \text{ дБ}$ ,  $R'_w = 40 \text{ дБ}$ .



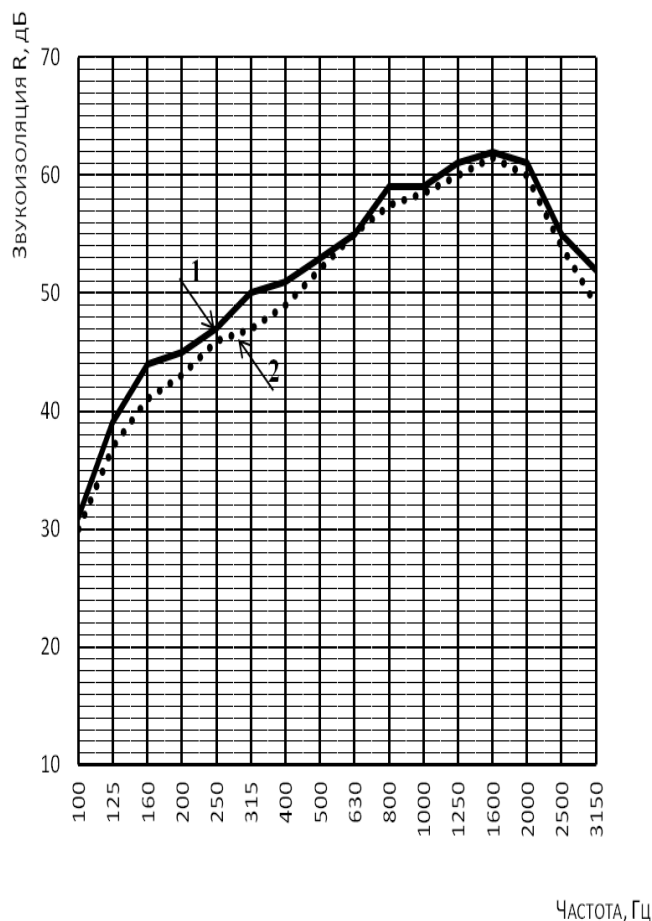
Частота, Гц	Измеренная частотная характеристика НИИСФ г.Москва	Измеренная частотная характеристика ДонНАСА
100	21	22
125	26	24
160	35	31
200	38	35
250	41	40
315	44	42
400	46	46
500	49	50
630	53	51
800	56	54
1000	58	57
1250	59	56
1600	61	59
2000	59	60
2500	49	47
3150	44	42
Индекс изоляции воздушного шума, дБ	$R_w=48$ $R'_w=46$	$R_w=47$ $R'_w=45$

Рисунок 3.9 – Сопоставление результатов измерений частотных характеристик и индекса изоляции воздушного шума каркасно-обшивных перегородок в акустических камерах НИИСФ г. Москва и акустической лаборатории ДонНАСА. Базовая конструкция перегородки: металлический профиль ПС 100/50, звукоизоляционный материал на основе минерального волокна плотностью  $40 \text{ кг/м}^3$  и толщиной 50 мм, гипсокартонные листы толщиной 12,5 мм по одному слою с каждой стороны: 1 – частотная характеристика изоляции воздушного шума, измеренная в акустических камерах НИИСФ. Индекс изоляции воздушного шума  $R_w = 48 \text{ дБ}$ ,  $R'_w = 46 \text{ дБ}$ ; 2 – частотная характеристика изоляции воздушного шума, измеренная в акустической лаборатории ДонНАСА. Индекс изоляции воздушного шума  $R_w = 47 \text{ дБ}$ ,  $R'_w = 45 \text{ дБ}$ .



Частота, Гц	Измеренная частотная характеристика НИИСФ	Измеренная частотная характеристика ДонНАСА
100	17	16,5
125	28	28
160	33	34
200	36	36
250	40	38
315	42	40
400	45	46
500	49	48,5
630	54	53,5
800	56	55
1000	58	58
1250	59	58
1600	61	60
2000	60	58
2500	53	50
3150	51	46
Индекс изоляции воздушного шума, дБ	$R_w=49$ $R'_w=47$	$R_w=49$ $R'_w=47$

Рисунок 3.10 – Сопоставление результатов измерений частотных характеристик и индекса изоляции воздушного шума каркасно-обшивных перегородок в акустических камерах НИИСФ г. Москва и акустической лаборатории ДонНАСА. Базовая конструкция перегородки: – металлический профиль ПС 50/50, звукоизоляционный материал на основе минерального волокна плотностью  $40 \text{ кг/м}^3$  и толщиной 50 мм, гипсокартонные листы толщиной 12,5 мм по два слоя с каждой стороны: 1 – частотная характеристика изоляции воздушного шума, измеренная в акустических камерах НИИСФ. Индекс изоляции воздушного шума  $R_w = 49 \text{ дБ}$ ,  $R'_w = 47 \text{ дБ}$ ; 2 – частотная характеристика изоляции воздушного шума, измеренная в акустической лаборатории ДонНАСА. Индекс изоляции воздушного шума  $R_w = 49 \text{ дБ}$ ,  $R'_w = 47 \text{ дБ}$ .



Частота, Гц	Измеренная частотная характеристика НИИСФ г.Москва	Измеренная частотная характеристика ДонНАСА
100	31	31
125	39	37,5
160	44	41
200	45	43
250	47	46
315	50	47
400	51	49
500	53	52
630	55	55
800	59	58
1000	59	59
1250	61	60
1600	62	62
2000	61	60
2500	55	54
3150	52	50
Индекс изоляции воздушного шума, дБ	$R_w=55$ $R'_w=53$	$R_w=55$ $R'_w=53$

Рисунок 3.11 – Сопоставление результатов измерений частотных характеристик и индекса изоляции воздушного шума каркасно-обшивных перегородок в акустических камерах НИИСФ г. Москва и акустической лаборатории ДонНАСА. Базовая конструкция перегородки: – металлический профиль ПС 100/50, звукоизоляционный материал на основе минерального волокна плотностью  $40 \text{ кг/м}^3$  и толщиной 50 мм, гипсокартонные листы толщиной 12,5 мм по два слоя с каждой стороны: 1 – частотная характеристика изоляции воздушного шума, измеренная в акустических камерах НИИСФ. Индекс изоляции воздушного шума  $R_w = 55 \text{ дБ}$ ,  $R'_w = 53 \text{ дБ}$ ; 2 – частотная характеристика изоляции воздушного шума, измеренная в акустической лаборатории ДонНАСА. Индекс изоляции воздушного шума  $R_w = 55 \text{ дБ}$ ,  $R'_w = 53 \text{ дБ}$ .

### **3.2 Программа экспериментальных исследований конструктивных решений, влияющих на звукоизоляцию асимметричных каркасных перегородок**

С целью получения надежных и достоверных результатов при проектировании асимметричных каркасных перегородок с рациональным конструктивным решением следует учитывать большое количество факторов, влияющих на звукоизолирующую способность данных ограждений. В таблице 3.1 представлена программа исследования влияния конструктивных параметров асимметричных каркасных перегородок на их звукоизолирующую способность.

В качестве стоек используют металлические П-образные профили, устанавливаемые на специальные направляющие из оцинкованной стали, которые крепятся к основанию перекрытия с помощью шурупов – винтов самонарезающих через упругие резиновые прокладки. Каркас облицовывают гипсокартонными листами с одной стороны, после чего пространство между стойками заполняют звукоизоляционным материалом, который желательно укладывать враспор для обеспечения плотного прилегания минераловатных плит к вертикальным стойкам. С наружной стороны перегородки обшивают одним или двумя слоями гипсокартонных листов, которые крепятся к элементам каркаса шурупами – винтами самонарезающими.

Для обеспечения максимальной степени звукоизоляции рекомендуется независимая установка противоположных стоек каркаса, не предусматривающая их конструктивной связи, а следовательно, и образования звуковых мостиков между противоположными поверхностями перегородки.

В соответствии с законами акустики звукоизоляционные характеристики перегородок в значительной степени зависят от их массы и в первую очередь от толщины обшивки. Следует отметить, что эта зависимость носит нелинейный характер и является функцией частоты звуковых колебаний.



Конструктивные мероприятия, улучшающие звукоизоляционные характеристики перегородок.

Звукоизоляционные характеристики перегородок зависят от способа их монтажа. Для обеспечения хорошей звукоизоляции, между горизонтальными направляющими и основанием необходимо проложить упругие (например, резиновые) ленточные прокладки.

В каркасных перегородках рекомендуется предусматривать точечное крепление листов обшивки к стойкам с шагом не менее 300 мм, сами стойки следует устанавливать с шагом не менее 600 мм, а пространство внутри перегородки целесообразно заполнять мягкими минераловатными плитами или матами. Для повышения звукоизоляционных свойств желательно устраивать самостоятельные каркасы для каждой из обшивок. Применение 2-3-слойной обшивки с каждой стороны перегородки также позволяет улучшить звукоизоляционные характеристики конструкции.

Перегородки не доводят до потолка на 10...15 мм, а образовавшийся зазор тщательно заделывают монтажной пеной («Пенофлекс», «Макрофлекс» и т.п.) или паклей, пропитанной цементным или алебастровым раствором. Для снижения вероятности образования трещин места сопряжения гипсокартонных листов со стеной проклеивают полосами нетканого материала (серпянкой). В месте примыкания пола к перегородке желательно оставить зазор толщиной 15...20 мм и заполнить его звукоизоляционным материалом - полосами, нарезанными из минераловатных плит плотностью более  $100 \text{ кг/м}^3$  или мягких ДВП. Такое устройство примыканий препятствует передаче ударного шума. Звуковые волны гасятся упругими материалами, поэтому вибрации не передаются перегородкам, а от них - перекрытиям.

Многослойные перегородки состоят из нескольких чередующихся слоев жестких (плотных) и мягких (легких) строительных материалов. Плотные материалы (гипсокартон и др.) проявляют здесь звукоизоляционные свойства и работают аналогично однослойным перегородкам: звукоизоляция тем выше, чем больше поверхностная плотность материала. Материалы легкого слоя выполняют

звукопоглощающую функцию, т.е. структура материала должна быть такой, чтобы при прохождении сквозь нее звуковых колебаний последние ослаблялись за счет трения воздуха в порах материала. Для реализации всего потенциала многослойной конструкции должно выполняться требование послойного прохождения звука через толщу перегородки. В идеале звуковая волна должна последовательно пройти сначала только через первый жесткий слой, затем только через мягкий, затем только через второй жесткий слой. На практике же обязательное присутствие несущего каркаса приводит к тому, что звуковые колебания первого жесткого слоя передаются через общий каркас на последний жесткий слой и переизлучаются им в защищаемое помещение. Так как звуковые колебания от одной стенки к другой передаются не только через промежуточный слой между ними, но в значительной степени и через элементы конструкции, соединяющие их по контуру крепления (звуковые мостики), то надо (по возможности) проводить демпфирование этих колебаний в соединительных элементах. Необходимо делать связи между двумя обшивками каркасных перегородок по возможности менее жесткими. Метод звукоизолирующих мостиков применяют в основном в двух- и многослойных строительных конструкциях.

Комбинированный мостик применяется для двустенных изолирующих конструкций, у которых критические частоты одной стены выше, а другой – в пределах расчетного диапазона. Число мостиков должно быть минимально для данной конструкции, а частота размещения – одинаковой по контуру крепления.

Этого можно достичь применением упругих прокладок между обшивкой и металлическим каркасом. Применение слоя вязкоэластичного материала между листами обшивок позволяет демпфировать нежелательные резонансы (на частоте волнового совпадения), снижающие звукоизоляцию на средних частотах в диапазоне 630...1250 Гц.

Конструктивные параметры асимметричных каркасных перегородок

Тип перегородок	Эскиз	Толщина слоев обшивки, а, d, мм	Толщина перегородки, D, мм	Ширина стоечного профиля ПС, h, мм	Исследуемые характеристики
АС-1М-(1+2)ГКЛ, АС-1М-(1+3)ГКЛ, АС-1М-(2+3)ГКЛ – перегородки с одинарным металлическим каркасом, с асимметричной обшивкой ГКЛ с обеих сторон и звукопоглощающим слоем, толщ. 50мм (ИЗОВЕР ЗвукоЗащита плотностью 40 кг/м³). Крепление обшивки к стойкам каркаса выполнено на винтах самонарезающих					
АС-1М-(1+2)ГКЛ		a – 1x12,5 d – 2x12,5	87,5 112,5 137,5	50 75 100	Оценка влияния на звукоизоляцию асимметричных каркасных перегородок: 1. Поверхностных плотностей обшивок и количества слоев ГКЛ в обшивках. 2. Толщина воздушного промежутка между обшивками.
АС-1М-(1+3)ГКЛ		a – 1x12,5 d – 3x12,5	100 125 150	50 75 100	
АС-1М-(2+3)ГКЛ		a – 2x12,5 d – 3x12,5	112,5 137,5 162,5	50 75 100	
АС-1Му-(1+2)ГКЛ – перегородки с одинарным металлическим каркасом, с асимметричной обшивкой ГКЛ с обеих сторон и звукопоглощающим слоем, толщ. 50мм (ИЗОВЕР ЗвукоЗащита плотностью 40 кг/м³). Крепление обшивки к стойкам каркаса выполнено через упругие прокладки на вязкоупругом клее					
АС-1Му-(1+2)ГКЛ		a – 1x12,5 d – 2x12,5	112,5	75	1. Оценка влияния на звукоизоляцию ассиметричной каркасной перегородки крепления обшивок к каркасу через упругие прокладки на клею

### 3.3 Экспериментальные исследования значений частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричных каркасных перегородок

На рисунках 3.12 – 3.20 представлены сравнения графиков измеренных и рассчитанных частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричных каркасных перегородок разных конструктивных решений и значения частотных характеристик – измеренные и рассчитанные, а также индексы изоляции воздушного шума этих конструкций.

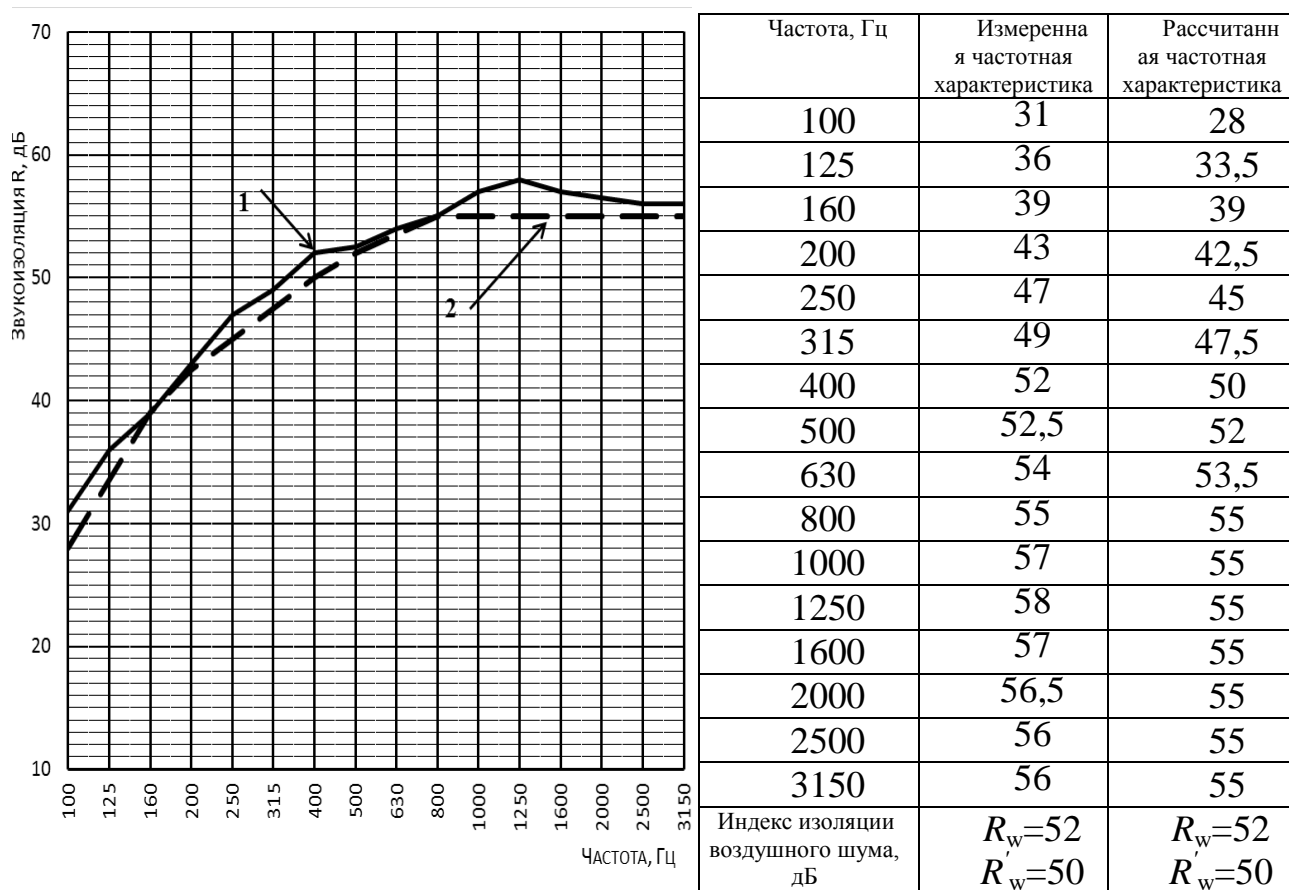
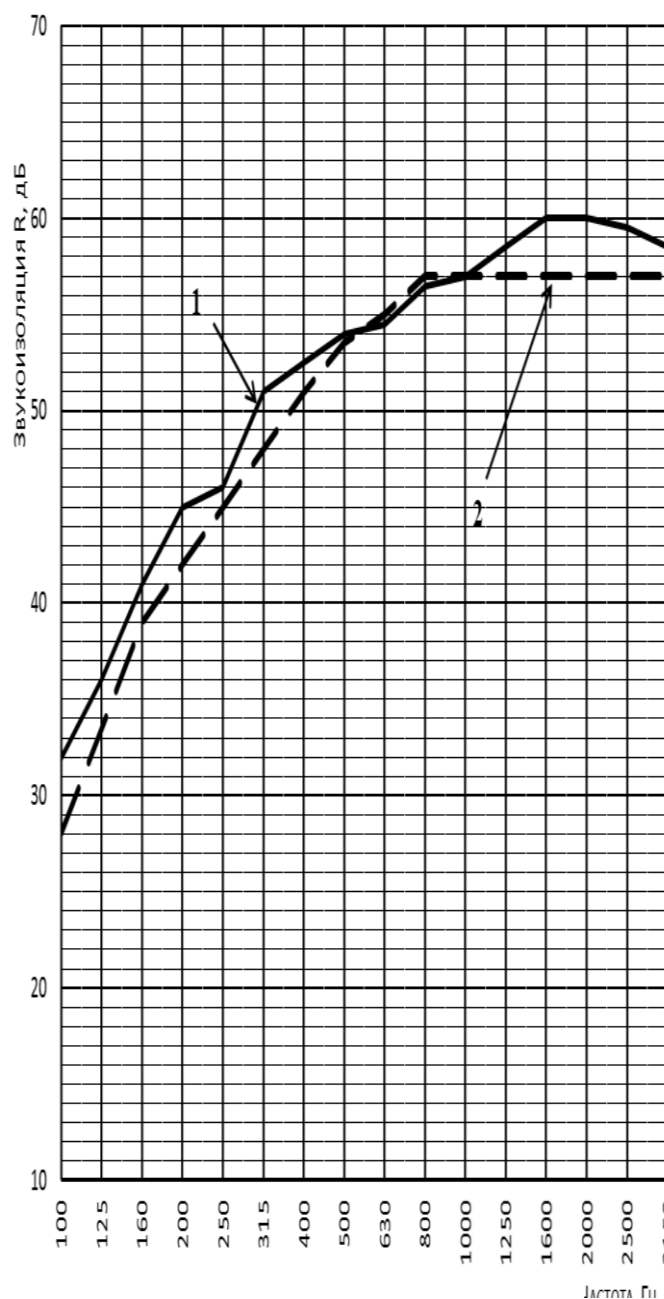


Рисунок 3.12 – Сравнение измеренной и рассчитанной частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричной каркасной перегородкой АС-1М-(1+2)ГКЛ. Конструкция: каркас: одинарный металлический – 1х50 мм; обшивка разной толщины из ГКЛ – 1х12,5 мм+2х12,5 мм; изоляция: минераловатная плита «ИЗОВЕР ЗвукоЗащита» плотностью 40 кг/м<sup>3</sup> и толщиной 50 мм: 1 – измеренная частотная характеристика звукоизоляции; 2 – рассчитанная частотная характеристика звукоизоляции.



Частота, Гц	Измеренная частотная характеристика	Рассчитанная частотная характеристика
100	32	28
125	36	33,5
160	41	39
200	45	42
250	46	45
315	51	48
400	52,5	51
500	54	53,5
630	54,5	55
800	56,5	57
1000	57	57
1250	58,5	57
1600	60	57
2000	60	57
2500	59,5	57
3150	58,5	57
Индекс изоляции воздушного шума, дБ	$R_w=53$ $R'_w=51$	$R_w=53$ $R'_w=51$

Рисунок 3.13 – Сравнение измеренной и рассчитанной частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричной каркасно-обшивной перегородкой АС-1М-(1+2)ГКЛ. 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 – измеренная частотная характеристика звукоизоляции; 2 – рассчитанная частотная характеристика звукоизоляции.

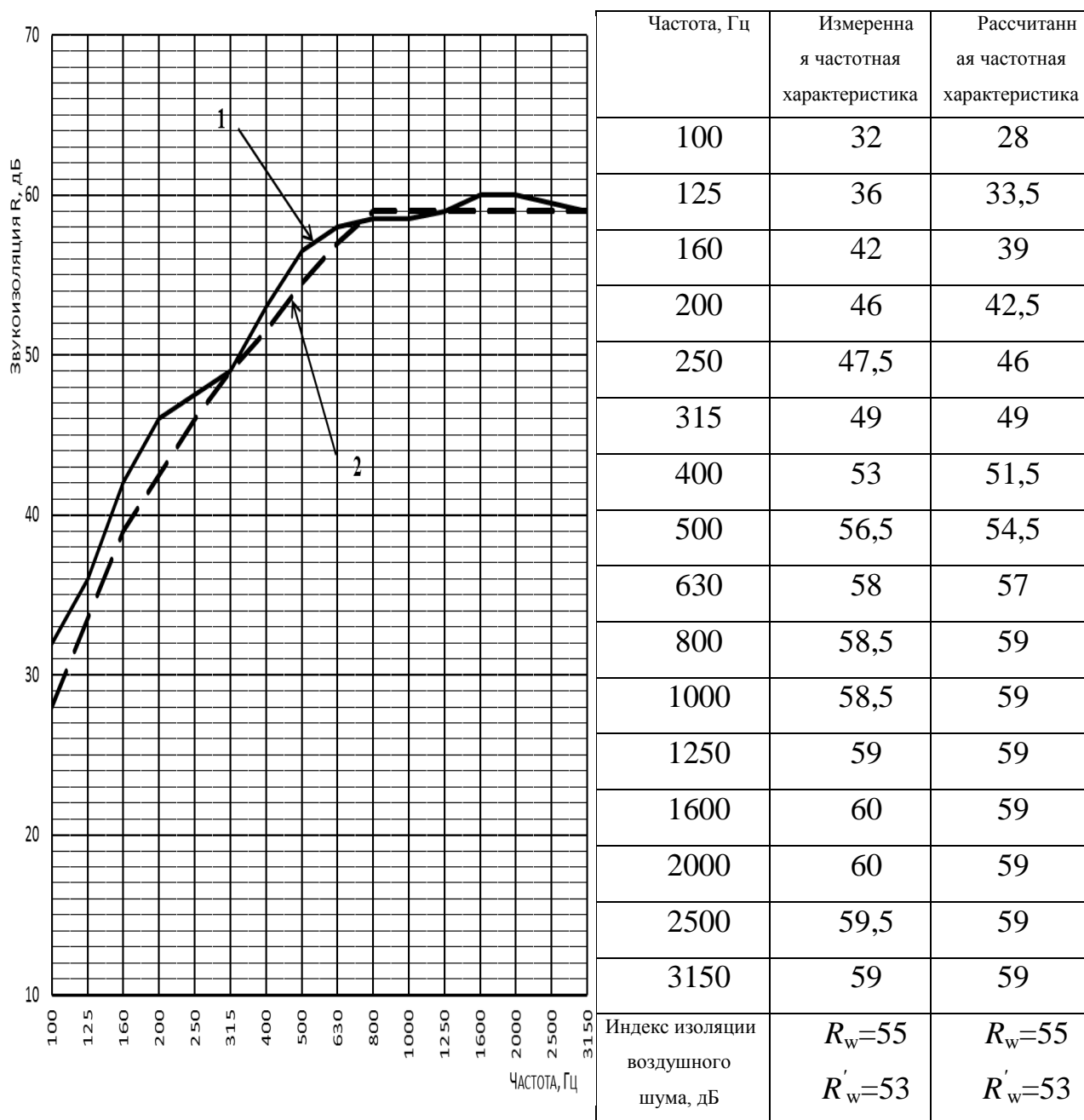
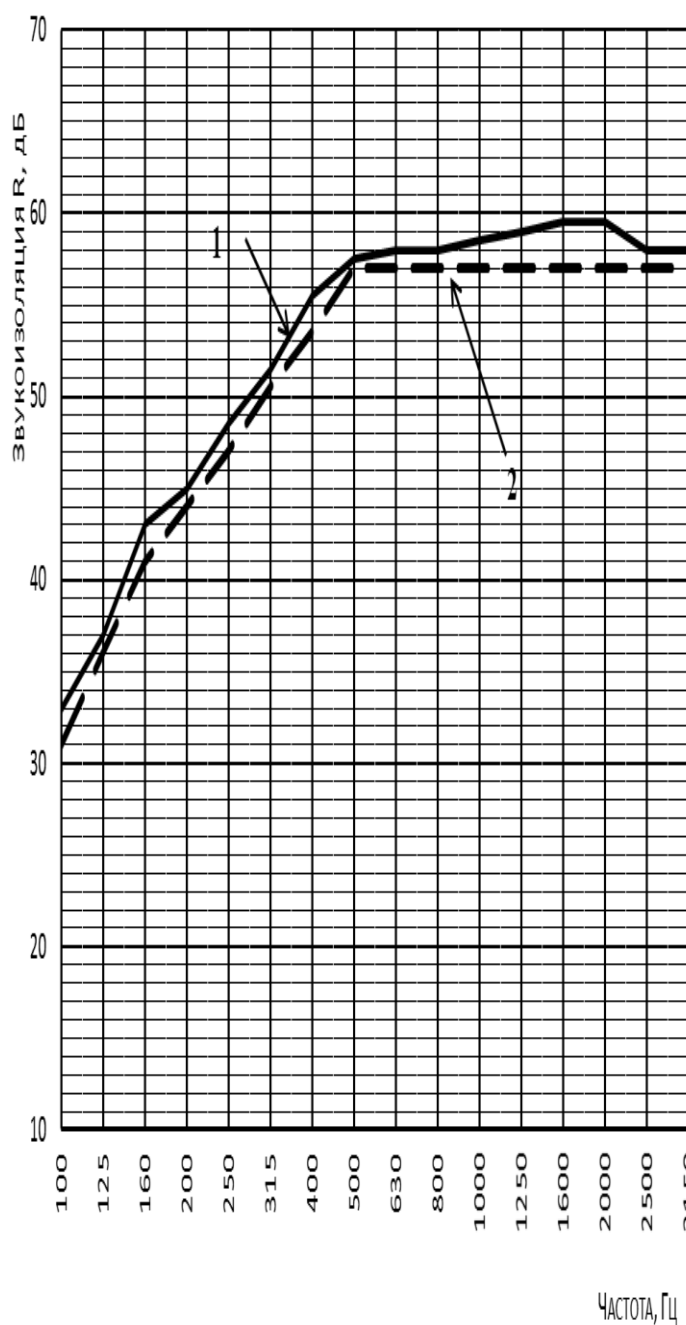
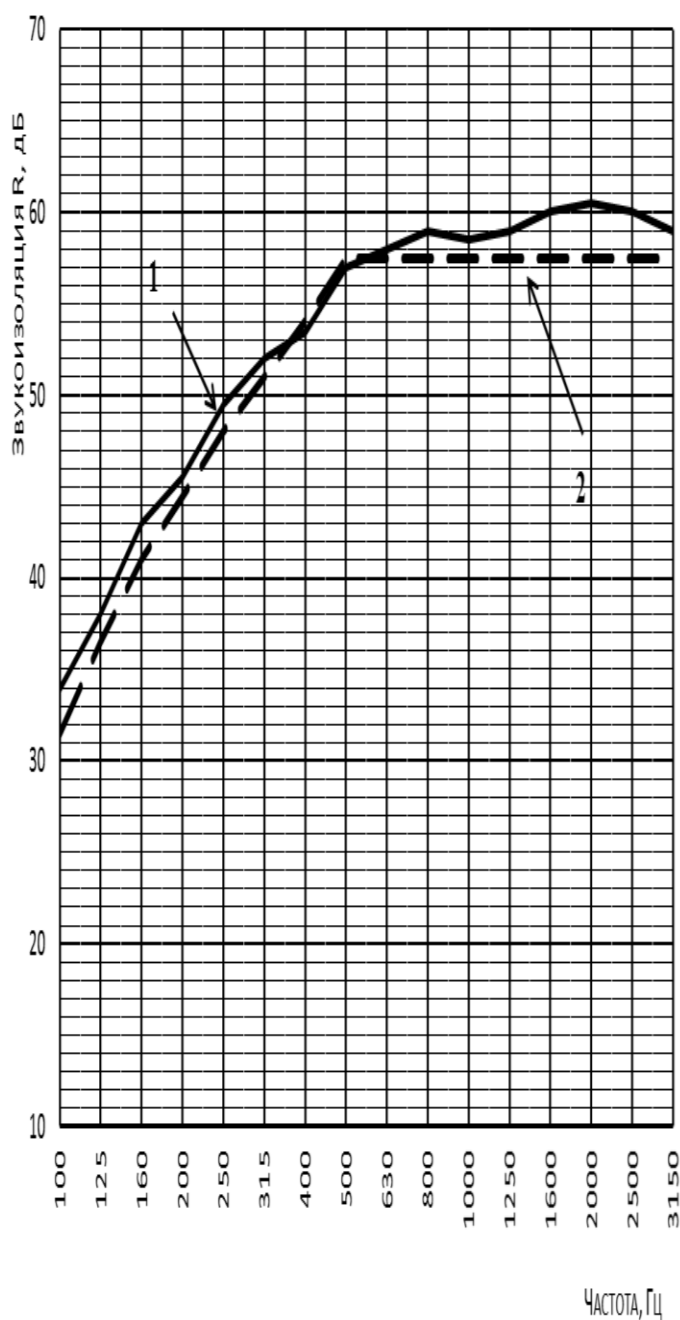


Рисунок 3.14 – Сравнение измеренной и рассчитанной частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричной каркасно-обшивной перегородкой АС-1М-(1+2)ГКЛ. Конструкция: - каркас: одинарный металлический – 1х100 мм; обшивка разной толщины из ГКЛ – 1х12,5 мм+2х12,5 мм; изоляция: минераловатная плита «ИЗОВЕР ЗвукоЗащита» плотностью 40 кг/м<sup>3</sup> и толщиной 50 мм. 1 – измеренная частотная характеристика звукоизоляции; 2 – рассчитанная частотная характеристика звукоизоляции.



Частота, Гц	Измеренная частотная характеристика	Рассчитанная частотная характеристика
100	33	31
125	37	36
160	43	41
200	45	44
250	48,5	47
315	51,5	50,5
400	55,5	53,5
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 воздушного шума, дБ	$R_w=53$ $R'_w=51$	$R_w=53$ $R'_w=51$

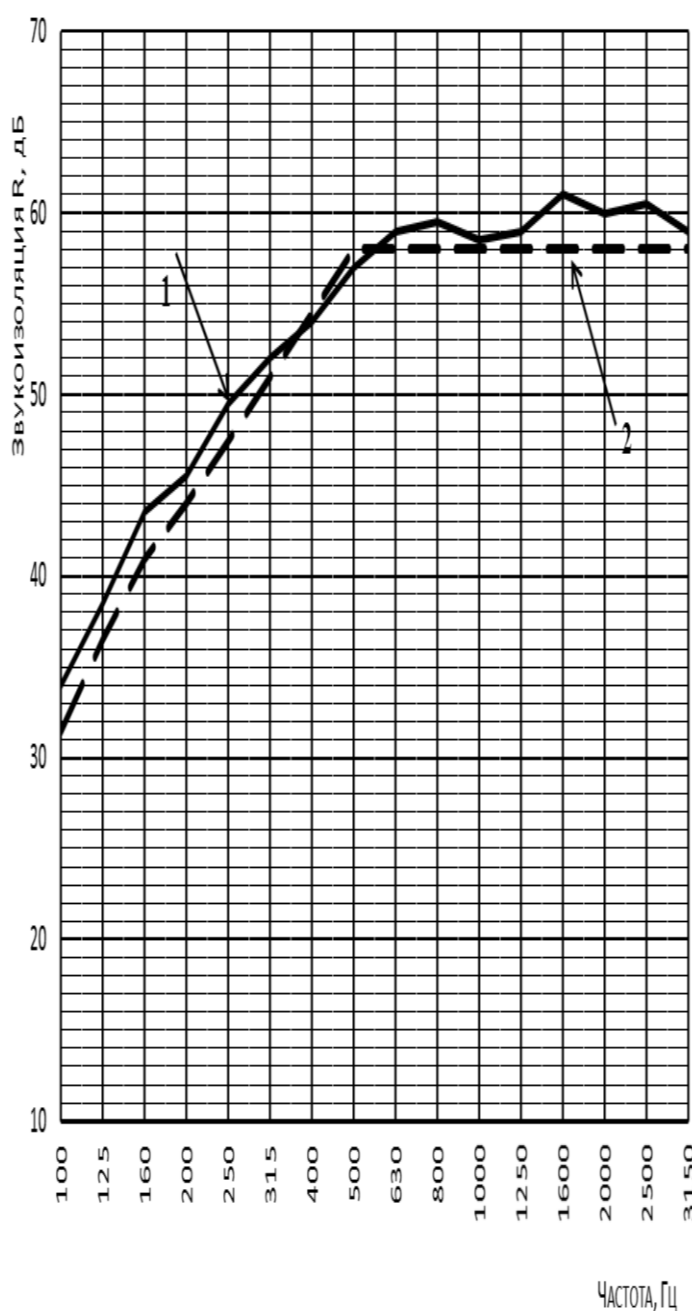
Рисунок 3.15 – Сравнение измеренной и рассчитанной частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричной каркасной перегородкой АС-1М-(1+3)ГКЛ. Конструкция: каркас: одинарный металлический – 1х50 мм; обшивка разной толщины из ГКЛ – 1х12,5 мм+3х12,5 мм; изоляция: минераловатная плита «ИЗОВЕР ЗвукоЗащита» плотностью 40 кг/м<sup>3</sup> и толщиной 50 мм: 1 – измеренная частотная характеристика звукоизоляции; 2 – рассчитанная частотная характеристика звукоизоляции.



Частота, Гц	Измеренная частотная характеристика	Рассчитанная частотная характеристика
100	34	31,5
125	38	36,5
160	43	41
200	45,5	44,5
250	49,5	48
315	52	51
400	53,5	54
500	57	57,5
630	58	57,5
800	59	57,5
1000	58,5	57,5
1250	59	57,5
1600	60	57,5
2000	60,5	57,5
2500	60	57,5
3150	59	57,5
Индекс изоляции воздушного шума, дБ	$R_w=56$ $R'_w=54$	$R_w=56$ $R'_w=54$

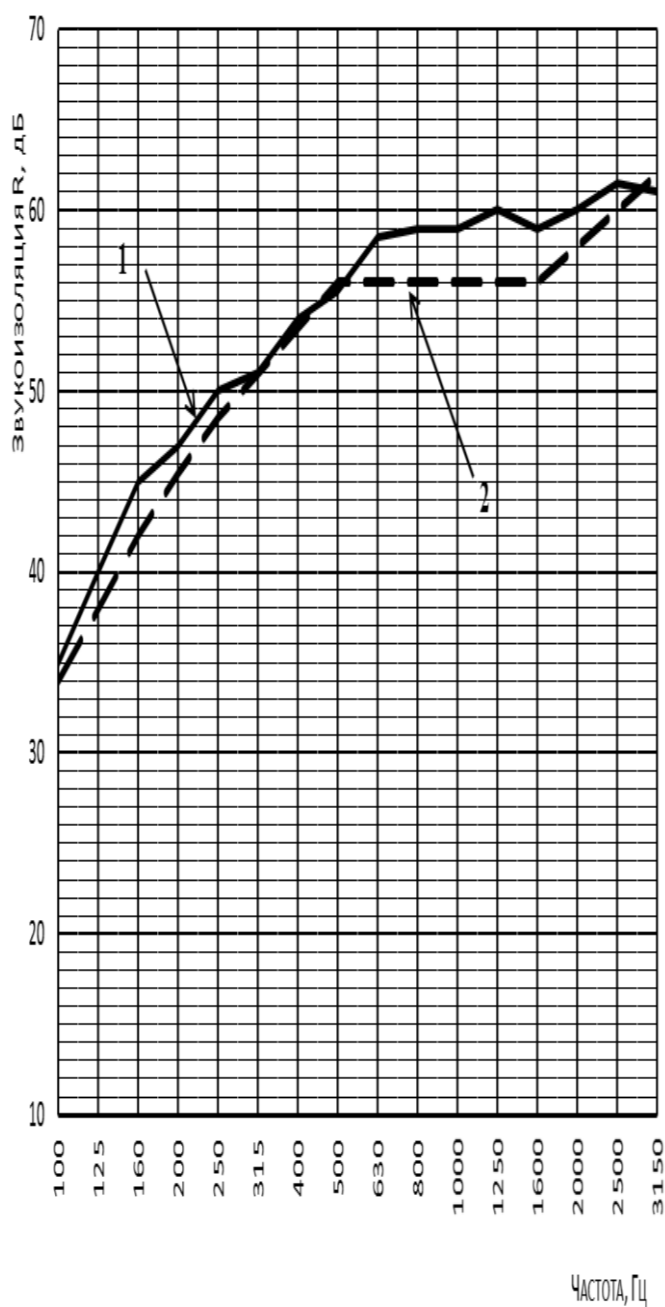
Рисунок 3.16 – Сравнение измеренной и рассчитанной частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричной каркасной перегородкой АС-1М-(1+3)ГКЛ. Конструкция: каркас: одинарный металлический – 1х75 мм; обшивка разной толщины из ГКЛ – 1х12,5 мм+3х12,5 мм; изоляция: минераловатная плита «ИЗОВЕР ЗвукоЗащита» плотностью 40 кг/м<sup>3</sup> и толщиной 50 мм: 1 – измеренная частотная характеристика звукоизоляции; 2 – рассчитанная частотная характеристика звукоизоляции.





Частота, Гц	Измеренная частотная характеристика	Рассчитанная частотная характеристика
100	34	31,5
125	38,5	36,5
160	43,5	41
200	45,5	44
250	49,5	47,5
315	52	51
400	54	54,5
500	57	58
630	59	58
800	59,5	58
1000	58,5	58
1250	59	58
1600	61	58
2000	60	58
2500	60,5	58
3150	59	58
Индекс изоляции воздушного шума, дБ	$R_w=57$ $R'_w=55$	$R_w=57$ $R'_w=55$

Рисунок 3.17 – Сравнение измеренной и рассчитанной частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричной каркасной перегородкой АС-1М-(1+3)ГКЛ. Конструкция: каркас: одинарный металлический – 1х100 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	Измеренная частотная характеристика	Рассчитанная частотная характеристика
100	35	34
125	40	38
160	45	42
200	47	45,5
250	50	48,5
315	51	51
400	54	53,5
500	55,5	56
630	58,5	56
800	59	56
1000	59	56
1250	60	56
1600	59	56
2000	60	58
2500	61,5	60
3150	61	62
Индекс изоляции воздушного шума, дБ	$R_w=56$ $R'_w=54$	$R_w=56$ $R'_w=54$

Рисунок 3.18 – Сравнение измеренной и рассчитанной частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричной каркасной перегородкой АС-1М-(2+3)ГКЛ. Конструкция: каркас: одинарный металлический – 1х50 мм; обшивка разной толщины из ГКЛ – 2х12,5 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.

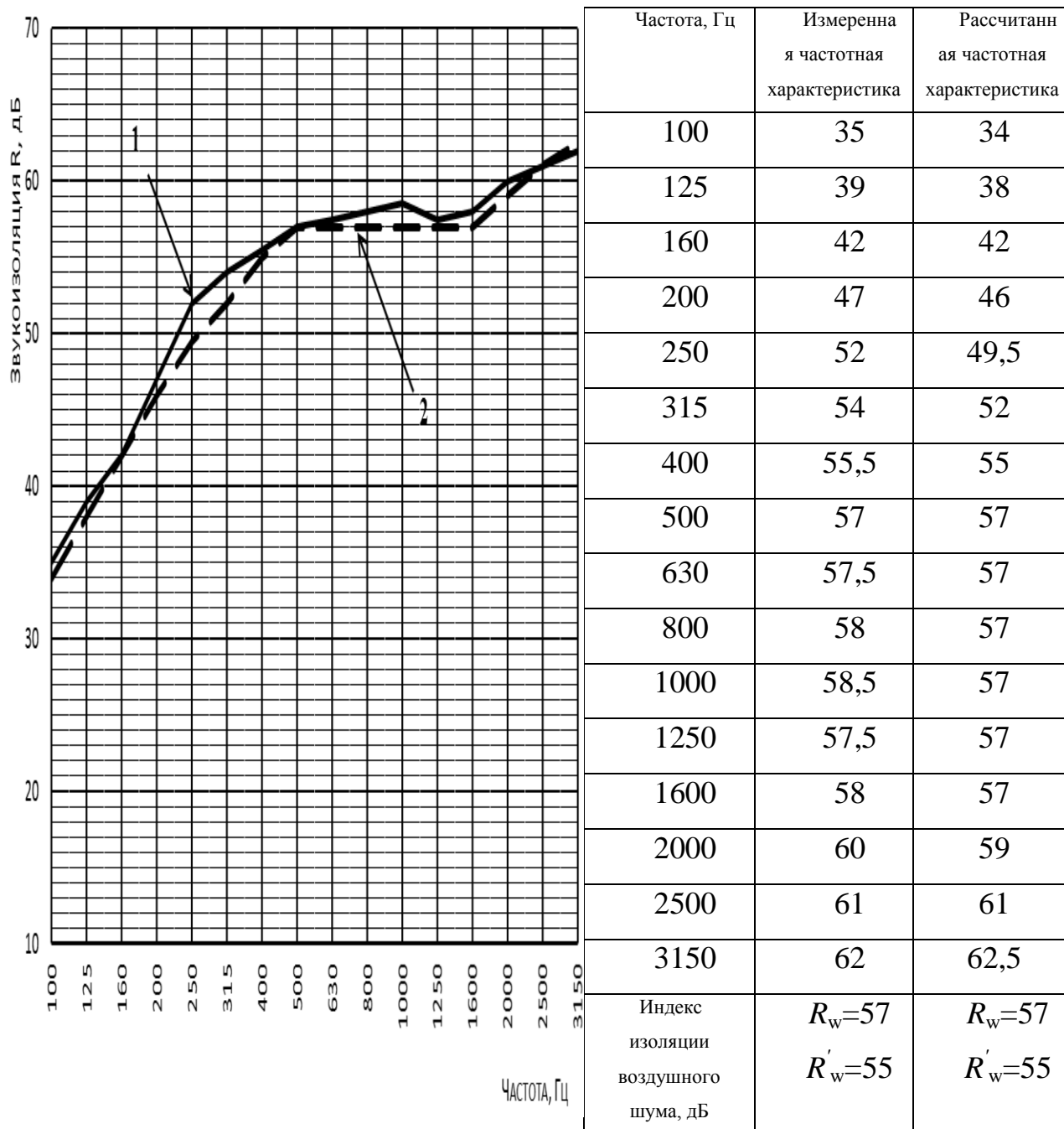
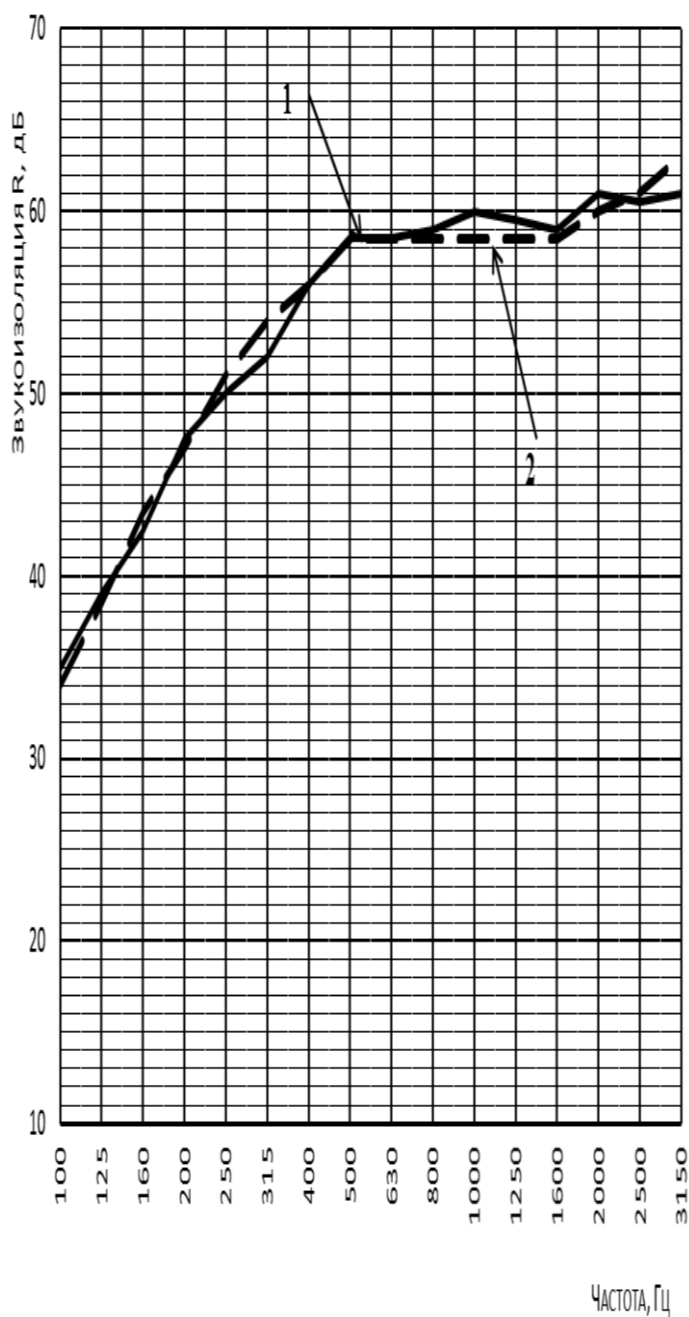


Рисунок 3.19 – Сравнение измеренной и рассчитанной частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричной каркасной перегородкой АС-1М-(2+3)ГКЛ. Конструкция: каркас: одинарный металлический – 1х75 мм; обшивка разной толщины из ГКЛ – 2х12,5 мм+3х12,5 мм; изоляция: минераловатная плита «ИЗОВЕР ЗвукоЗащита» плотностью 40 кг/м<sup>3</sup> и толщиной 50 мм: 1 – измеренная частотная характеристика звукоизоляции; 2 – рассчитанная частотная характеристика звукоизоляции.



Частота, Гц	Измеренная частотная характеристика	Рассчитанная частотная характеристика
100	35	34
125	39	38,5
160	42,5	43,5
200	47,5	47
250	50	51
315	52	54
400	56	56
500	58,5	58,5
630	58,5	58,5
800	59	58,5
1000	60	58,5
1250	59,5	58,5
1600	59	58,5
2000	61	60
2500	60,5	61
3150	61	63
Индекс изоляции воздушного шума, дБ	$R_w=58$ $R'_w=56$	$R_w=58$ $R'_w=56$

Рисунок 3.20 – Сравнение измеренной и рассчитанной частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричной каркасной перегородкой АС-1М-(2+3)ГКЛ. Конструкция: каркас: одинарный металлический – 1х100 мм; обшивка разной толщины из ГКЛ – 2х12,5 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.

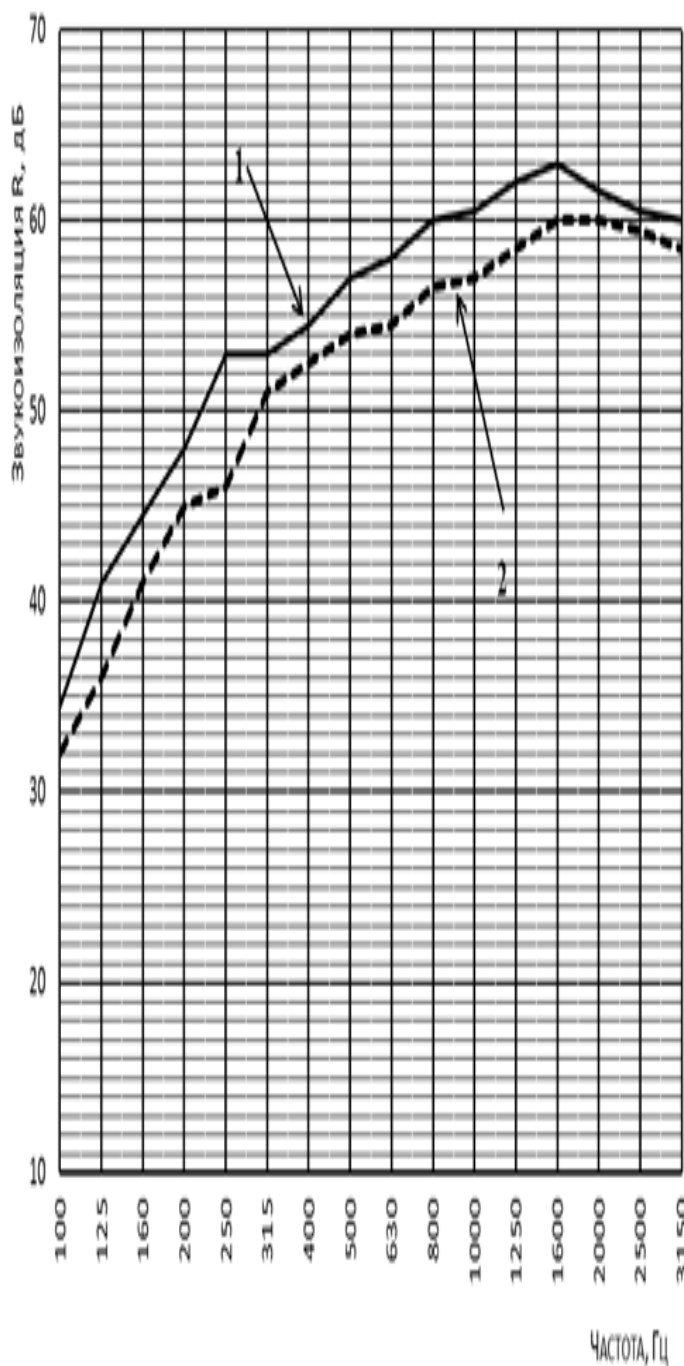
Анализируя рисунки 3.12 - 3.20, можно сделать следующие выводы:

- индекс изоляции воздушного шума асимметричной каркасной перегородки, полученный экспериментальным путем имеет хорошую сходимость с рассчитанным значением индекса по графоаналитическому методу;
- эффект увеличения звукоизоляции асимметричной каркасной перегородки получен в результате сочетания акустически однородных элементов (однослойных ограждений) с граничными частотами, отличающимися между собой не менее чем в 2 раза.

На рисунке 3.21 представлены сравнения графиков измеренных частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричных каркасных перегородок с разными конструктивными узлами крепления слоев обшивки между собой и с каркасом, значения частотных характеристик и индексы изоляции воздушного шума этих конструкций.

Полученные результаты экспериментальных исследований индекса изоляции воздушного шума на уровне 56 дБ асимметричной каркасной перегородки (рисунок 3.21), в которой соединение между собой листов обшивок и с каркасом выполнено на клею через упругие прокладки «Вибростек», показывает увеличение звукоизоляции на 3 дБ по сравнению с каркасными перегородками, соединение элементов которых выполнено жестко на шурупах / винтах самонарезающих.

Значения индексов изоляции воздушного шума асимметричных каркасных перегородок по измеренным частотным характеристикам изоляции воздушного шума приведены в таблице 3.2.



Частота, Гц	Измеренные частотные характеристики	
	измеренная кривая 1	измеренная 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 воздушного шума, дБ	$R_w=56$ $R_w=54$	$R_w=53$ $R_w=51$

Рисунок 3.21 – 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 вибродемпфирующие элементы (прокладка из материала «Вибростек» на клею); 2 – крепление обшивки к каркасу выполнено шурупами / винтами самонарезающими.

Значения индексов изоляции воздушного шума  
асимметричных каркасных перегородок

№	Конструкция	Каркас	$R_w$	$R'_w$
	Тип перегородки – АС-1М-(1+2)ГКЛ, поверхностная плотность 40 кг/м <sup>2</sup>			
1	Одинарный металлический каркас с обшивкой разной толщины (1х12,5 мм+2х12,5 мм) из ГКЛ и звукопоглощающим материалом толщ. 50 мм	ПС 50/50	52	50
2		ПС 75/50	53	51
3		ПС 100/50	55	53
	Тип перегородки – АС-1М-(1+3)ГКЛ, поверхностная плотность 52 кг/м <sup>2</sup>			
4	Одинарный металлический каркас с обшивкой разной толщины (1х12,5 мм+3х12,5 мм) из ГКЛ и звукопоглощающим материалом толщ. 50 мм	ПС 50/50	53	51
5		ПС 75/50	56	54
6		ПС 100/50	57	55
	Тип перегородки – АС-1М-(2+3)ГКЛ, поверхностная плотность 60 кг/м <sup>2</sup>			
7	Одинарный металлический каркас с обшивкой разной толщины (2х12,5 мм+3х12,5 мм) из ГКЛ и звукопоглощающим материалом толщ. 50 мм	ПС 50/50	56	54
8		ПС 75/50	57	55
9		ПС 100/50	58	56
	Тип перегородки – АС-1Му-(1+2)ГКЛ, поверхностная плотность 40 кг/м <sup>2</sup>			
10	Одинарный металлический каркас с обшивкой разной толщины (1х12,5 мм+2х12,5 мм) из ГКЛ и звукопоглощающим материалом толщ. 50 мм	ПС 75/50	56	54

Анализируя результаты измерений, можно выявить определенные закономерности. Рассмотрим подробно влияние на звукоизоляцию толщину листов обшивки. Звукоизоляция на частоте ниже частоты волнового совпадения зависит от толщины конструкции (количества листов ГКЛ) и поверхностной плотности. Для тонких однослойных конструкций из ГКЛ частота волнового совпадения находится в области частот 800...3150 Гц. 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.

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

На рисунке 3.22 представлено сравнение измеренных частотных характеристик асимметричных каркасных перегородок, отличающихся шириной воздушного промежутка.

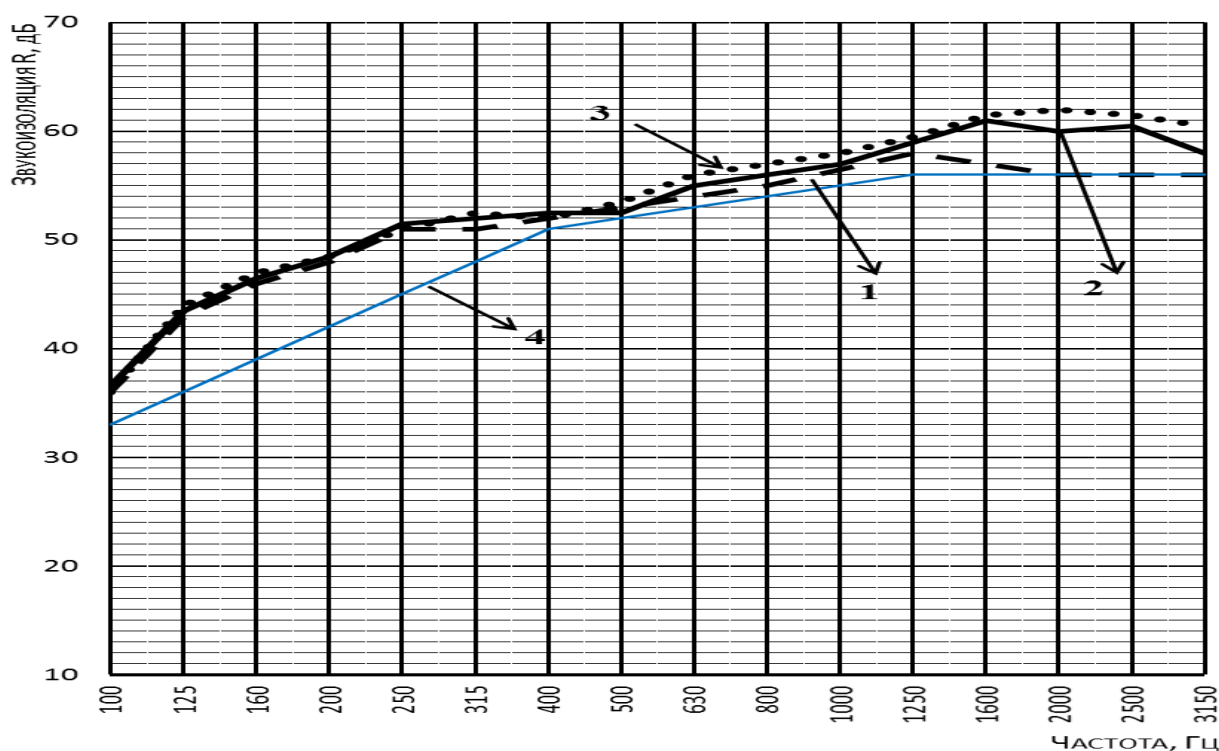


Рисунок 3.22 – Сравнение измеренных частотных характеристик изоляции воздушного шума асимметричных каркасных перегородок: 1 – конструкция : каркас: одинарный металлический – 1х50 мм; обшивка разной толщины из ГКЛ – 1х12,5 мм+2х12,5 мм; изоляция: минераловатная плита «ИЗОВЕР ЗвукоЗащита» плотностью  $40 \text{ кг/м}^3$ , толщ. 50 мм; 2 – конструкция №3: - каркас: одинарный металлический – 1х100 мм; обшивка разной толщины из ГКЛ – 1х12,5 мм+2х12,5 мм; изоляция: минераловатная плита «ИЗОВЕР ЗвукоЗащита» плотностью  $40 \text{ кг/м}^3$  и толщиной 50 мм; 3 – конструкция №4: - каркас: одинарный металлический – 1х50 мм; обшивка разной толщины из ГКЛ – 1х12,5 мм+3х12,5 мм; изоляция: минераловатная плита «ИЗОВЕР ЗвукоЗащита»



плотностью  $40 \text{ кг/м}^3$  и толщиной 50 мм; 4 – оценочная частотная характеристика изоляции воздушного шума.

На рисунке 3.23 приведены результаты измеренной частотной характеристики асимметричной каркасной перегородки ( $1 \times 12,5 + 3 \times 12,5$  мм) в сравнении с однослойной ( $4 \times 12,5$  мм) и двухслойной с одинаковой толщиной листов, со звукопоглощающим материалов в воздушной прослойке. Поверхностная плотность перегородок равна  $50 \text{ кг/м}^2$ .

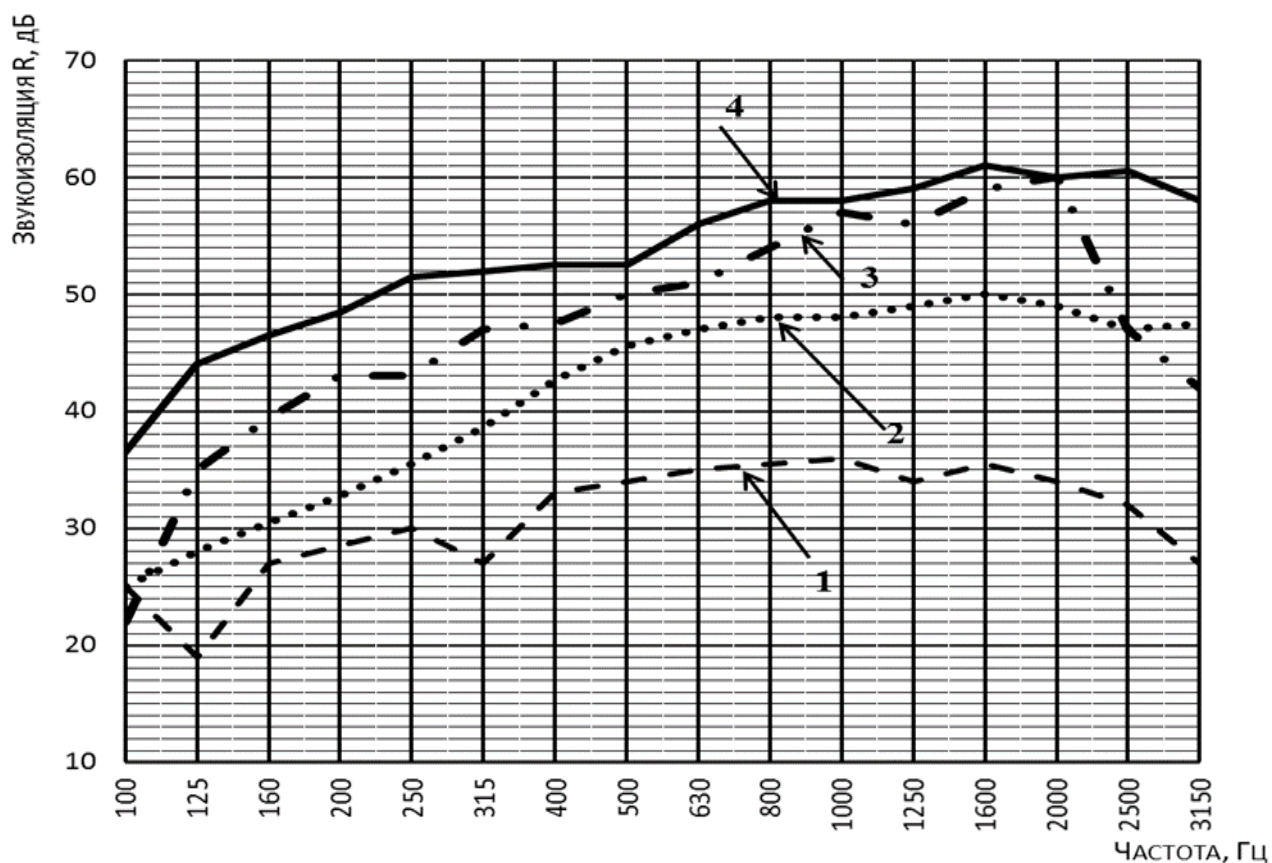


Рисунок 3.23 – Сравнение звукоизоляции перегородок с одинаковой поверхностной плотностью: 1 – однослойное тонкое плоское ограждение из четырех листов ГКЛ толщ. 50 мм ( $4 \times 12,5$  мм),  $R_w = 36$  дБ; 2 – обшивка с двух сторон ГКЛ одинаковой толщины ( $2 \times 12,5$  мм +  $2 \times 12,5$  мм) с воздушным промежутком толщ. 100 мм,  $R_w = 47$  дБ; 3 – обшивка с двух сторон ГКЛ одинаковой толщины ( $2 \times 12,5$  мм +  $2 \times 12,5$  мм) со звукопоглощающим слоем 50 мм,  $R_w = 53$  дБ; 4 – обшивка с двух сторон ГКЛ разной толщины ( $1 \times 12,5$  мм +  $3 \times 12,5$  мм) со звукопоглощающим слоем 50 мм в воздушном промежутке 100 мм,  $R_w = 57$  дБ.

В зависимости от конструкций перегородок, количества листов в обшивках и, как следствие, изменение массы обшивок (рис.3.23) 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.

Сравнение индексов звукоизоляции перегородок одинаковой поверхностной плотности, но различных конструкций (рис.3.23): однослойных, симметричных (базовых) и асимметричных каркасно-обшивных со звукопоглощающим слоем и без – показывает, что наилучшей звукоизолирующей способностью с индексом звукоизоляции  $R_w = 55...58$  дБ обладают асимметричные перегородки.

При сравнении конструкции перегородки №2 (рис. 3.24) без заполнения звукопоглощающим материалом с конструкциями перегородок №1, 3, 4 с наличием звукопоглощающего материала видим, что наличие звукопоглощающего слоя увеличивает звукоизоляцию.

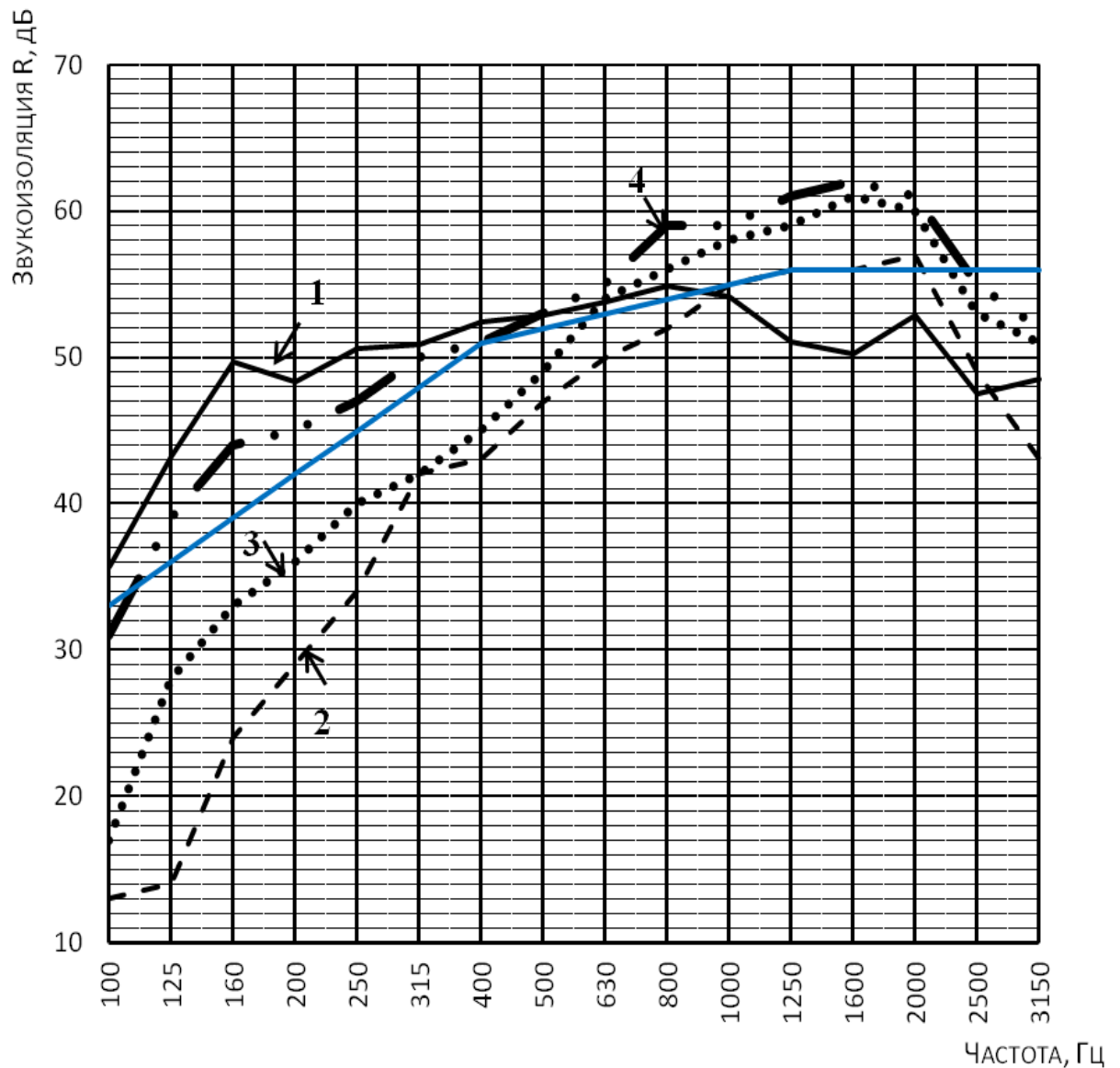


Рисунок 3.24 – Сравнение измеренных частотных характеристик симметричных (базовых) и асимметричных каркасных перегородок со звукопоглощающим слоем и без: 1 – обшивка с двух сторон ГКЛ разной толщины (1х12,5 мм+2х12,5 мм) воздушным промежутком 50 мм и звукопоглощающим слоем 50 мм,  $R_w = 52$  дБ; 2 – обшивка с двух сторон ГКЛ разной толщины (1х12,5 мм+2х12,5 мм) с воздушным промежутком между ними 100 мм,  $R_w = 48$  дБ; 3 – обшивка с двух сторон ГКЛ одинаковой толщины (2х12,5 мм + 2х12,5 мм) с воздушным промежутком толщ. 100 мм и звукопоглощающим слоем 50 мм,  $R_w = 53$  дБ; 4 – обшивка с двух сторон ГКЛ разной толщины (1х12,5 мм 2х12,5 мм) с воздушным промежутком толщ. 100 мм и звукопоглощающим слоем 50 мм,  $R_w = 55$  дБ; 5- оценочная частотная характеристика звукоизоляции.

Конструкции перегородок с учетом изменения массы обшивок влияют на звукоизоляцию. Звукоизоляция асимметричных перегородок по сравнению со звукоизоляцией симметричных возрастает на 2...8 дБ, а индексы изоляции воздушного шума увеличиваются на 2...4 дБ.

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 каркасно-обшивных перегородок 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. Индекс звукоизоляции  $R_w$  таких конструкций поверхностной плотностью 50...60  $\text{кг/м}^2$  без учета каркаса (4-5 слоев ГКЛ) может составлять 53...58 дБ.

### Выводы по главе 3

1. Установлено, что количество листов обшивок, и как следствие изменение массы обшивок, приводит к увеличению звукоизоляции асимметричных перегородок (1+2), (1+3) и (2+3) по сравнению с симметричными (базовыми) перегородками (2+2) на 2...8 дБ, а индексы изоляции воздушного шума возрастают на 2...4 дБ.

2. Произведена оценка роста звукоизоляции асимметричных каркасных перегородок по сравнению с ростом звукоизоляции однослойных и симметричных перегородок с такой же поверхностной плотностью.

3. Дана оценка влияния толщины воздушного промежутка и звукопоглощающего слоя в нем.

4. Полученные результаты экспериментальных исследований индекса изоляции воздушного шума на уровне 55; 57; 58 дБ при массе ограждения 40...60 кг/м<sup>2</sup> при общем количестве гипсокартонных листов 4-5, 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.

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

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

## **ГЛАВА 4. РЕКОМЕНДАЦИИ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ АСИММЕТРИЧНЫХ КАРКАСНЫХ ПЕРЕГОРОДОК**

### **4.1 Рекомендации и область применения звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок**

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 от 100 до 3150 Гц.

По результатам выполненных экспериментальных исследований и полученных частотных характеристик изоляции воздушного шума звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок подготовлены методические рекомендации по использованию при проектировании данного типа конструкций в жилых и общественных зданиях, а также вспомогательных зданиях производственных предприятий с сухим и нормальным температурно-влажностным режимом в помещениях.

Перечень помещений для возможного применения приведенных типов звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок, составленный на основе [69], представлен в таблице 4.1.

Перечень помещений, для возможного применения звукоизолирующих  
асимметричных каркасных перегородок

Схема ограждающей конструкции		Измеренные индексы изоляции воздушного шума, $R_w$ , дБ	Применение в соответствии с СП 51.13330. 2011 (Таблица 2)	Требуемые нормативные индексы изоляции воздушного шума, $R'_w$ <sup>норм</sup> , дБ
Тип перегородки	№ профиля			
Перегородки на одинарном металлическом каркасе				
АС-1М-(1+2)ГКЛ	ПС50/50	52	<b>Жилые здания</b> п.10 Перегородки без дверей между комнатами, между кухней и комнатой в одной квартире	43
			п.11 перегородки между санузлом и комнатой одной квартиры	47
			п.12 стены и перегородки между комнатами общежитий	50
	ПС75/50	53	<b>Гостиницы</b> п.17 Стены и перегородки между номерами: гостиницы категорий "пять звезд" и "четыре звезды"	52
			гостиницы категории "три звезды"	53
			гостиницы категорий ниже "три звезды"	51
АС-1М-(1+3)ГКЛ	ПС50/50	56	п.18 стены и перегородки, отделяющие номера от помещений общего пользования (лестничные клетки, вестибюли, холлы, буфеты): гостиницы категорий "пять звезд" и "четыре звезды"	50
			гостиницы категорий "три звезды" и ниже	51
			<b>Административные здания, офисы</b> п.21 стены и перегородки между кабинетами и отделяющие кабинеты от рабочих комнат	45
	ПС75/50	57	п.24 стены и перегородки, отделяющие рабочие комнаты от помещений общего пользования (вестибюли, холлы, буфеты) и от помещений с источниками шума (машбюро, телетайпные т.п.)	52
			п.25 стены и перегородки, отделяющие кабинеты от помещений общего пользования и шумных помещений	47
			п.30 стены и перегородки между палатами, кабинетами врачей	47
ПС100/50	58	п.32 стены и перегородки, отделяющие палаты и кабинеты от помещений общего пользования	54	

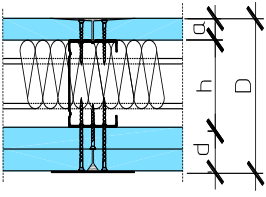
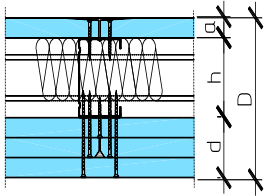
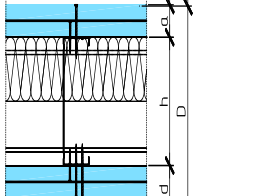
Окончание Таблицы 4.1

			<b>Учебные заведения</b> п.36 стены и перегородки между классами, кабинетами и аудиториями и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования	48
			<b>Детские дошкольные учреждения</b> п.37 стены и перегородки между групповыми комнатами, спальнями и между другими детскими комнатами	47
АС-1М-(2+3)ГКЛ	ПС50/50	56	<b>Жилые здания</b> п.8 стены и перегородки между квартирами, между помещениями квартир и коридорами	54
	ПС75/50	57	<b>Учебные заведения</b> п.33 стены и перегородки между музыкальными классами средних учебных заведений и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования	55
	ПС100/50	58		

Рекомендуются перегородки с асимметричной обшивкой из гипсокартонных листов по каркасу из тонкостенного металлического профиля и звукопоглощающим слоем, толщ. 50 мм (ИЗОВЕР ЗвукоЗащита плотностью 40 кг/м<sup>3</sup>). Крепление обшивки к стойкам каркаса выполнено на винтах самонарезающих. Технические и акустические характеристики асимметричных каркасных перегородок АС-1М-(1+2)ГКЛ, АС-1М-(1+3)ГКЛ, АС-1М-(2+3)ГКЛ приведены в таблице 4.2.



Технические и акустические характеристики  
асимметричных каркасных перегородок

Тип перегородки	№ конструкции	Эскиз	Толщина слоев обшивки, a, d, мм	Толщина перегородки D, мм	Ширина стоечного профиля ПС, h, мм	Звукоизоляция $R_w$ , дБ	Использование при проектировании
АС-1М-(1+2)ГКЛ	1		a – 1x12,5 d – 2x12,5	87,5	50	52	применения в жилых и общественных зданиях и вспомогательных зданиях производственных предприятий.
	2			112,5	75	53	
	3			137,5	100	55	
АС-1М-(1+3)ГКЛ	4		a – 1x12,5 d – 3x12,5	100	50	53	
	5			125	75	56	
	6			150	100	57	
АС-1М-(2+3)ГКЛ	7		a – 2x12,5 d – 3x12,5	112,5	50	56	
	8			137,5	75	57	
	9			162,5	100	58	

Разработанные методические рекомендации содержат рабочие чертежи основных узлов, применяемых при решении проблем снижения шума методами звукоизоляции, которые могут быть использованы при выполнении проектных работ. Представленные конструкции звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок базируются на типовых конструктивных решениях с использованием листов гипсокартона (ГКЛ), фирменных и специализированных материалах (крепежные и металлические изделия) группы компаний ТИГИ КНАУФ.

Использование асимметричных каркасных перегородок заметно увеличивает эффект звукоизоляции, что подтверждают результаты испытаний, проведенных в акустической лаборатории ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры».

Одной из целей разработки методических рекомендаций является создание типовой проектной базы для внедрения в отечественную строительную практику звукоизолирующих систем, обеспечивающих сочетание эффективных решений задач по снижению шума с высококачественной отделкой помещений на основе применения современных материалов, получивших широкое распространение в практике отечественного и зарубежного строительства, имеющих надлежащие пожарно-технические и высокие эксплуатационные характеристики.

Конструктивные решения звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок рекомендуются для применения при проектировании и строительстве, в том числе при реконструкции и реставрации жилых, общественных и вспомогательных зданий производственных предприятий с целью улучшения звукоизоляции ограждающих конструкций.

В методических рекомендациях приведен перечень помещений для возможного применения схем ограждающих конструкций в соответствии с требуемыми нормативными индексами изоляции. Представлены узловые сопряжения: примыкание перегородки к капитальной стене; примыкание к полу и потолку; примыкание перегородок друг к другу под углом  $90^\circ$ .

Технические решения звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок и их частотные характеристики изоляции воздушного шума представлены в методических рекомендациях по проектированию и приведены в приложении Д.

#### **4.2 Экономическая эффективность звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок**

Расчеты экономической эффективности вариантов звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок с обшивкой из гипсокартонных листов, выполняются согласно общепринятой методике [40], [51].

Расчет годового экономического эффекта от создания и эксплуатации зданий и сооружений нового типа с улучшенными объемно-планировочными и конструктивными решениями по сравнению с заменяемыми типами зданий и сооружений с той же номинальной производственной мощностью, полезной площадью, емкостью и т.д., обеспечивающих повышение их технических и эксплуатационных качеств, производится по формуле:

$$\mathcal{E} = \beta \varphi \sum_{i=1}^n \mathcal{Z}_{1i} \alpha_i + \mathcal{E}_\mathcal{E} - \sum_{i=1}^m \mathcal{Z}_{2i} \alpha_i, \quad (4.1)$$

где  $\mathcal{Z}_{1i}$  и  $\mathcal{Z}_{2i}$  – приведенные затраты в  $i$ -м году строительства объекта по сравниваемым вариантам, руб.;

$\alpha_i$  – коэффициент приведения к году завершения строительства;

$\beta$  – коэффициент учета изменения качественных параметров сравниваемых вариантов (производственной мощности, пропускной способности, полезной площади зданий и др.), зависящих только от строительных проектных решений.

Указанный коэффициент рассчитывается по формуле:

$$\beta = \frac{B_2}{B_1}, \quad (4.2)$$

где  $B_1$  и  $B_2$  – годовые объемы выпускаемой продукции в зданиях производственного назначения, пропускная способность транспортных сооружений, число посетителей, обслуживаемых в зданиях культурно-бытового назначения, и другие аналогичные качественные параметры соответственно по базовому и новому варианту;

$\varphi$  – коэффициент учета измерения срока службы нового типа здания (сооружения) по сравнению с базовым вариантом, определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{P'_1 + E_\text{н}}{P'_2 + E_\text{н}}, \quad (4.3)$$

где  $P'_1$  и  $P'_2$  – доли отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию) базового и нового здания, сооружения;

$\mathcal{E}_\mathcal{E}$  – экономия в сфере эксплуатации зданий (сооружений) за срок их службы, рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_\mathcal{E} = \frac{(И_1 - И_2) - E_\text{н}(K'_2 - K'_1)}{P_2 + E_\text{н}}, \quad (4.4)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  – годовые издержки в сфере эксплуатации на единицу конструктивного элемента здания, сооружения или объекта в целом по сравниваемым вариантам, руб.;

$K'_1$  и  $K'_2$  – сопутствующие капитальные вложения в сфере эксплуатации строительных конструкций в расчете на единицу конструктивного элемента здания, сооружения или объекта в целом по сравниваемым вариантам, руб.;

$n, m$  – периоды строительства по сравниваемым вариантам, в годах.

При строительстве в рассматриваемом периоде нескольких объектов нового типа расчет ведется по каждому в отдельности, а результаты суммируются.

Приведенные затраты представляют собой сумму себестоимости и нормативных отчислений от капитальных вложений в производственные фонды:

$$Z_i = C_i + E_n K_i, \quad (4.5)$$

где  $Z_i$  – приведенные затраты по  $i$ -му варианту на единицу строительно-монтажных работ (продукции), руб.;

$C_i$  – себестоимость единицы строительно-монтажных работ (продукции) по  $i$ -му варианту, руб.;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$K_i$  – удельные капитальные вложения в производственные фонды на единицу строительно-монтажных работ (продукции) по  $i$ -му варианту, руб.

При выборе вариантов предпочтение отдается варианту с минимальными приведенными затратами.

При равенстве приведенных затрат по сравниваемым вариантам предпочтение отдается мероприятию, обеспечивающему получение социального эффекта (существенное вытеснение ручного труда, особенно тяжелого и малопривлекательного, улучшение условий труда и др.).

В расчетах экономической эффективности новых решений, изобретений и рационализаторских предложений используется единый нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений  $E_n$ , равный 0,15.

Сравниваемые новый и базовый варианты должны быть приведены в сопоставимый вид по: области применения; объему работ; качественным

параметрам; фактору времени; уровню применяемых цен; социальным факторам производства и использования продукции, включая влияние на окружающую среду.

При сравнении вариантов с разными объемами выполняемых в строительстве работ производится корректировка показателей капитальных вложений, себестоимости и др. по варианту с меньшим объемом до уровня варианта с большим объемом работ.

Показатели затрат по сравниваемым вариантам должны быть рассчитаны для условий одного и того же района строительства, и едином уровне цен на аналогичные конструкции и материалы, с применением единой сметно-нормативной базы. Эксплуатационные расходы определяются из расчета одинаковых цен на тепловую и электрическую энергию, холод и воду.

Если сравниваемые мероприятия оказывают различное влияние на окружающую среду, условия труда рабочих и другие факторы, экономической оценке подлежат только те виды новой техники, которые в части их отрицательного влияния на условия труда рабочих и окружающую среду (уровень вибрации, запыленности, загазованности, освещенности, отопления или охлаждения рабочего места и т.д.) соответствуют нормативным документам.

Если указанные параметры нового варианта лучше, чем у базового, для приведения вариантов к сопоставимому виду необходимо увеличить капитальные вложения в базовый вариант в соответствии с данными о величине затрат, необходимых и достаточных для создания устройств, обеспечивающих улучшение указанных параметров до уровня нового варианта.

Сопоставимость сравниваемых вариантов по фактору времени обеспечивается приведением затрат и результатов к одному моменту времени.

Приведение сравниваемых вариантов в сопоставимый вид по фактору времени необходимо, если капитальные вложения осуществляются в течение ряда лет или в разные сроки, а также если текущие издержки и результаты производства изменяются по годам эксплуатации.

Для приведения по фактору времени используется формула:

$$\alpha_t = (1 + E), \quad (4.6)$$

где  $\alpha_t$  – коэффициент приведения;

$E$  – норматив для приведения разновременных затрат;

$t$  - период времени приведения в годах, т. е. число лет, отделяющих затраты и результаты данного года от начала расчетного года.

Норматив для приведения разновременных затрат принимается  $\alpha_t$  в размере 0,1. Затраты и результаты, осуществляемые и получаемые до начала расчетного периода, умножаются на коэффициент приведения, а после начала расчетного года – делятся на этот коэффициент.

Для расчета сравнительной экономической эффективности разработанных звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок составлена сметная документация в программном комплексе "Смета Профи", ООО "ККС-Групп", г. Донецк (см. приложение Е), результаты расчета сведены в сводную таблицу 4.3.

Таблица 4.3

**Сводная таблица стоимости монтажа звукоизолирующих базовых вариантов каркасно-обшивных перегородок и асимметричных каркасных перегородок с обшивками гипсокартонными листами**

Показатели	Ед. изм	Варианты каркасных перегородок с обшивками гипсокартонными листами по одинарному металлическому каркасу со звукопоглощающим слоем														
		1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	5.3
		(1+1)- ПС50/50	(1+1)- ПС75/50	(1+1)- ПС100/50	(1+2)- ПС50/50	(1+2)- ПС75/50	(1+2)- ПС100/50	(2+2)- ПС50/50	(2+2)- ПС75/50	(2+2)- ПС100/50	(2+3)- ПС50/50	(2+3)- ПС75/50	(2+3)- ПС100/50	(3+3)- ПС50/50	(3+3)- ПС75/50	(3+3)- ПС100/50
1.Трудоемкость монтажа	чел-час	38,23	38,23	38,23	48,87	48,87	48,87	50,07	50,07	50,07	60,7	60,7	60,7	71,3	71,3	71,3
2.Себестоимость монтажа, в том числе: 1) прямые затраты, - материалы; - основная зарплата; - эксплуатация машин и механизмов 2) общепроизводственные расходы	тыс.руб.	75,358	76,652	79,489	98,462	99,759	102,593	108,171	109,465	112,302	131,275	132,569	135,406	154,377	155,671	158,508
	тыс.руб.	64,437 41,216 23,221	65,731 42,510 23,221	68,568 45,347 23,221	84,871 55,552 29,311	86,165 56,846 29,311	89,002 59,683 29,311	93,879 63,489 30,390	95,173 67,783 30,390	98,010 67,620 30,390	114,313 77,825 36,480	115,607 79,119 36,480	118,444 81,956 36,480	134,747 92,162 42,571	136,041 93,456 42,571	138,878 96,298 42,571
		-	-	-	0,036	0,036	0,036	-	-	-	0,036	0,036	0,036	0,072	0,072	0,072
	тыс.руб.	10,921	10,921	10,921	13,591	13,591	13,591	14,292	14,292	14,292	16,962	16,962	16,962	19,630	19,630	19,630
3.Продолжительность монтажа (звено 4 чел.)	смен	9,6	9,6	9,6	12,2	12,2	12,2	12,5	12,5	12,5	15,2	15,2	15,2	17,8	17,8	17,8

Применяя расчетную формулу (4.1), принимаем экономический эффект в сфере эксплуатации конструкции (затраты на текущие ремонты – шпаклевка и окраска ГКЛ) равным нулю, т.к. объемы отделочных работ одинаковы по вариантам.

Коэффициент  $\alpha_t$  принят равным единице, т. к. во всех рассматриваемых вариантах сроки строительства не превышают одного года.

Коэффициент  $\varphi$ , учитывающий изменение срока службы конструкции по вариантам также принят равным единице, т. к. сроки службы перегородок приняты одинаковые.

В качестве коэффициента  $\beta$ , учитывающего качественные параметры вариантов, принято отношение показателей звукоизоляции конструкций.

Таким образом, расчетная формула (4.1) принимает вид:

$$\mathcal{E} = \beta \sum_{i=1}^n Z_{1i} - \sum_{i=1}^m Z_{2i}, \quad (4.7)$$

Исходные данные для расчета экономического эффекта принимаем из таблицы 4.3.

Сравнивая попарно базовые и предлагаемые варианты, получаем экономию затрат на возведение перегородок повышенной звукоизоляции в расчете на 100 м<sup>2</sup>. Значения экономической эффективности приведены в таблице 4.4.



Таблица 4.4

## Сравнительная экономическая эффективность вариантов звукоизолирующих каркасно-обшивных перегородок

Конструктивные решения. Индекс звукоизоляции, дБ.		Коэффициент $\beta$	Приведенные затраты по базовому варианту, $З_{\text{б}}$	Приведенные затраты предлагаемого варианта, $З_{\text{п}}$	Экономическая эффективность, Э, тыс. руб. /100м <sup>2</sup>
базовый предлагаемый	$R_{\text{w}}$ $R_{\text{w}}^{\text{предлагаемый}}$				
<u>(2+2)-50/50</u> (1+2)-50/50	<u>49</u> 52	1,061	108,171	98,462	16,307
<u>(2+2)-75/50</u> (1+2)-75/50	<u>50</u> 53	1,06	109,465	99,759	16,274
<u>(2+2)-100/50</u> (1+2)-100/50	<u>55</u> 55	1,0	112,302	102,593	9,709
<u>(2+2)-50/50</u> (1+3)-50/50	<u>49</u> 53	1,081	131,411	121,564	9,847
<u>(2+2)-75/50</u> (1+3)-75/50	<u>50</u> 56	1,12	135,144	122,858	12,286
<u>(2+2)-100/50</u> (1+3)-100/50	<u>55</u> 57	1,04	130,266	125,695	4,570
<u>(3+3)-50/50</u> (1+3)-50/50	<u>54</u> 53	0,98	154,377	121,564	29,725
<u>(3+3)-75/50</u> (1+3)-75/50	<u>55</u> 55	1,0	155,671	122,858	32,813
<u>(3+3)-100/50</u> (1+3)-100/50	<u>56</u> 56	1,0	158,508	125,695	32,813
<u>(3+3)-50/50</u> (2+3)-50/50	<u>54</u> 56	1,037	154,377	131,275	20,014
<u>(3+3)-75/50</u> (2+3)-75/50	<u>55</u> 57	1,036	155,671	132,569	23,102
<u>(3+3)-100/50</u> (2+3)-100/50	<u>56</u> 58	1,036	158,508	135,406	23,102

По результатам расчета сравнительной экономической эффективности наиболее рациональным является устройство предлагаемых типов конструктивных решений звукоизолирующих 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).

Данные, приведенные в таблице 4.4, указывают на то, что применение этих перегородок позволит снизить затраты на монтаж от 4,570 до 32,813 тыс. руб. /100м<sup>2</sup>.

### **4.3 Внедрение и анализ результатов исследования**

Перегородки разделяют внутренний объем дома на помещения, различные по своему функциональному назначению: кабинет, библиотеку, спальни, гостиную, столовую, бильярдную, кухню, туалеты и т.п. К числу важнейших эксплуатационных параметров перегородок относится обеспечение необходимого уровня звукоизоляции, препятствующего передаче воздушного шума из одного помещения в другое.

Результаты диссертационных исследований были использованы при проектировании межкомнатных перегородок в нижеперечисленных 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):

16-014- Строительство двухквартирного жилого дома по адресу: Ростовская область, Матвеево-Курганский район п. Матвеев Курган, ул. Воронежская, 75;

16-011- Индивидуальный жилой дом по адресу: Ростовская область, г. Таганрог, ул. Бартини, 50, Некоммерческое садоводческое товарищество "АТХ-2", уч. 19;

16-019- Индивидуальный жилой дом по адресу: Тульская область, р-н Заокский, 1000 метров северо-восточнее села Ненашево, уч. 110;

17-005- Индивидуальный жилой дом по адресу: Ростовская область, г. Таганрог, пер. Тургеневский, 85;

16-070- Индивидуальный жилой дом по адресу: Ростовская область, г. Таганрог, Садоводческое товарищество "Золотая осень", участок №40;

17-010- Индивидуальный жилой дом по адресу: Ростовская область, Неклиновский район, с. Носово, ул. Мира, 24а.

В зависимости от акустического режима в помещениях, которые разделяют данные перегородки, принимались обшивки в один плюс два листа (1+2) или два плюс три (2+3) листа гипсокартона. 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, ПС55/50 и ПН50/40, имеющие равноценные индексы изоляции.

Разработаны и внедрены «Методические рекомендации по проектированию типовых технических решений звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок» (приложение Д) в проектном институте ООО «Донецкий Промстройинипроект» г. Донецк и 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».

Предложенные решения звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок АС-1М-(1+2)ГКЛ, АС-1М-(1+3)ГКЛ и АС-1М-(2+3)ГКЛ обеспечивают нормативный шумовой режим в помещениях и при этом снижают материалоемкость самих конструкций.

## Выводы по главе 4

1. Установлено, что эффективность применения асимметричных каркасных перегородок в качестве межквартирных перегородок, перегородок между помещениями офисов, стен и перегородок между рабочими помещениями административных зданий производственных предприятий позволит снизить затраты на монтаж от 4,570 до 32,813 тыс. руб. /100м<sup>2</sup>.

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

3. Принцип проектирования асимметричных 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.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований можем сделать следующие 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 от 100 до 3150 Гц.

3. Найдены количественные зависимости звукоизоляции асимметричными каркасными перегородками от массы и количества слоев обшивок во всем нормированном диапазоне частот от 100 до 3150 Гц.

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 кг/м<sup>2</sup> при общем количестве гипсокартонных листов 3...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. Получены экспериментально результаты индекса изоляции воздушного шума на уровне 56 дБ асимметричной каркасной перегородки, в которой соединение между собой листов обшивок и с каркасом выполнено на клею через упругие прокладки, что способствовало увеличению звукоизоляции на 3 дБ по сравнению с аналогичными перегородками, соединение элементов которых выполнено жестко на шурупах / винтах самонарезающих.

7. Техничко-экономический анализ стоимости монтажа симметричных (базовых) и асимметричных каркасных перегородок 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. /100м<sup>2</sup>.

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 Промстройиниипроект» 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».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анджелов, В. Л. Звукоизоляция каркасно-обшивочных перегородок / В. Л. Анджелов, А. А. Климухин, Н.А. Минаева //Строительная физика в XXI веке: материалы науч.-техн. конф. - М.: НИИСФ РААСН, 2006. – С. 274-277.
2. Балишанская, Л. Г. Техническая акустика транспортных машин: справочник / Л. Г. Балишанская, Л. Ф. Дроздова, Н. И. Иванов, М. С. Седов. – СПб.: Политехника, 1992. – 365 с.
3. Бёккер Х. Гипсокартонные плиты для отделки зданий. Пер. с нем. Бердичевского В. Г.: Под ред. Веллера Ю. М. – М.: Стройиздат, 1986. – 176 с.
4. Бобылев, В. Н. Оптимальное использование резервов звукоизоляции ограждающих конструкций / В. Н. Бобылев, В. А. Тишков, Д. В. Монич // Вестник РААСН. М., ИПЦ МИКХиС. – 2004. Вып. 8. – С. 105-111.
5. Бобылев, В. Н. Инженерный метод расчёта звукоизоляции сэндвич-панелей с учётом двойственной природы прохождения звука / В. Н. Бобылев, В. А. Тишков, П. А. Гребнев, Д. В. Монич // Academia – 2016. – №1. С. 134-138.
6. Бобылев, В. Н. Резервы повышения звукоизоляции однослойных ограждающих конструкций / Д. В. Монич, В. А. Тишков, П. А. Гребнев // Монография: ННГАСУ. – Нижний Новгород, 2014. – 117 с.
7. Бобылев, В. Н. Исследование звукоизоляции слоистых вибродемпфированных элементов внутренних ограждающих конструкций / В. Н. Бобылев, А. А. Кочкин // Приволжский научный журнал. – 2012. – № 3. – С. 27-33.
8. Бобылев, В. Н. Звукоизоляция ограждающих конструкций / В. Н. Бобылев, В.А. Тишков, Д. В. Монич // Теоретические основы строительства: сборник трудов 11-го Польско-Российского научного семинара. – М.: АСВ, 2002. – С. 239-248.

9. Бобылев, В. Н. Оптимальные параметры звукоизолирующих ограждений / В. Н. Бобылев, В. А. Тишков, Д. В. Монич // Материалы 15-й сессии Российского акустического общества. – Нижний Новгород. – 2004. – С. 135-139.
10. Бобылев, В. Н. Звукоизоляция однослойных ограждающих конструкций на частотах, ниже граничной: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Горький, 1974. – 25с.
11. Бобылев, В. Н., О надежности и точности измерений звукоизоляции однослойных ограждений / В. Н. Бобылев; С. Г. Данилин // Звукоизоляция конструкций зданий. Труды ГИСИ, вып. 71. – Горький: ГИСИ, 1974. – С. 66–74.
12. Бобылев, В. Н. О влиянии изгибной жесткости ограждений на их звукоизоляцию в области частот ниже граничной / В. Н. Бобылев, М. С. Седов // Тезисы докладов 8-й Всесоюзной акустической конференции. – М., 1973. – С. 27-29.
13. Боганик, А. Г. Исследование звукоизоляции ограждающих конструкций с гибкими бескаркасными многослойными облицовками: дис... канд. техн. наук / А. Г. Боганик; НИИСФ РААСН. – М., 2006. – 197 с.
14. Боголепов, И. И. Звукоизоляция на судах / И. И. Боголепов, Э. И. Авферинок. – Л.: Судостроение, 1970. – 192 с.
15. Боголепов, И. И. Современные способы борьбы с шумом в зданиях и на селитебных территориях [Текст] / И. И. Боголепов // Инженерно-строительный журнал. – Санкт-Петербург: СПбПУ, 2008. – Том 2. – С. 45-49.
16. Боголепов, И. И. Увеличение звукоизоляции двустенных конструкций за счет применения звукоизолирующих мостиков [Текст] / И. И. Боголепов // Инженерно-строительный журнал. – Санкт-Петербург: СПбПУ, 2009. – Том 2 – С. 46-53.
17. Боголепов, И. И. Промышленная звукоизоляция / И. И. Боголепов. – Л.: Судостроение, 1986. – 368 с.
18. Борьба с шумом / под ред. Е. Я. Юдина. - М.: Стройиздат, 1964. – 702 с.
19. Борьба с шумом на производстве / под. ред. Е.Я. Юдина. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
20. Герасимов, А. И. Звукоизоляционные и звукопоглощающие материалы и



- их применение в строительстве / А. И. Герасимов // АСADEMIA. Архитектура и строительство. – 2009. – № 5. – С. 209-215.
21. ГОСТ Р 57900-2017 (ИСО 12999-1:2014) Здания и сооружения. Определение и применение неопределенностей измерения звукоизоляции: введ. с 03.11.2017. – М.: Стандартинформ, 2019. – 32 с.
  22. ГОСТ 27296-2012. Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций (с поправкой): введ. с 01.01.2014. – М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.
  23. ГОСТ Р ИСО 10140-1-2012. Акустика. Лабораторные измерения звукоизоляции элементов зданий. Ч.1. Правила испытаний строительных изделий определенного вида: введ. с 29.11.2012. – М.: Стандартинформ, 2013. – 26 с.
  24. ГОСТ Р ИСО 10140-2-2012. Акустика. Лабораторные измерения звукоизоляции элементов зданий. Ч.2. Измерение звукоизоляции воздушного шума: введ. с 29.11.2012. – М.: Стандартинформ, 2013. – 16 с.
  25. ГОСТ Р 56769-2015 (ИСО 717-1:2013). Здания и сооружения. Оценка звукоизоляции воздушного шума: введ. с 26.11.2015. – М.: Стандартинформ, 2016. – 15 с.
  26. Гребнев, П. А. Звукоизоляция ограждающих конструкций зданий из сэндвич-панелей: автореф. дис... канд. тех. наук / П. А. Гребнев. – Москва, 2016. – 20 с.
  27. Гребнев, П. А. Исследования звукоизолирующих свойств многослойных ограждений с жестким заполнителем / П. А. Гребнев, Д. В. Монич // Жилищное строительство. – 2012. – №6 – С. 50-51.
  28. Гребнев, П. А. Теоретические и экспериментальные исследования звукоизоляции бескаркасных ограждающих конструкций из сэндвич-панелей / П. А. Гребнев // Вестник ТГАСУ. – 2015. – № 2 (49). – С. 109-118.
  29. Гусев, В. П. Средства снижения воздушного и структурного шума систем вентиляции, кондиционирования и холодоснабжения // «АВОК», 2005. Вып. № 4. – С. 86-77.

30. Гусев, В.П. Защита от воздушного вентиляционного оборудования кожухами и звукоизолирующими покрытиями [Текст] / В. П. Гусев, М. Ю. Лешко, А. В. Сидорина // «БСТ - бюллетень строительной техники». – Москва: издательство «БСТ», 2016.– Вып. № 6 (982). – С. 12-14.
31. ДБН В.1.1-31:2013 Захист територій, будинків і споруд від шуму: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України: чинний з 01.06.2014. – Київ: ГП «Укрархбудінформ», 2013, – 98с.
32. ДСТУ-Н Б В.1.1-34:2013. Настанова з розрахунку та проектування звукоізоляції огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків: чинний з 01.01.2014. – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 112с.
33. ДСТУ Б В.2.6-85:2009. Конструкції будинків і споруд. Звукоізоляція огорожувальних конструкцій. Методи оцінювання: чинний з 30.11.2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 29с.
34. ДСТУ Б В.2.6-86:2009. Конструкції будинків і споруд. Звукоізоляція огорожувальних конструкцій. Методи вимірювання: чинний з 30.11.2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 46с.
35. Заборов, В. И. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций / В. И. Заборов. – М.: Стройиздат, 1969. – 185 с.
36. Заборов, В. И., Дидковский В. С., Карачун В. В. Проектирование ограждающих конструкций с оптимальными звуко- и виброизоляционными свойствами. – Київ: Будівельник, 1991. – 120 с.
37. Заборов, В.И., Лалаев Э.М., Никольский В.Н. Звукоизоляция в жилых и общественных зданиях. – М.: Стройиздат, 1979. – 254 с.
38. Заключение по результатам НИР. Акустические испытания материалов PureOne 34 PN и звукоизолирующих перегородок с применением PureOne 37RN, PureOne 34 PN. НИИСФ РААСН [Текст] – М.,2010. – 11с.
39. Иванов, Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник / Н. И. Иванов. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 418 с.
40. Инструкция по определению экономической эффективности

- использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений СН 509-78. – Москва: Госстрой СССР, 1979. Дата актуализации 01.01.2019. – 65 с.
41. Кочкин, А. А. Защита жилья от шума технологического оборудования методами звукоизоляции /А. А. Кочкин, Л. Э. Шашкова // Гармонизация европейских и российских нормативных документов по защите населения от повышенного шума: материалы междунар. науч.- практ. конф. – Москва; София; Кавала, 2009. – С. 147-149.
  42. Кочкин, А. А. О проектировании звукоизоляции легких ограждений с промежуточным вибродемпфирующим слоем / А. А. Кочкин // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 191-193.
  43. Кочкин, А. А. О повышении звукоизоляции существующей перегородки в жилом доме / А. А. Кочкин, Л. Э. Шашкова // Вузовская наука – региону: материалы восьмой всерос. науч.-техн. конф., 26 февр. 2010 г. / ВоГТУ: в 2 т. – Вологда, 2010. – Т. 1. – С. 335-336.
  44. Кочкин, А. А. Исследование влияния физико-механических характеристик слоистых элементов с вибродемпфирующими слоями на звукоизоляцию непрозрачных ограждающих конструкций / А. А. Кочкин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – Томск, 2012. – № 3. – С. 111-116.
  45. Кочкин, А. А. О повышении звукоизоляции ограждающих конструкций / А. А. Кочкин, Л. Э. Шашкова // Academia. Архитектура и строительство. – 2010.– №3 – С. 198-199.
  46. Кочкин, А. А. Повышение звукоизоляции слоистых вибродемпфированных ограждений путем уменьшения их изгибной жесткости / А. А. Кочкин, Л. Э. Шашкова // Известия Юго-Западного государственного университета. – Курск, 2011. – № 5(38). – Ч. 2. – С. 159-162.
  47. Крокер, М. Дж. Расчет прохождения звука и вибрации через перегородки и соединительные стержни при помощи статического энергетического метода /, М. Дж. Крокер, М. К. Баттачария, А. Дж. Прайс //

- Конструирование и технология машин: Пер. с англ. – 1971. – 93 В.3. – С. 11-18.
48. Крейтан, В. Г. Звукоизоляция и защита от шума в жилых домах. М., ЦНИИЭП жилища, 1984. – 134с.
49. Лалаев Э. М., Винокур Р. Ю. - В кн.: Звукоизоляция и защита от шума жилых и общественных зданий. Под ред. Максименко В. А. и Лалаева Э. М. – М., 1987. – 87 с.
50. Лямшев, Л. М. Отражение звука тонкими пластинками и оболочками в жидкости [Текст] / Л. М.Лямшев – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 73 с.
51. Методические рекомендации по экономическому обоснованию применения конструктивных элементов и технологий, обеспечивающих повышение эффективности инвестиций за счет снижения эксплуатационных затрат, повышения долговечности зданий и сооружений МРР-3.2.23-97.– М., 1998. Дата актуализации 01.01.2019.–78 с.
52. Монич, Д. В. Повышение звукоизоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений без увеличения их массы: дис... канд. техн. наук / Д. В. Монич: ННГАСУ. – Нижний Новгород, 2002. – 241 с.
53. Овсянников, С. Н. Распространение звуковой вибрации в гражданских зданиях / С. Н. Овсянников. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2000. – 378 с.
54. Осипов, Г. Л. Звукоизоляция и звукопоглощение: учеб.пособие для студентов ВУЗов / Г. Л. Осипов, В. Н. Бобылев, Л. А. Борисов: под ред. Г. Л. Осипова, В. Н. Бобылева. – М.: АСТ: Астрель, 2004. – 450 с.
55. Осипов, Г. Л. Шумы и звукоизоляция / Г. Л. Осипов – М.: Госстройиздат, 1967.
56. Осипов Г. Л., Коробков В. Е., Климухин А. А. и др. Защита от шума в градостроительстве; Под ред. Г. Л. Осипова – М.: Стройиздат, 1993. – 96 с.
57. Осипов Г. Л., Лобашов Д. З., Федосеева Е. Н. Акустические измерения в Строительстве. – М.: Стройиздат, 1978. – 212 с.
58. Осипов Г. Л., Юдин Е. Я., Хюбнер Г. и др. Снижение шума в зданиях и жилых районах; Под ред. Г. Л. Осипова, Е. Я. Юдина – М.: Стройиздат, 1987. – 558 с.

59. Отчет на научно-техническую работу. Исследование и измерение звукоизоляции конструкций каркасных перегородок. НИИСФ РААСН [Текст]. – М., 2005. – 29с.
60. Патент на корисну модель 19169 Україна, МПК E04C 2/26. Звукоізоляційна перегородка [Текст] / Косьмін 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.
61. 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.
62. 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.
63. Повышение звукоизоляции ограждающих конструкций зданий при диффузном и направленном падении звука / В. Н. Бобылев, В. А. Тишков, Д. В. Монич, Д. Л. Щеголев // Приволжский научный журнал. – 2007. – № 1. – С. 23 - 28.
64. 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.

65. Разживин, В. М. Изоляция воздушного шума легкими ограждающими конструкциями зданий с учетом их закрепления: моногр. / В. М. Разживин. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 120 с.
66. Рэлей, Дж. Теория звука [Текст] / Дж. Рэлей. – Т.1,2. – Гостехтеориздат, 1955. – 476 с.
67. Свод правил по проектированию и строительству. СП 55-102-2001. Конструкции с применением гипсоволокнистых листов: утв. ООО «КНАУФ Сервис» и ОАО «ЦНИИПромзданий» 14.01.2002 № 01. – Введ. 1.07.2002 / Госстрой России, ГУП ЦПП. – М., 2003. – 61 с.
68. Свод правил по проектированию и строительству. СП 55-101-2000. Ограждающие конструкции с применением гипсокартонных листов: утв. и введ. «ТИГИ КНАУФ» ОАО и АО «ЦНИИпромзданий» 24.04.2000 № 91/18 / Госстрой России, ГУП ЦПП. - М. , 2003 . - 56 с.
69. Свод правил по проектированию и строительству. СП 51.13330.2011 Защита от шума, актуализированная версия СНиП 23-03-2003: Минрегион России. - М.: ОАО "ЦПП", 2010
70. Свод правил по проектированию и строительству. СП 00.13330.2012. Конструкции с применением гипсокартонных и гипсоволокнистых листов. Актуализированная редакция СП 55-101-2000 и СП 55-102-2001. – Москва: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2012. – 98с.
71. Свод правил по проектированию и строительству. СП 23-103-2003 Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий. – Москва: Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 38с.
72. Свод правил по проектированию и строительству. СП 275.1325800.2016 Конструкции ограждающие жилых и общественных зданий. Правила проектирования звукоизоляции. – М.: Стандартинформ, 2017.
73. Седов, М. С. Влияние размеров ограждений на их звукоизоляцию от воздушного звука / М. С. Седов // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1965. – № 2. – С. 87-93.

74. Седов, М. С. Волновая теория собственных колебаний прямоугольных пластин / М. С. Седов // Известия вузов. Строительство. – 1995. – № 12. – С. 28-34.
75. Седов, М. С. Расчет звукоизоляции однослойных конструкций при направленном падении звука / М. С. Седов, В. А. Тишков: Конспект лекций. – Горький: ГГУ им. Н. И. Лобачевского, 1978. – 45 с.
76. Седов, М. С. Расчет звукоизоляции двустенных конструкций / М. С. Седов, А. П. Юферев: Конспект лекций. – Горький: ГИСИ им В. П. Чкалова, 1983, – 40 с.
77. Снижение шума в зданиях и жилых районах // Под ред. Г. Л. Осипова, Е. Я. Юдина. – М.: Стройиздат, 1987. – 557с.
78. Справочник по технической акустике / пер. с нем.; под ред. М. Хекла и Х. А. Мюллера. – Л.: Судостроение, 1980. – 440 с.
79. Справочник по защите от шума и вибрации жилых и общественных зданий. Под ред. д.т.н. Заборова В. И. – Київ: Будівельник, 1989. – 160 с.
80. Старцева, О. В. Теоретические и экспериментальные исследования звукоизоляции перегородок / О. В. Старцева, С. Н. Овсянников // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – Томск, 2013. – № 2. – С. 176-184.
81. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-2.04-154-2009 (02250). Строительные нормы проектирования. Защита от шума. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 43с.
82. 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.
83. Чернышева, Т. А. Акустические свойства двойных перегородок из тонких гипсокартонных листов различной толщины [Текст] / Т. А. Чернышева, Г. Т. Косьмин // Современное строительство и архитектура: Энергосберегающие технологии: Сборник материалов 7 Республиканской научно-практической конференции (с международным участием) (12

- ноября 2015, Бендеры). – Бендеры: Б и., 2016. – С. 37-41.
84. Чернышева, Т. А. Методы определения необходимой звукоизоляции окон: [Текст] / Т. А. Чернышева // ВІСНИК Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макеевка: ДонНАСА, 2012. – Вип. 2012-6 (98). – С. 166-172.
  85. 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.– Вып. № 6 (982).– С. 24-26.
  86. 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, номер 4. – С. 197-207.
  87. 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 8 Республиканской научно-практической конференции (с международным участием) (24 ноября 2016, Бендеры). – Бендеры: Б и., 2017. – С. 34-38.
  88. Шашкова, Л. Э. Звукоизоляция вибродемпфированных элементов с измененной изгибной жесткостью: автореф. дис... канд. тех. наук / Л. Э. Шашкова. – Вологда, 2014. – 19 с.
  89. Юферов, А. П. Повышение звукоизоляции двустенных конструкций в зданиях: автореф. дис... канд. техн. наук / А. П. Юферов. – Нижний Новгород, 1997. – 21 с.
  90. Beranek, L. L. Acoustical properties of homogeneous isotropic rigid tiles and flexible Blankets / L. L. Beranek // IASA. – 1947. – Vol. 19, №. 4. – P. 558-568.
  91. Beranek, L. L. Sound transmission through multiple structures containing flexible blankets / L. L. Beranek, G. Work // Journal of the Acoustical Society



- of America. –1949. – Vol 21. – P. 419-428.
92. Beranek, L. L. Sound control in airplanes / L. L. Beranek // IASA. – 1947. – Vol. 19, № 2. – P. 357-364.
  93. Craik, R. J. M. Non-resonant sound transmission through double walls using statistical energy analysis/ R. J. M. Craik // Applied Acoustics. – 2003. – Vol. 64, № 3. – P. 325-341.
  94. Cremer, L. Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Einfall / L. Cremer // Akustische Zeitschrift. – 1942. – №.7. – S. 81-125.
  95. Cremer, L. Structure-borne sound / L. Cremer, M. Heckl, E. E. Ungar. – Berlin: Springer-Verlag, 1988. – 573 p.
  96. Cremer L. Calculation of sound propagation in structures Acustica / L. Cremer // Acustica .D 1953.DVol.3. №5. – P.317 – 335.
  97. Cremer L., Heckl M. Körperschall physikalische Grundlagen und technische Anwendung / L. Cremer, M. Heckl. //Springer – Verlag. – 1957. DBerlin. New-York.
  98. Cummings, A. The transmission loss of finite sized double panels in a random incidence sound field / A. Cummings, K. A. Mulholland // Journal of sound and vibration. – 1968. – Vol 8. – P. 126-133.
  99. David W. Green/ Sound transmission loss of gypsum wallboard partitions. Unfilled steel stud partitions/ / David W. Green, Cameron W. Sherry // Journal of the Acoustical Society of America. – 71(1), Jan., 1982. – P. 90 - 96.
  100. Dijckmans, A. Optimization of the acoustic performances of lightweight sandwich roof elements / A. Dijckmans, G. Vermeir, J. W. Niggebrugge // Measurements, Proceedings of INTER-NOISE 2009. – Ottawa, Canada. – 2009 August 23-26. – Ottawa.
  101. Fleming, F. The national physical laboratory teddington / F. Fleming // private communication. – 1950. – 27 p.
  102. Gosele K. Schallschutz, Forschung und Fortschritt im Bauwesen / K.Gosele // Reihe D. Stuttgart. – 1952. – B. 2.
  103. Guyader, I. L. Acoustic transmission through orthotropic multilayered plates. Part II. Tansmission loss / I. L.Guyader, C. Lesueur // Journal of sound and

- vibration. – 1978. – Vol. 58, № 1. – P. 69 – 86.
104. Guyader, I. L. Transmission of reverberant sound through orthotropic, viscoelastic multilayers plates / I. L. Guyader, C. Lesueur // Journal of sound and vibration. – 1980. – Vol.70, № 3. – P. 319 - 332.
  105. Heckl, M. Die schalldämmung von homogenen einfachwänden endlicher fläche / M. Heckl // Acustica. – 1960. – Bd.10, <sup>1</sup> 2. – S. 98-108.
  106. Heckl, M. Untersuchung an orthotropic platten / M. Heckl // Acustica. – 1960. – Vol.10, №2. – S. 109-115.
  107. Heckl, M. Einige Anwendungen des Reziprozitätsprinzips in der Akustik / M. Heckl // Frequenz. – 1964. D 18. P.239 – 242.
  108. EN 12354-1:2000, IDT Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 1: Airborne sound insulation between rooms (Строительная акустика. Оценка акустических характеристик зданий по характеристикам их элементов. Часть 1 - Звукоизоляция от воздушного шума между помещениям). – М.: Стандартиформ, 2013, – 81с.
  109. ISO 717-1 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation. – 2013. – 11p.
  110. Josse, R. Transmission du son par une paroi simple / R. Josse, C. Lamure // Acustica. – 1964. – № 14. – 266 s.
  111. Horoshenkov, K. V. A method to calculate the acoustic response of a thin, baffled, simply supported poroelastic plate/ K. V. Horoshenkov, K. Sakagami // Journal of the Acoustical Society of America. – 110(2), 2001. – P. 904-917.
  112. Kihlman, T. K. Sound radiation into a rectangular room applicative to airborne sound transmission in buildings / T. K. Kihlman // Acustica. – 1967. – Vol.18, № 1. – S. 11-20.
  113. Kihlman, T. K. The effects of some laboratory designs and mounting conditions on reduction index measurements / T. K. Kihlman, A. C. Nilsson // Journal of sound and vibration. – 1972. – Vol. 24, № 3. – S. 349-364.
  114. KNAUF. Немецкий стандарт. Звукоизоляционные системы КНАУФ.

– Киев: ДП «Кнауф Маркетинг», 2010, – 24с.

115. London, A. Transmission of reverberant sound through single walls / A. London // Journal of research of the national bureau of standards. – 1949. – Vol. 42 № 6. – P. 605-615.
116. London, A. Transmission of reverberant sound through double walls / A. London // IASA. – 1950. – Vol. 22, № 2. – P. 270-279.
117. Lyon, R., Maidanik, G. Power flow between lineary coupled oscillators / R. Lyon, G. Maidanik // Journal of the Acoustical Society of America. – 1962. – Vol. 34.– 623 p.
118. Ovsyannikov, S. N. The prediction of sound and vibration in a building using the method of statical energy analysis / S. N. Ovsyannikov // 8th Korea-Russia 146 International Symposium on Science and Technology, KORUS 2004. Tomsk. – 2004. – P. 331-335.
119. Peutz, V. M. Some fundamental measurements on single and double plate structures / V. M. Peutz //Acustica. – 1954. – vol.4, № 1. – S. 281-292.
120. Peutz, V. M. Letter to the editor concerning the article by W. Kuhl “fehlermöglichkeiten bei schalldämmungsmessungen bei tiefen frequenzen” / V. M. Peutz // Acustica. – 1955. – Vol.5, № 1. – S.46-55.
121. Reisner H. Der senkrechte und schage Durchtritt einer in einem flussiger Medium erzeugten ebenen DilatationsD(Longitudinat) Welle durch eine in diesem Medium befindliche planparallelefest Platte Helv / H.Reisner // Acta. – 1938. – 11. S.140.
122. Schoch, A. Der Schalldurchgang durch Platten / A. Schoch // Acustica – 1952. – Bd.2, № 1. – S.1.
123. Schoch, A. The mechanism of sound transmission through single leaf partitions investigated using small scale models / A. Schoch, K. Feher // Acustica. – 1952. –Dvol.2. №5. – S. 189-195.
124. Schoch A. Zum Einfluss der seitlichen Begrenzung auf die Schalldurchlassigkeit einfacher Wande / A. Schoch // Acustica. – 1954. DVol.4. P.288.

125. Sewell, E. C. Two dimensional solution for transmission of reverberant sound through a double partition / E. C. Sewell // Journal of sound and vibration. – 1970.–Vol 12. – P. 33-57.
126. Sharp, B. H. Prediction methods for the sound transmission of building elements / B. H. Sharp // Noise Control Engineering. – 1978. – Vol 11. – P. 53-63.
127. Thomson, W. T. Transmission of elastic waves through a stratified solid medium / W. T. Thomson // Journal of Applied Physics. – 1950. – Vol. 21, № 2. – P. 89-93.
128. Westphal W. Ausbreitung von Körperschalldämmung an Ecken und krenzformigen StossDstellen/ W.Westphal // Akustische Beihefte.–1960. P.54-60.
129. Wintergerst, E. Theorie der schalldurchlassigkeit von einfachen und zusammengesetzten wanden // Schalltechnik. – 1931 – 4. –85 s.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Общество с ограниченной ответственностью «Архионика»**

Юр. Адрес: 346842, РОССИЯ, Ростовская обл., Неклиновский р-он, с. Новобессергеновка, ул. Спортивная, 46

Факт. Адрес: 347900, РОССИЯ, Ростовская обл., г. Таганрог, Поляковское шоссе, 15-в

ИНН 611 900 94 74, КПП 612301001, ОГРН 108 611 900 01 20

Р/с 407 028 100478 100 002 78 Филиал «ЮЖНЫЙ» ОАО «УРАЛСИБ» в г. Краснодар

К/с 301 018 104 000 000 007 00 БИК 040349700 ОГРН 1020280000190

E mail [Arhionika@yandex.ru](mailto:Arhionika@yandex.ru),

Тел. (8634) 64-16-87, моб. +7-960-454-38-89

СВИДЕТЕЛЬСТВО СРО НЕКОМЕРЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО САМОРЕГУЛИРУЕМАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ «СтройОбъединение» № 8951 от 15 января 2013г.

Исх. № 25

От 12.11.2018

Диссертационный совет Д 01.006.02  
при ГОУ ВПО «Донбасская  
национальная академия строительства  
и архитектуры»

## СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы  
Чернышевой Тамары Александровны на тему «Конструктивные решения  
многослойных легких ограждений повышенной звукоизоляции»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения»  
при проектировании эффективных звукоизолирующих асимметричных  
каркасных перегородок в жилых и общественных зданиях

Чернышевой Т.А. предложены звукоизолирующие эффективные многослойные  
легкие ограждающие конструкции асимметричных каркасных перегородок:  
АС-1М-(1+2)ГКЛ и АС-1М-(2+3)ГКЛ.

Конструкция перегородок: одинарный каркас из тонкостенного металлического  
профиля (ПС50/50, ПС75/50, ПС100/50), гипсокартонные листы (ГКЛ) толщиной  
12,5 мм плотностью от 850 кг/м<sup>3</sup> до 1100 кг/м<sup>3</sup> и звукопоглощающий материал, толщ.  
50 мм (ИЗОВЕР ЗвукоЗащита плотностью 40 кг/м<sup>3</sup>) в воздушном промежутке.  
Ширина воздушного промежутка принята разная: 50, 75 и 100 мм. Толщина обшивки  
из гипсокартона с двух сторон по каркасу принята разная, зависящая от количества  
листов гипсокартона: один плюс два листа (1+2), два плюс три листа (2+3).

Результаты диссертационных исследований были использованы при проектировании межкомнатных перегородок в проектах жилых и общественных зданий:

16-014- Строительство двухквартирного жилого дома по адресу: Ростовская область, Матвеево-Курганский район п. Матвеев Курган, ул. Воронежская, 75;

16-011- Индивидуальный жилой дом по адресу: Ростовская область, г. Таганрог, ул. Бартини, 50, Некоммерческое садоводческое товарищество "АТХ-2", уч. 19;

16-019- Индивидуальный жилой дом по адресу: Тульская область, р-н Заокский, 1000 метров северо-восточнее села Ненашево, уч. 110;

17-005- Индивидуальный жилой дом по адресу: Ростовская область, г. Таганрог, пер. Тургеневский, 85;

16-070- Индивидуальный жилой дом по адресу: Ростовская область, г. Таганрог, Садоводческое товарищество "Золотая осень", участок №40;

17-010- Индивидуальный жилой дом по адресу: Ростовская область, Неклиновский район, с. Носово, ул. Мира, 24а.

В зависимости от акустического режима в помещениях, которые разделяют данные перегородки, принимались обшивки в один плюс два листа (1+2) или два плюс три листа (2+3) гипсокартона.

Разработанные автором конструктивные решения звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок позволили заменить базовые конструкции каркасно-обшивных перегородок с одинаковым количеством листов гипсокартона с двух сторон по каркасу: один плюс один лист (1+1), два плюс два листа (2+2), три плюс три листа (3+3), на звукоизолирующие асимметричные каркасные перегородки АС-1М-(1+2)ГКЛ и АС-1М-(2+3)ГКЛ.

Предложенные технические решения звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок АС-1М-(1+2)ГКЛ и АС-1М-(2+3)ГКЛ обеспечивают нормативный шумовой режим в помещениях и при этом снижают материалоемкость самих конструкций.

Директор  
ООО «Архионика»

  
подпись

А.И. Андрюхина

Главный инженер  
ООО «Архионика»  
МП

  
подпись

К.А. Прошкина







# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

## ДОНЕЦКИЙ ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ

ООО «Донецкий Промстройниипроект», 283004, г. Донецк, ул. Университетская, 112,  
Тел. (062)303-22-59 (дополнительные номера: проектная часть 01, научная часть 02, факс 22),  
E-mail: donpromstroy@gmail.com

На 120319 № 1/133-06  
№

Диссертационный совет Д 01.006.02 при

ГОУ ВПО «Донбасская национальная  
академия строительства и архитектуры»

### СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы  
Чернышевой Тамары Александровны на тему «Конструктивные решения  
многослойных легких ограждений повышенной звукоизоляции»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и  
сооружения»

Разработанные «Методические рекомендации по проектированию  
типовых технических решений звукоизолирующих асимметричных  
каркасных перегородок» рекомендованы для применения 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.

Они содержат некоторые рабочие чертежи основных узлов,  
применяемых при решении проблем снижения шума методами  
звукоизоляции, которые могут быть использованы при выполнении  
проектных работ. Представленные конструкции асимметричных каркасных  
перегородок базируются на типовых конструктивных решениях с  
использованием листов гипсокартона, крепежных и металлических изделий  
группы компаний ТИГИ КНАУФ.

Рекомендации содержат:

- технические и акустические характеристики звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок;
- перечень помещений, для возможного применения звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок, составленный на основе СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003;
- узлы сопряжений звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок с другими ограждающими конструкциями.

Разработанные конструктивные решения звукоизолирующих асимметричных перегородок АС-1М-(1+2)ГКЛ, АС-1М-(2+3)ГКЛ позволят 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, что является актуальной задачей на сегодняшний день при строительстве социального жилья и восстановления объектов инфраструктуры на территориях, пострадавших от военных действий.

Директор

ООО «Донецкий Промстройинипроект»

подпись

С. В. Маликов

Главный инженер

ООО «Донецкий Промстройинипроект»

подпись

В. И. Дулгер

МП







## ПРИЛОЖЕНИЕ В

**Министерство образования и науки  
Донецкой Народной Республики**  
**Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Донбасская национальная академия  
строительства и архитектуры»**

286123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2,  
тел.: +38 (062) 343-70-33, email: mailbox@donnasa.org, идент. код 02070795

от 29.12.18 № 1-04-270  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Диссертационный совет Д 01.006.02 при  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная  
академия строительства и архитектуры»

## СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы  
Чернышевой Тамары Александровны на тему «Конструктивные решения  
многослойных легких ограждений повышенной звукоизоляции»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» в  
учебный процесс

Результаты диссертационных исследований Чернышевой Тамары Александровны,  
а именно, методические рекомендации по проектированию звукоизолирующих  
асимметричных каркасных перегородок и их узловые сопряжения с другими  
ограждающими конструкциями, внедрены в учебный процесс в качестве учебного  
материала в курсе учебных дисциплин Б1.В.ОД.6 «Физика среды и ограждающих  
конструкций» по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» и Б1.Б.16  
«Архитектурная физика» по направлению подготовки 07.03.01 «Архитектура», 07.03.04  
«Градостроительство», что отражено в учебных программах вышеуказанных  
дисциплин.

Проректор по учебной работе  
д.т.н., профессор



Декан строительного факультета  
к.т.н., доцент

Начальник учебного отдела  
к. гос. упр., доцент

МП

В. И. Нездойминов

подпись

Э.А. Лозинский

подпись

А. А. Сухина

подпись

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

Лабораторное испытательное оборудование.

Свидетельства о поверке рабочих средств измерения  
акустического измерительного стенда «Robotron-Messelektronik».

(Свідоцтво про уповноваження № ПК 010 – 2009 видано 17.07.2009 р.)

„ 11 „ 08 20 10 p.



ДЕРЖАВНИЙ КОМІТЕТ УКРАЇНИ  
З ПИТАНЬ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА СПОЖИВЧОЇ ПОЛІТИКИ

Державне підприємство «Донецький науково-виробничий центр  
стандартизації, метрології та сертифікації»

(ДП «Донецькстандартметрологія»)

83121, м. Донецьк, вул. Челюскінців, 289

(Свідоцтво про уповноваження № ПК 010 – 2009 видано 17.07.2009 р.)

**СВІДОЦТВО**

про повірку робочого засобу вимірювальної техніки

№ 02/08-1920 Чинне до „11 „ 08 2011 р.

Назва та умовне позначення Шумомір

00025 Зав. № 91010

Виробник Robbston

Власник Дон НАСА

На підставі результатів повірки засіб вимірювальної техніки визнано придатним до застосування

позначення та назва документа, що містить вимоги до метрологічних характеристик і (або),  
f-2015-2016 Δ = 10,706 1кл.  
за потреби, значення метрологічних характеристик (клас точності, похибки, діапазони вимірювання тощо)

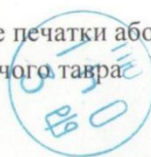
Додаток на — стор.

Державний повірник

(підпис)

А.С. Митасевичев  
(ініціали, прізвище)

Місце печатки або відбитка  
повірного тавра



„11 „ 08 2011 р.





ДЕРЖАВНИЙ КОМІТЕТ УКРАЇНИ  
З ПИТАНЬ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА СПОЖИВЧОЇ ПОЛІТИКИ

Державне підприємство «Донецький науково-виробничий центр  
стандартизації, метрології та сертифікації»

(ДП «Донецькстандартметрологія»)

83121, м. Донецьк, вул. Челюскінців, 289

(Свідоцтво про уповноваження № ПК 010 – 2009 видано 17.07.2009 р.)

# СВІДОЦТВО

про повірку робочого засобу вимірювальної техніки

№ 02/08-1918 Чинне до „ 11 „ 08 2010 р.

Назва та умовне позначення Уклопосное

филосф 01020 Зав. № 91029

Виробник Robbotron

Власник ДОННАСА

На підставі результатів повірки засіб вимірювальної техніки визнано придатним до застосування

TD  
позначення та назва документа, що містить вимоги до метрологічних характеристик і (або),  
f = 215 - 2000 Гц  $\Delta f/f_0 \leq \pm 5\%$   
за потреби, значення метрологічних характеристик (клас точності, похибки, діапазони вимірювання тощо)

Додаток на \_\_\_\_\_ стор.

Державний повірник

[Signature]  
(підпис)

А.С. Мелешинцев  
(ініціали, прізвище)

Місце печатки або відбитка  
повірчого знавця



„ 11 „ 08 2010 р.



ДЕРЖАВНИЙ КОМІТЕТ УКРАЇНИ  
З ПИТАНЬ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА СПОЖИВЧОЇ ПОЛІТИКИ

Державне підприємство «Донецький науково-виробничий центр  
стандартизації, метрології та сертифікації»

(ДП «Донецькстандартметрологія»)

83121, м. Донецьк, вул. Челюскінців, 289

(Свідоцтво про уповноваження № ПК 010 – 2009 видано 17.07.2009 р.)

## СВІДОЦТВО

про повірку робочого засобу вимірювальної техніки

№ 02/08-1917

Чинне до „ 11 „ 08 2011 р.

Назва та умовне позначення Самоліценс

уробия 02013 Зав. № 51153

Виробник Robbotzon

Власник ДОННАСА

На підставі результатів повірки засіб вимірювальної техніки визнано придатним до застосування

позначення та назва документа, що містить вимоги до метрологічних характеристик і (або),  
f = 214 - 200 кГц  $\delta \leq \pm 10\%$   
за потреби, значення метрологічних характеристик (клас точності, похибки, діапазони вимірювання тощо)

Додаток на — стор.

Державний повірник

(підпис)

А.С. Метелісєв  
(ініціали, прізвище)

Місце печатки або відбитка  
повірчого тавра



„ 11 „ 08 2010 р.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Д**

Методические рекомендации по проектированию  
типовых технических решений звукоизолирующих  
асимметричных каркасных перегородок

### Область применения

Конструктивные решения звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок рекомендованы для применения 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.

### Нормативы и методики

При составлении методических рекомендаций были использованы и учтены указанные стандарты, а также технические решения и рекомендации компании КНАУФ:

- СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
- СП 23-103-2003. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий.
- СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85.
- СП 55-101-2000. Ограждающие конструкции с применением гипсокартонных листов.
- СП 44 13330-2011. Административные и бытовые здания. Актуализированная редакция СНиП 2.09.04-87.
- СП 54 13330-2011. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31.02-2001.
- СП 55 13330-2011. Дома жилые одноквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31.01.04-2003.
- СП 56 13330-2011. Производственные здания. Актуализированная редакция СНиП 31.03-2003.
- ГОСТ 23499-2009. Материалы и изделия строительные звукопоглощающие и звукоизоляционные. Классификация и общие технические условия.

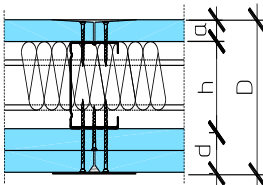
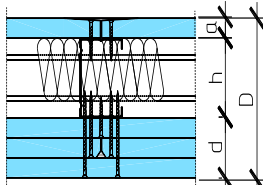
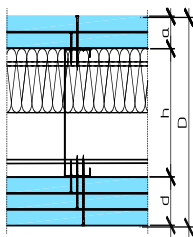


Методические рекомендации содержат некоторые рабочие чертежи основных узлов, применяемых при решении проблем снижения шума методами звукоизоляции, которые могут быть использованы при выполнении проектных работ (рис. Д.2 – Д.7). Представленные конструкции асимметричных каркасных перегородок базируются на типовых конструктивных решениях с использованием листов гипсокартона (ГКЛ), фирменных и специализированных материалах (крепежные и металлические изделия) группы компаний ТИГИ КНАУФ.

Технические и акустические характеристики звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок приведены в таблице Д.1.

Таблица Д.1

# Технические и акустические характеристики звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок

Тип перегородок	№ конструкции	Эскиз	Толщина слоев обшивки, a, d, мм	Толщина перегородки, D, мм	Ширина стоечного профиля ПС, h, мм	Звуко-изоляция, $R_w$ , дБ	Поверхност. плотность <sup>1)</sup> , кг/м <sup>2</sup>
СА-1М-(1+2)ГКЛ	1		a – 1x12,5 d – 2x12,5	87,5	50	52	40
	2		112,5	75	53		
	3		137,5	100	55		
СА-1М-(1+3)ГКЛ	4		a – 1x12,5 d – 3x12,5	100	50	53	52
	5		125	75	56		
	6		150	100	57		
СА-1М-(2+3)ГКЛ	7		a – 2x12,5 d – 3x12,5	112,5	50	56	60
	8		137,5	75	57		
	9		162,5	100	58		

Примечания:  
<sup>1)</sup> Данные поверхностной плотности с учетом изоляционного слоя.

На рисунке Д.1 представлена конструктивная схема звукоизолирующей перегородки с асимметричной обшивкой из гипсокартонных листов (толщ. 12,5 мм) по каркасу из тонкостенного металлического профиля и звукопоглощающим слоем толщиной 50 мм (ИЗОВЕР ЗвукоЗащита плотностью 40 кг/м<sup>3</sup>). Крепление обшивки к стойкам каркаса выполнено на шурупах / винтах самонарезающих.

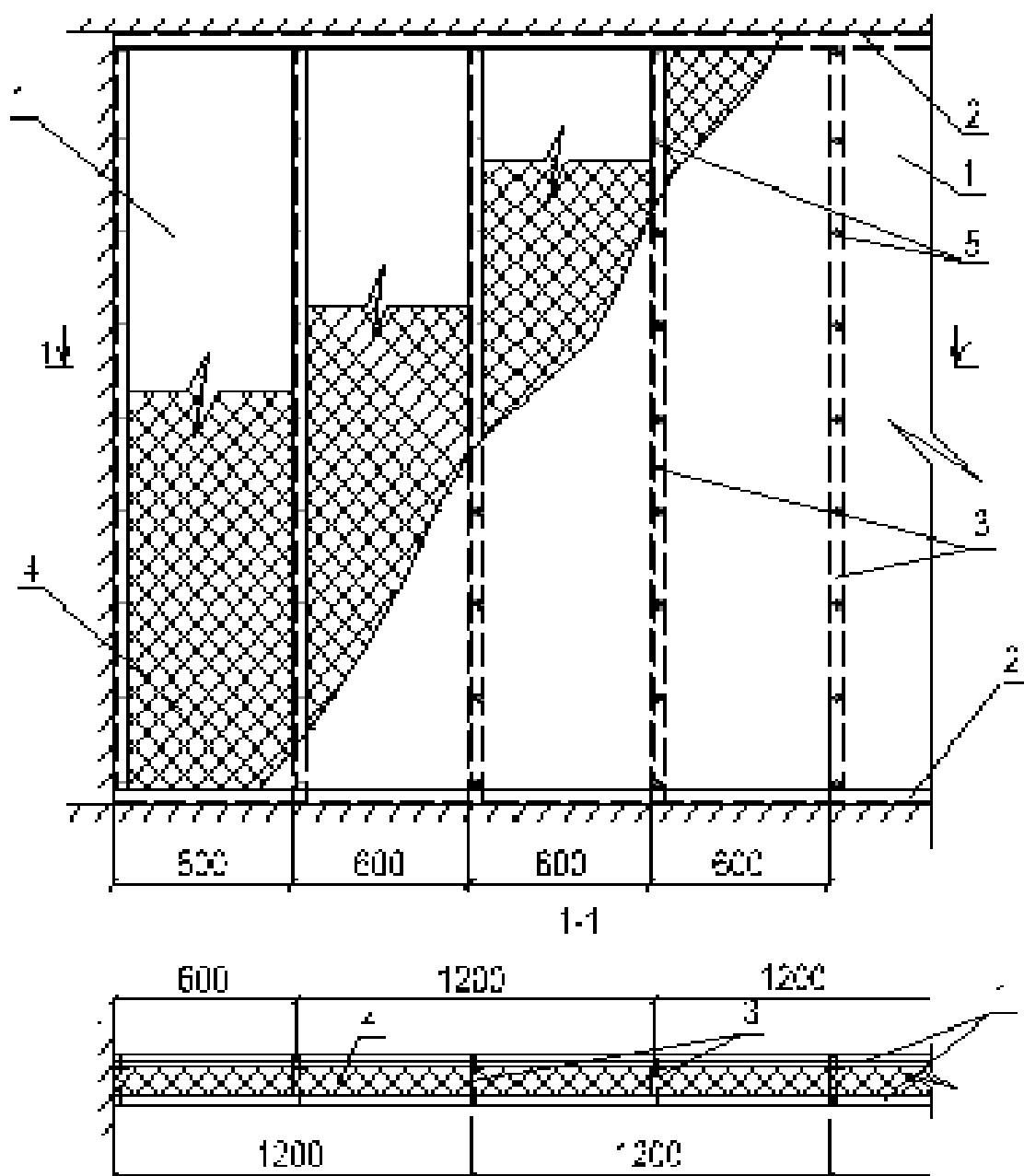


Рисунок Д.1 – Конструктивная схема звукоизолирующей асимметричной каркасной перегородки: 1 – асимметричная обшивка из ГКЛ; 2 – профиль ПН; 3 – профиль ПС; 4 – звукопоглощающий материал; 5 – винт самонарезающий с шагом 300 мм.

Перечень помещений для возможного применения приведенных типов звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок, составленный на основе СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (табл. 2) представлен в таблице Д.2.

Звукоизолирующие асимметричные каркасные перегородки и их частотные характеристики изоляции воздушного шума приведены в таблицах Д.3 – Д.8.

Таблица Д.2

Перечень помещений, для возможного применения звукоизолирующих асимметричных каркасных перегородок

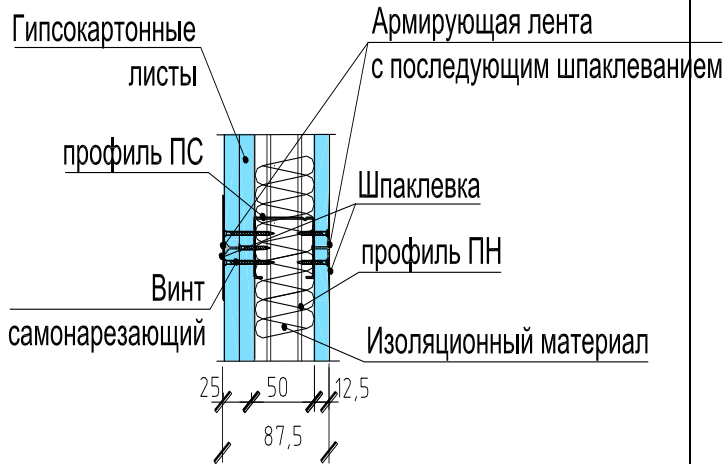
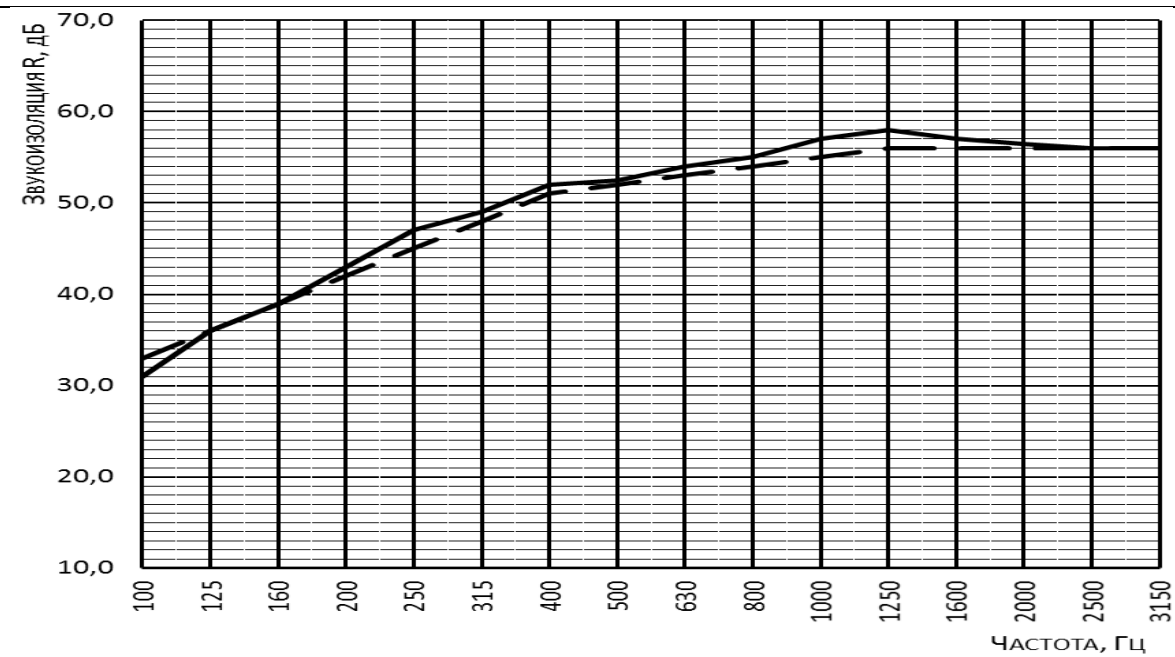
Схема ограждающей конструкции		Измеренные индексы изоляции воздушного шума, $R_w$ , дБ	Применение в соответствии с СП 51.13330. 2011 (Таблица 2)	Требуемые нормативные индексы изоляции воздушного шума, $R'_w$ <sup>норм</sup> , дБ
Тип перегородок	№ профиля			
1	2	3	4	5
Перегородки на одинарном металлическом каркасе				
АС-1М-(1+2)ГКЛ	ПС50/50	52	<b>Жилые здания</b> п.10 Перегородки без дверей между комнатами, между кухней и комнатой в одной квартире	43
			п.11 перегородки между санузлом и комнатой одной квартиры	47
			п.12 стены и перегородки между комнатами общежитий	50
	ПС75/50	53	<b>Гостиницы</b> п.17 Стены и перегородки между номерами: гостиницы категорий "пять звезд" и "четыре звезды"	52
АС-1М-(2+3)ГКЛ	ПС100/50	55	гостиницы категории "три звезды"	53
			гостиницы категорий ниже "три звезды"	51
			п.18 стены и перегородки, отделяющие номера от помещений общего пользования (лестничные клетки, вестибюли, холлы, буфеты):	50
	ПС50/50	56	гостиницы категорий "пять звезд" и "четыре звезды"	53
			гостиницы категорий "три звезды" и ниже	51

1	2	3	4	5
АС-1М-(2+3)ГКЛ	ПС75/50	57	<b>Административные здания, офисы</b> п.21 стены и перегородки между кабинетами и отделяющие кабинеты от рабочих комнат	45
	ПС100/50	58	п.24 стены и перегородки, отделяющие рабочие комнаты от помещений общего пользования (вестибюли, холлы, буфеты) и от помещений с источниками шума (машбюро, телетайпные т.п.)	52
			п.25 стены и перегородки, отделяющие кабинеты от помещений общего пользования и шумных помещений	47
			п.30 стены и перегородки между палатами, кабинетами врачей	47
			п.32 стены и перегородки, отделяющие палаты и кабинеты от помещений общего пользования	54
			<b>Учебные заведения</b> п.36 стены и перегородки между классами, кабинетами и аудиториями и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования	48
			<b>Детские дошкольные учреждения</b> п. 37стены и перегородки между групповыми комнатами, спальнями и между другими детскими комнатами	47
			<b>Жилые здания</b> п.8 стены и перегородки между квартирами, между помещениями квартир и коридорами	54
			<b>Учебные заведения</b> п.33 стены и перегородки между музыкальными классами средних учебных заведений и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования	55

Таблица Д.3

Звукоизолирующая асимметричная каркасная перегородка. Тип АС-1М-(1+2)ГКЛ-ПС50/50

$R_w = 52$  дБ



	31	36	39	43	47	49	52	52,5	54	55	57	58	57	56,5	56	56
оценочная	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56

Тип звукоизолирующей асимметричной каркасной перегородки	Допустимая высота перегородки, м	Толщина перегородки, мм	$R_w$ , дБ
АС-1М-(1+2)ГКЛ-ПС50/50*	4,0 (шаг стоек 600 мм) 5,0 (шаг стоек 400 мм) 6,0 (шаг стоек 300 мм)	87,5	52

\*Маркировка перегородки – «АС» - звукоизолирующая асимметричная; «1М» – одинарный стальной профиль; «(1+2)» – количество листов обшивки; «ГКЛ» – гипсокартонные листы; «ПС50/50» – марка стоечного профиля.

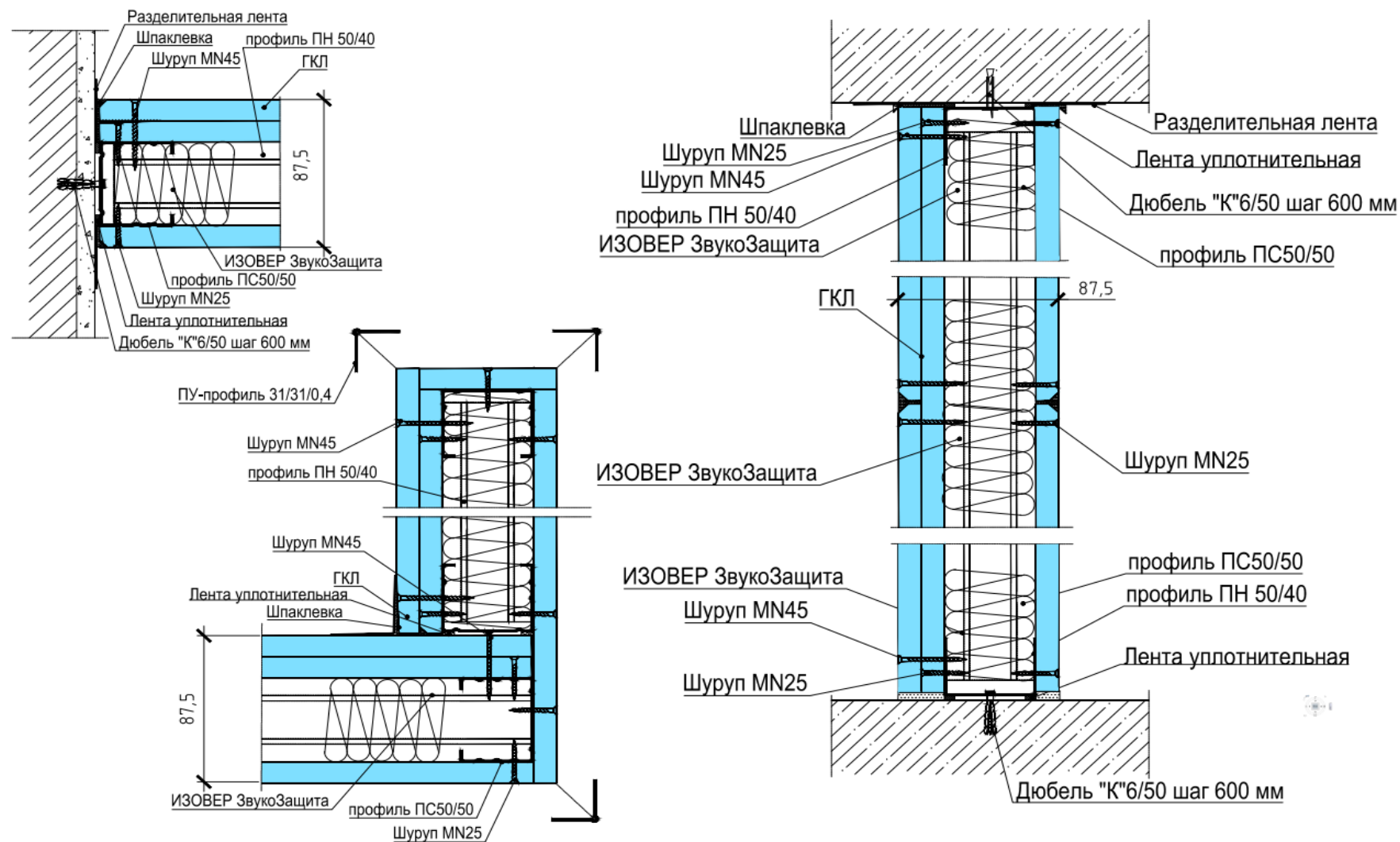
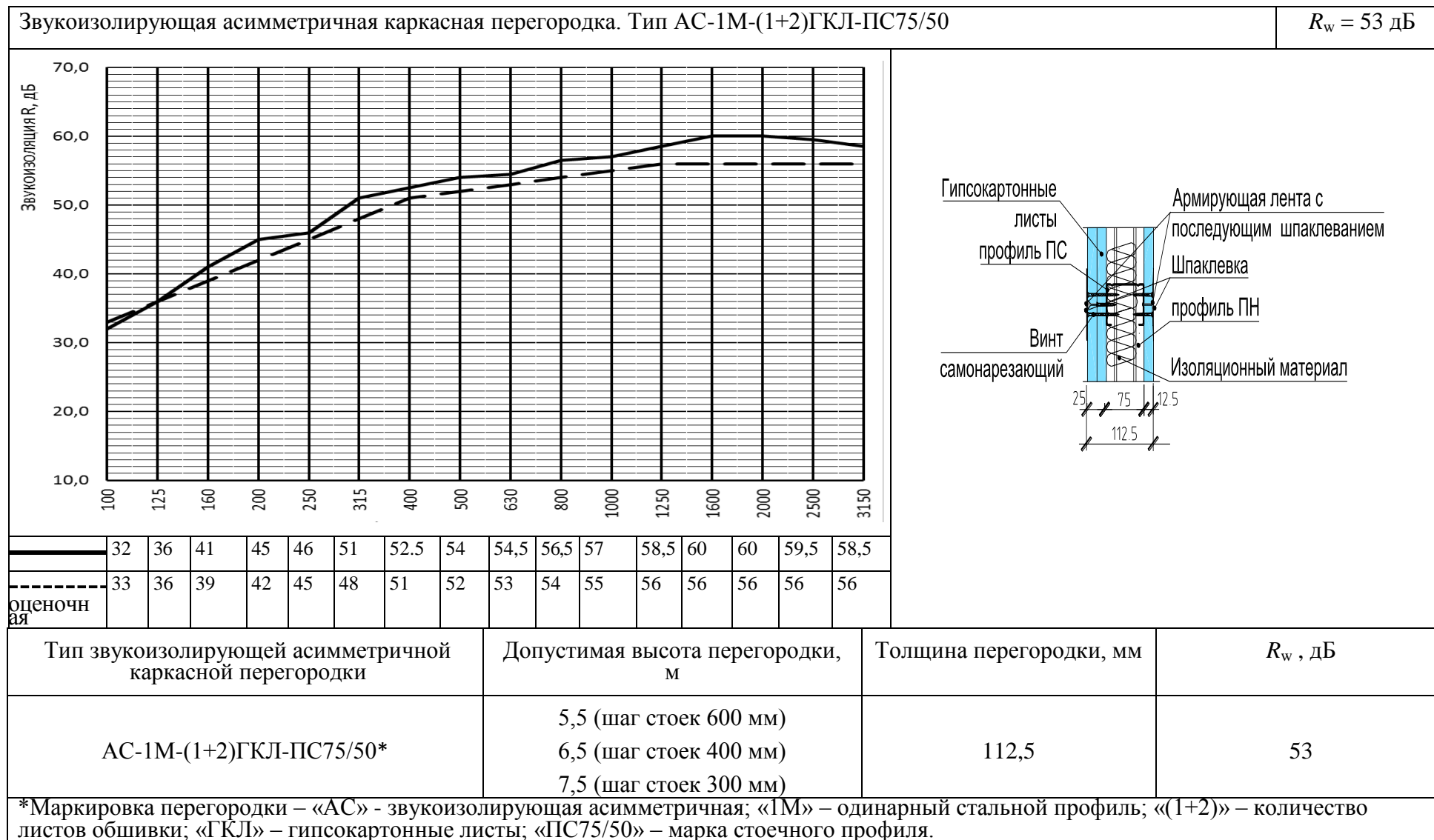


Рисунок Д.2 – Узлы примыкания перегородки АС-1М-(1+2)ГКЛ-ПС50/50.

Таблица Д.4



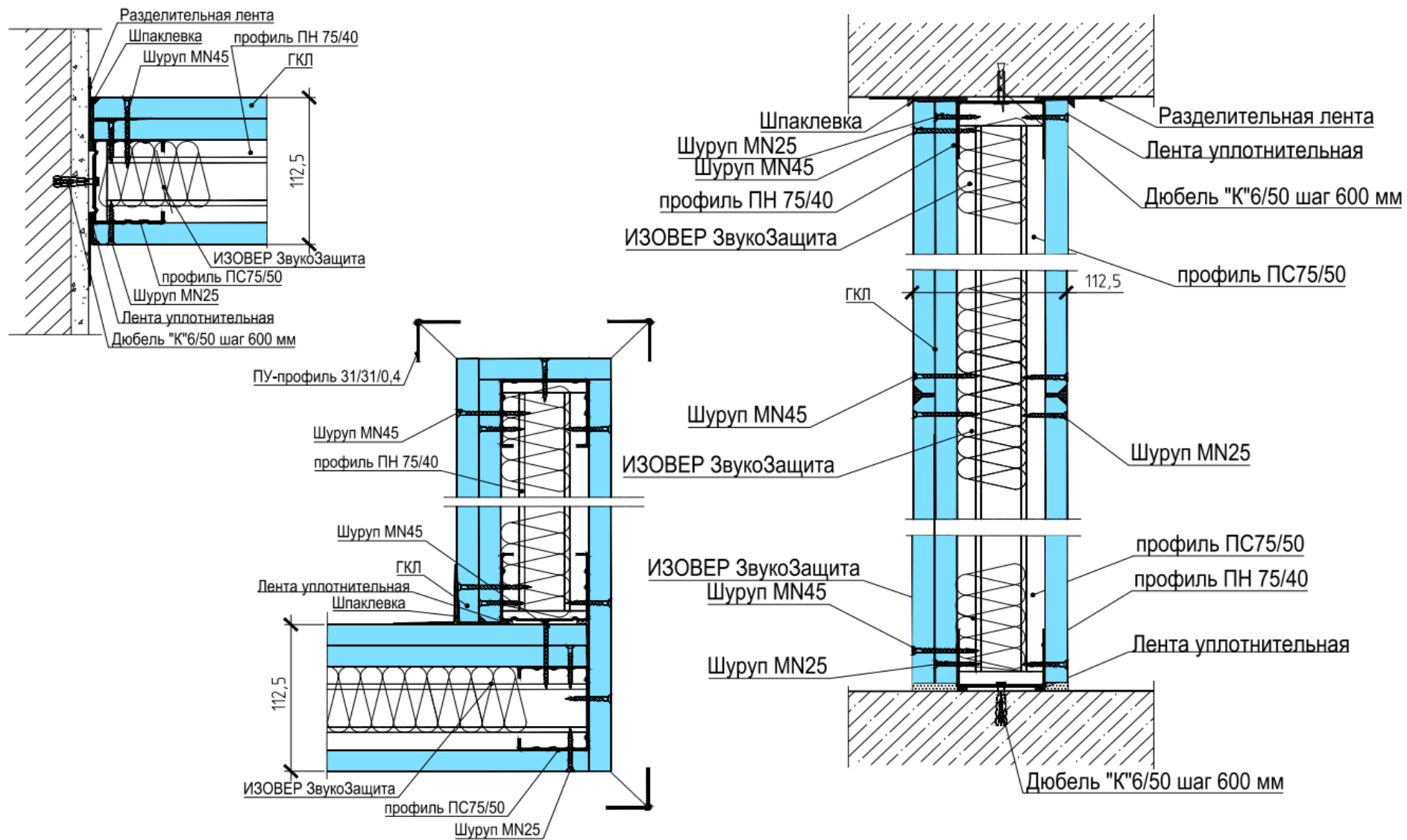
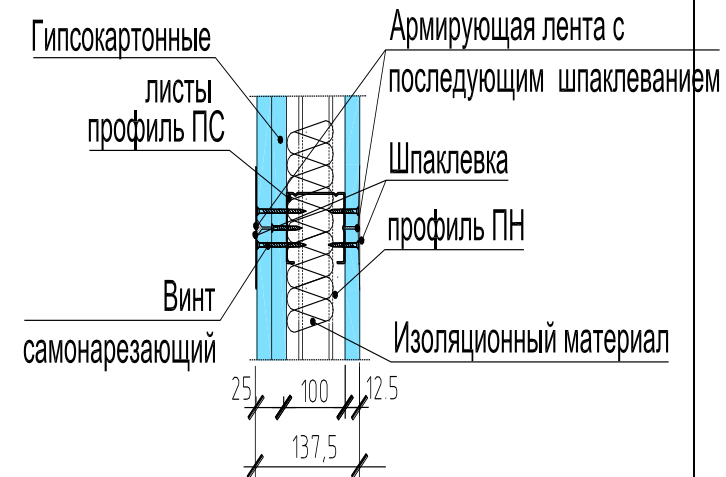
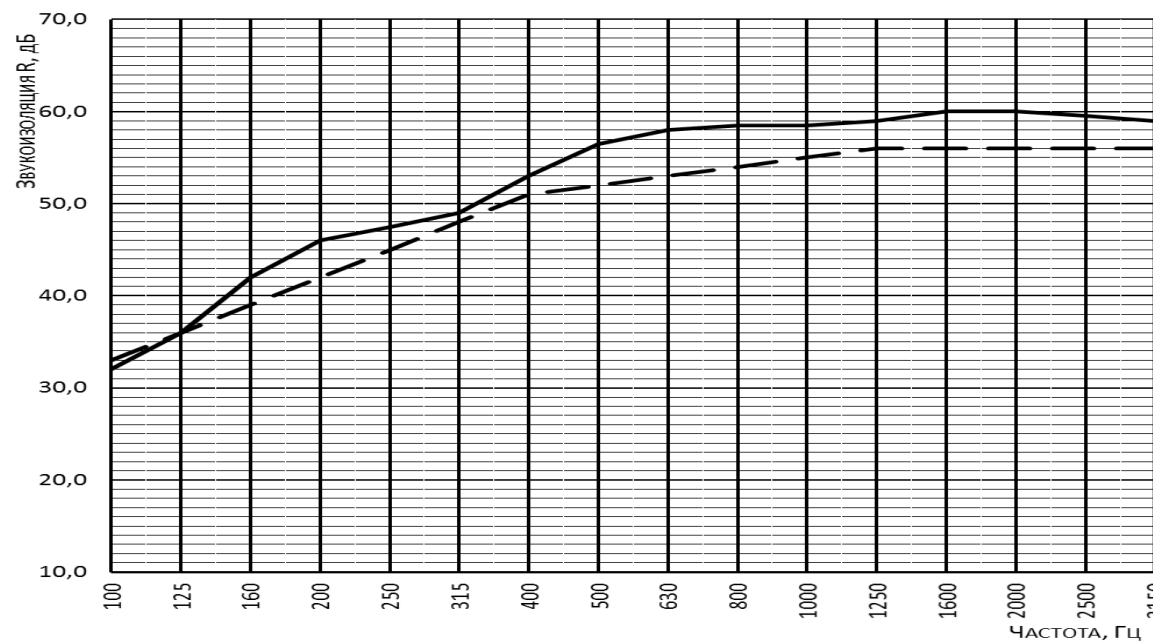


Рисунок Д.3 – Узлы примыкания перегородки АС-1М-(1+2)ГКЛ-ПС75/50.



Таблица Д.5

Звукоизолирующая асимметричная каркасная перегородка. Тип АС-1М-(1+2)ГКЛ-ПС100/50

 $R_w = 55$  дБ

	32	36	42	46	47,5	49	53	56,5	58	58,5	58,5	59	60	60	59,5	59
оценочная	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56

Тип звукоизолирующей асимметричной каркасной перегородки	Допустимая высота перегородки, м	Толщина перегородки, мм	$R_w$ , дБ
АС-1М-(1+2)ГКЛ-ПС100/50*	6,5 (шаг стоек 600 мм) 7,5 (шаг стоек 400 мм) 9,0 (шаг стоек 300 мм)	137,5	55

\*Маркировка перегородки – «АС» - звукоизолирующая асимметричная; «1М» – одинарный стальной профиль; «(1+2)» – количество листов обшивки; «ГКЛ» – гипсокартонные листы; «ПС100/50» – марка стоечного профиля.

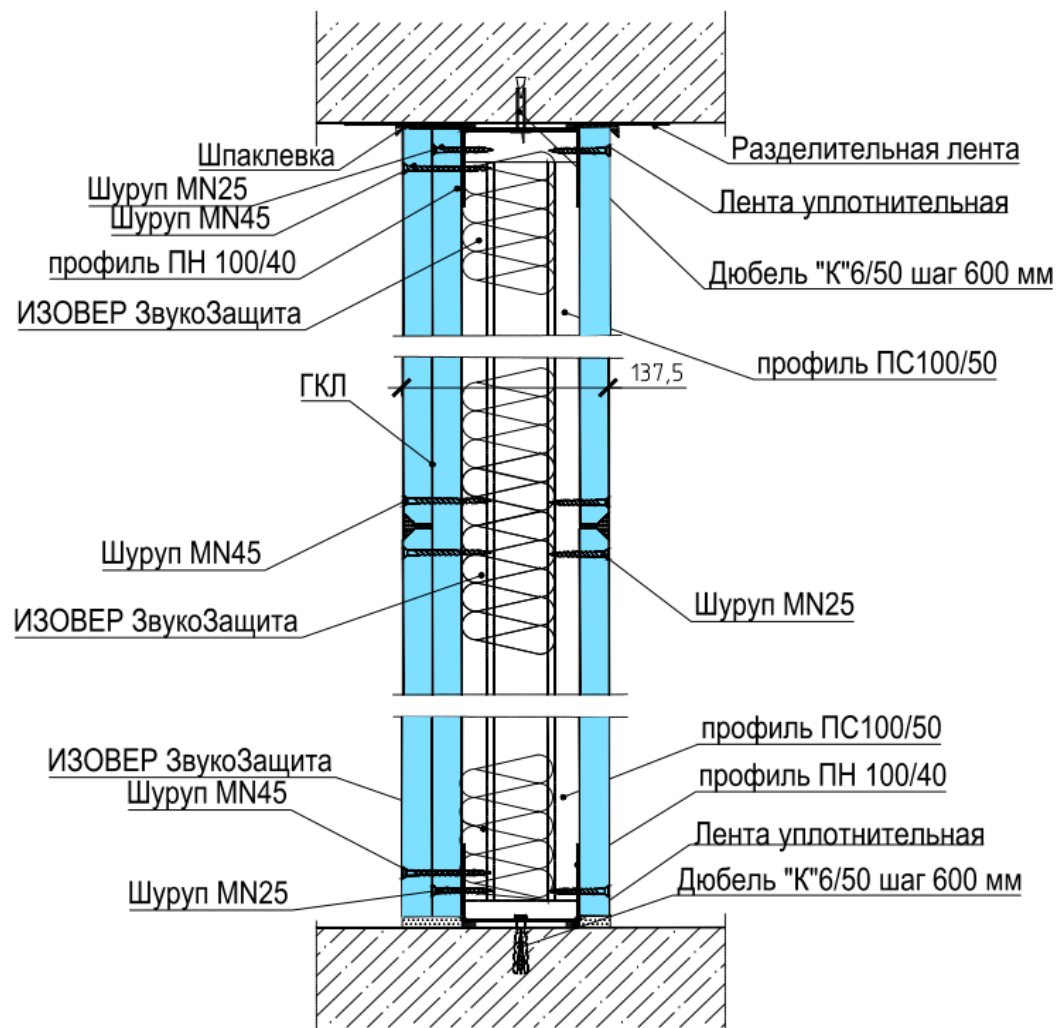
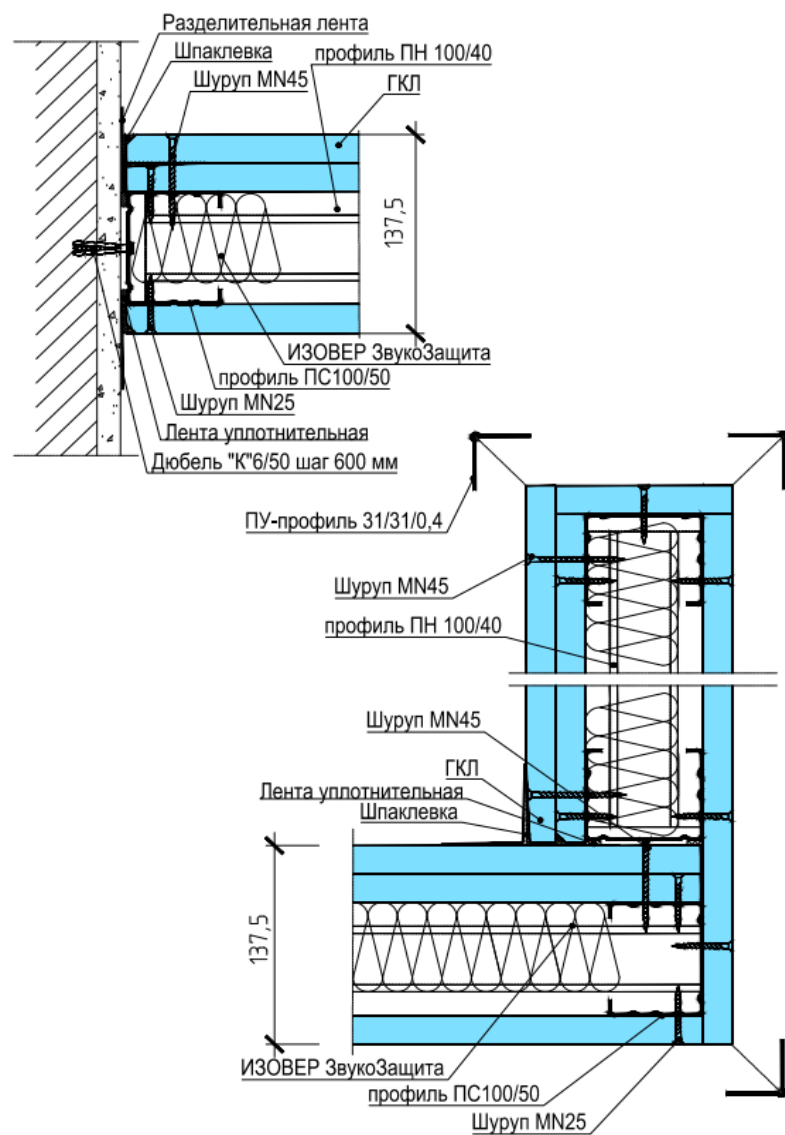
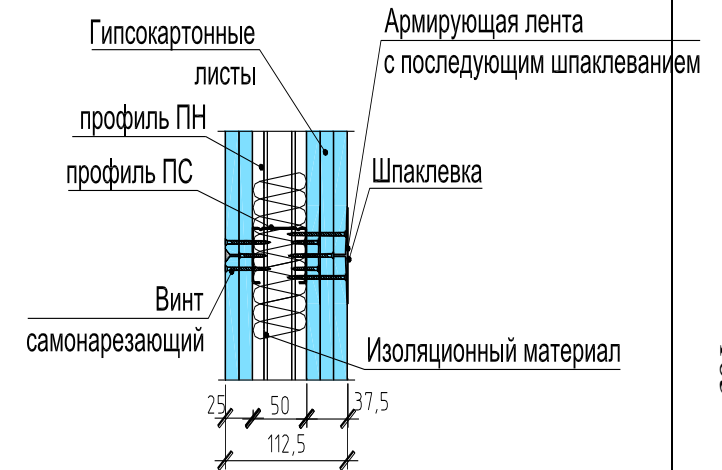
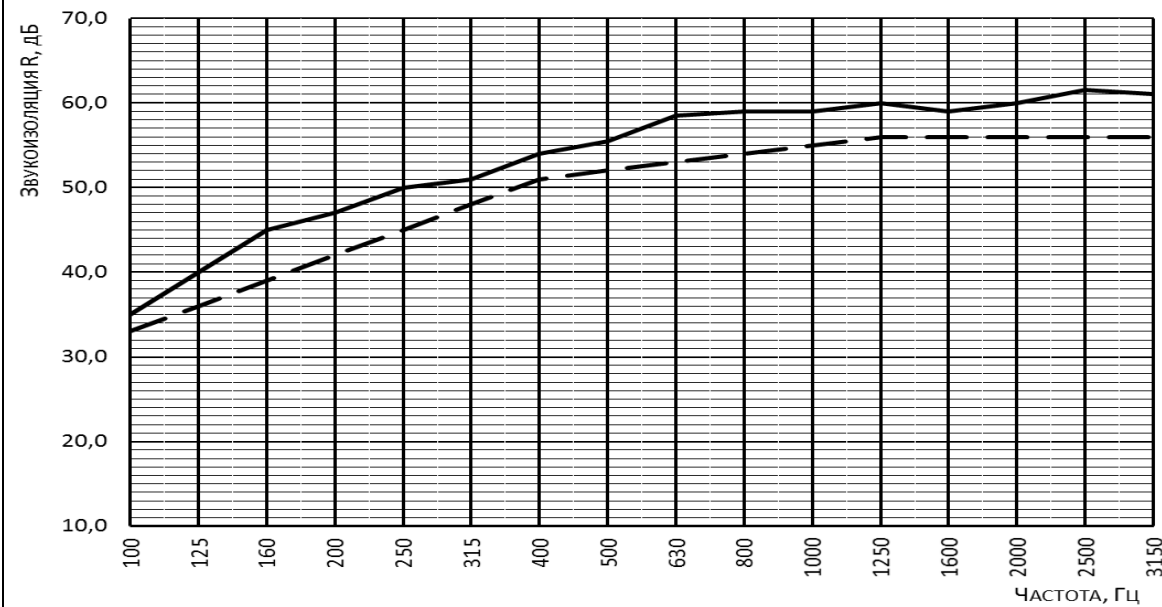


Рисунок Д.4 – Узлы примыкания перегородки АС-1М-(1+2)ГКЛ-ПС100/50.

Таблица Д.6

Звукоизолирующая асимметричная каркасная перегородка. Тип АС-1М-(2+3)ГКЛ-ПС50/50

 $R_w = 56$  дБ

	35	40	45	47	50	51	54	55,5	58,5	59	59	60	59	60	61,5	61
оценочная	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56

Тип звукоизолирующей асимметричной каркасной перегородки	Допустимая высота перегородки, м	Толщина перегородки, мм	$R_w$ , дБ
АС-1М-(2+3)ГКЛ-ПС50/50*	4,0 (шаг стоек 600 мм) 5,0 (шаг стоек 400 мм) 6,0 (шаг стоек 300 мм)	112,5	56

\*Маркировка перегородки – «АС» - звукоизолирующая асимметричная; «1М» – одинарный стальной профиль; «(2+3)» – количество листов обшивки; «ГКЛ» – гипсокартонные листы; «ПС50/50» – марка стоечного профиля.

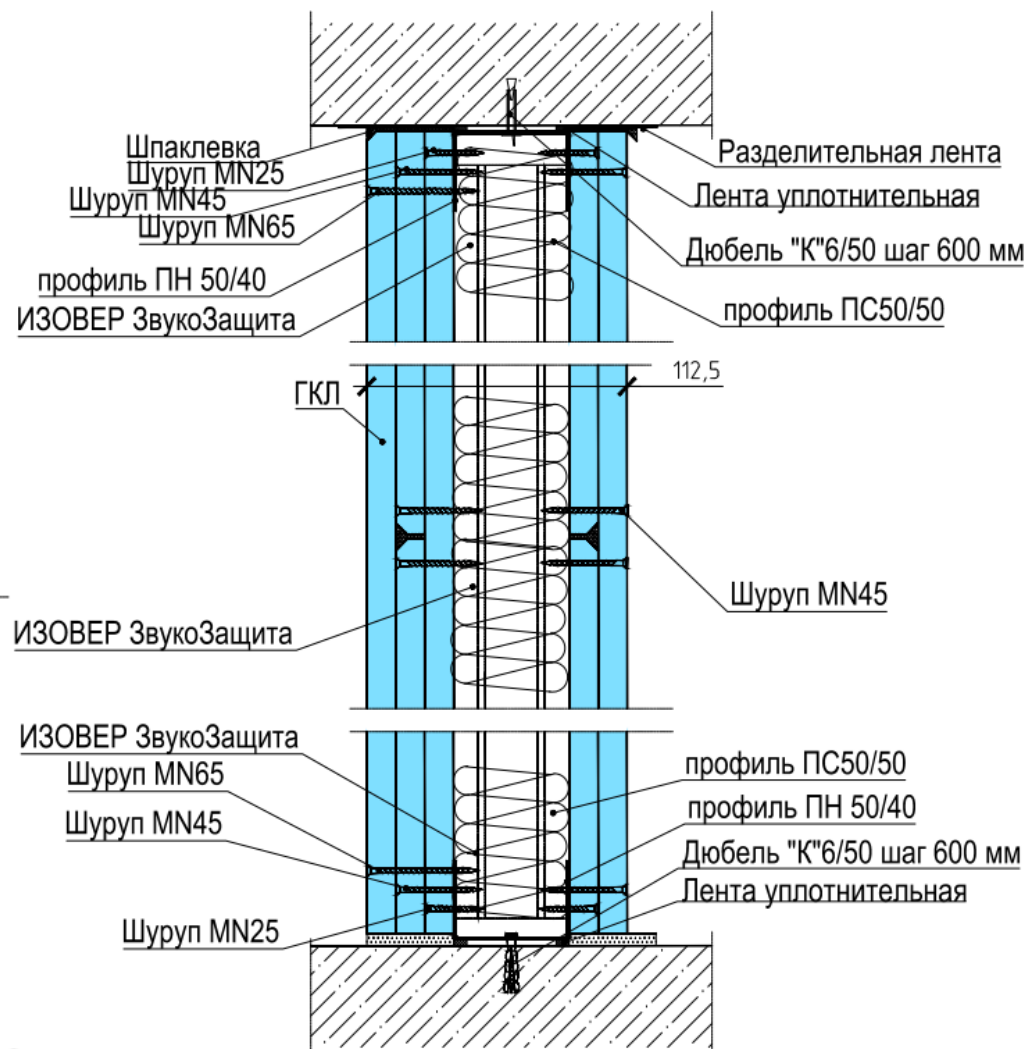
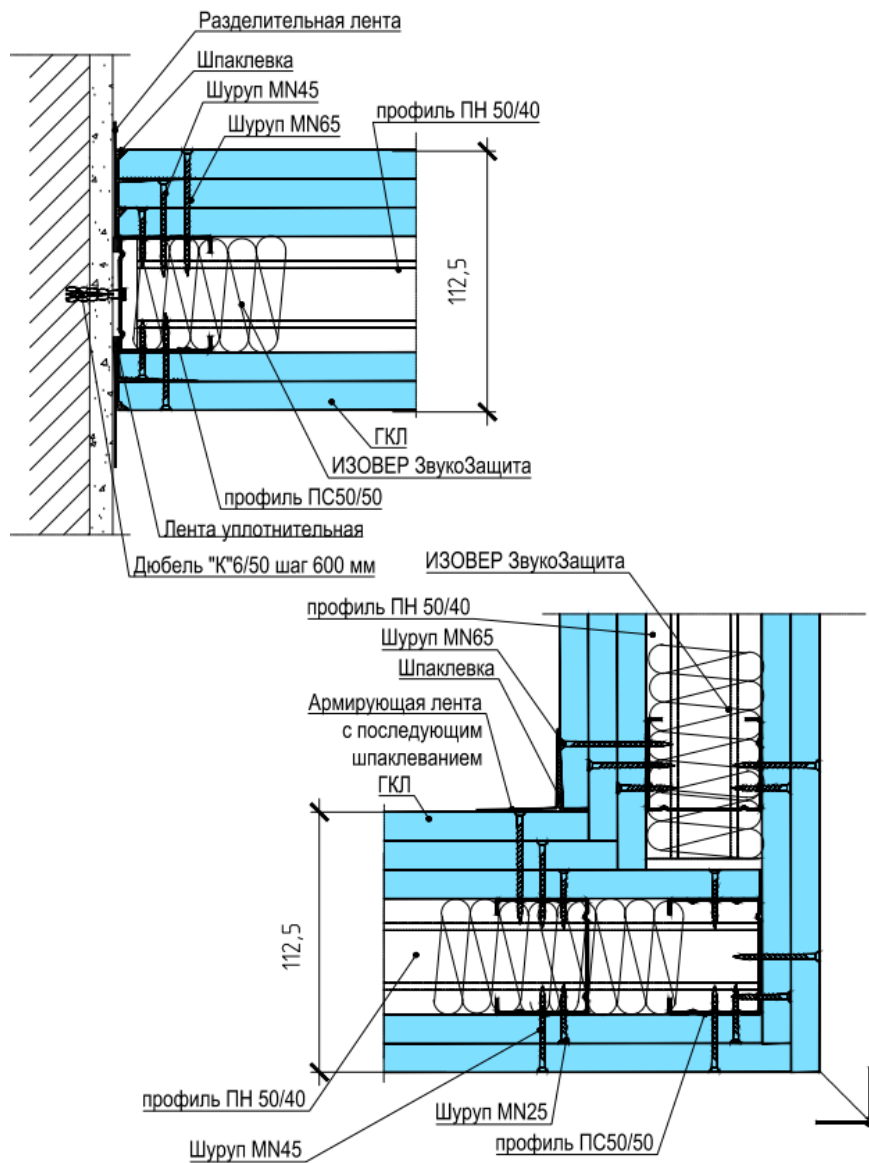
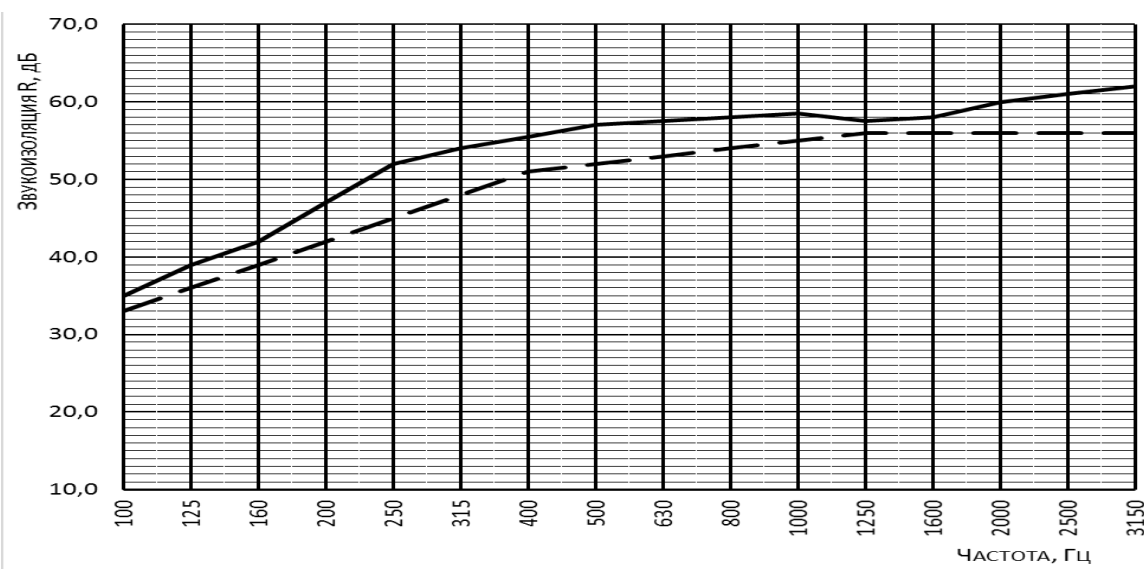
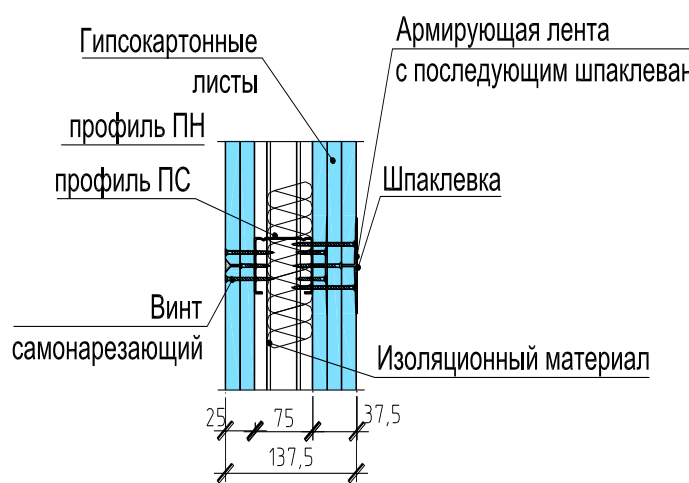


Рисунок Д.5 – Узлы примыкания перегородки АС-1М-(2+3)ГКЛ-ПС50/50.

Таблица Д.7

Звукоизолирующая асимметричная каркасная перегородка. Тип АС-1М-(2+3)ГКЛ-ПС75/50															$R_w = 57$ дБ																																	
<div></div>																	<div></div>																															
<div><div></div><table><tr><td>35</td><td>39</td><td>42</td><td>47</td><td>52</td><td>54</td><td>55,5</td><td>57</td><td>57,5</td><td>58</td><td>58,5</td><td>57,5</td><td>58</td><td>60</td><td>61</td><td>62</td></tr><tr><td>33</td><td>36</td><td>39</td><td>42</td><td>45</td><td>48</td><td>51</td><td>52</td><td>53</td><td>54</td><td>55</td><td>56</td><td>56</td><td>56</td><td>56</td><td>56</td></tr></table></div>		35	39	42	47	52	54	55,5	57	57,5	58	58,5	57,5	58	60	61	62	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56															
35	39	42	47	52	54	55,5	57	57,5	58	58,5	57,5	58	60	61	62																																	
33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56																																	
оценочная																																																
Тип звукоизолирующей асимметричной каркасной перегородки								Допустимая высота перегородки, м				Толщина перегородки, мм			$R_w$ , дБ																																	
АС-1М-(2+3)ГКЛ-ПС75/50*								4,5 (шаг стоек 600 мм) 5,5 (шаг стоек 400 мм) 6,5 (шаг стоек 300 мм)				137,5			57																																	
*Маркировка перегородки – «АС» - звукоизолирующая асимметричная; «1М» – одинарный стальной профиль; «(2+3)» – количество листов обшивки; «ГКЛ» – гипсокартонные листы; «ПС75/50» – марка стоечного профиля.																																																

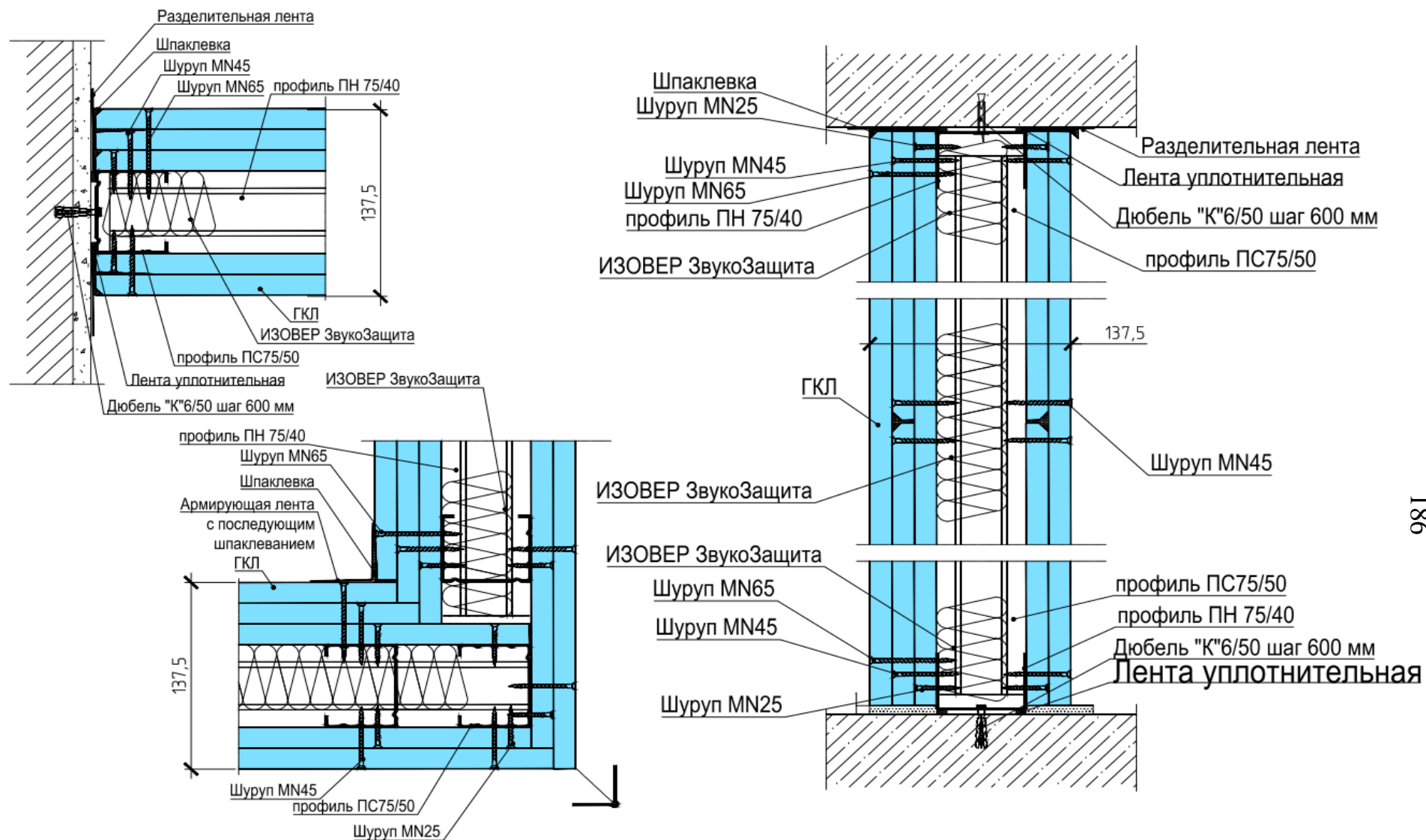
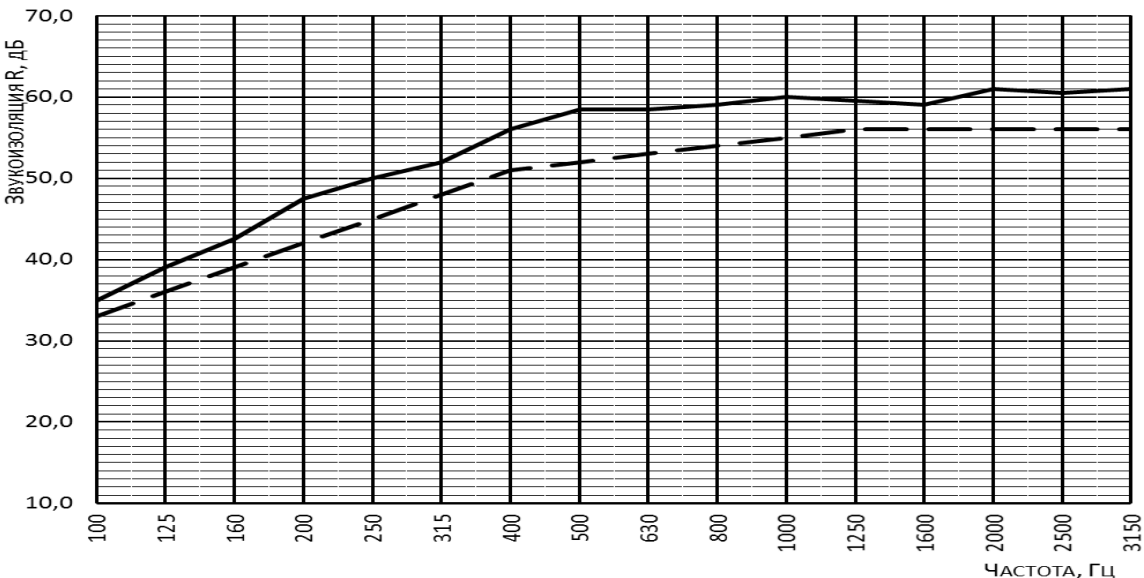
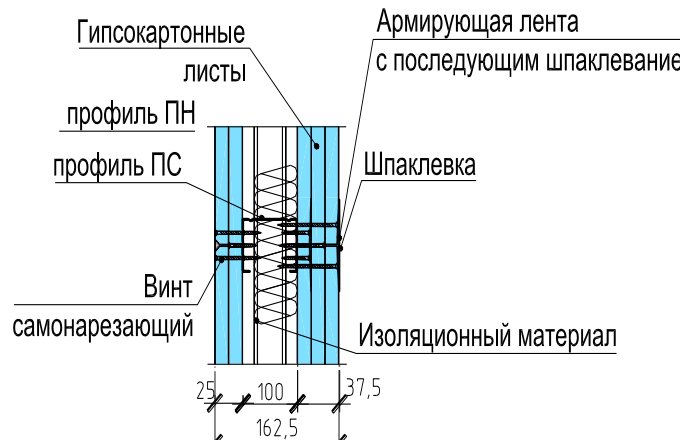


Рисунок Д.6 – Узлы примыкания перегородки АС-1М-(2+3)ГКЛ-ПС75/50.

Таблица Д.8

Звукоизолирующая асимметричная каркасная перегородка. Тип АС-1М-(2+3)ГКЛ-ПС100/50															$R_w = 58$ дБ																																			
<div><table><tr><td></td><td>35</td><td>39</td><td>42.5</td><td>47.5</td><td>50</td><td>52</td><td>56</td><td>58,5</td><td>58,5</td><td>59</td><td>60</td><td>59,5</td><td>59</td><td>61</td><td>60,5</td><td>61</td></tr><tr><td>оценочная</td><td>33</td><td>36</td><td>39</td><td>42</td><td>45</td><td>48</td><td>51</td><td>52</td><td>53</td><td>54</td><td>55</td><td>56</td><td>56</td><td>56</td><td>56</td><td>56</td></tr></table></div> <div></div>																		35	39	42.5	47.5	50	52	56	58,5	58,5	59	60	59,5	59	61	60,5	61	оценочная	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
	35	39	42.5	47.5	50	52	56	58,5	58,5	59	60	59,5	59	61	60,5	61																																		
оценочная	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56																																		
Тип звукоизолирующей асимметричной каркасной перегородки								Допустимая высота перегородки, м				Толщина перегородки, мм				$R_w$ , дБ																																		
АС-1М-(2+3)ГКЛ-ПС100/50*								5,5 (шаг стоек 600 мм) 6,5 (шаг стоек 400 мм) 7,5 (шаг стоек 300 мм)				162,5				58																																		
*Маркировка перегородки – «АС» - звукоизолирующая асимметричная; «1М» – одинарный стальной профиль; «(2+3)» – количество листов обшивки; «ГКЛ» – гипсокартонные листы; «ПС100/50» – марка стоечного профиля.																																																		







## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Проникающий шум - шум, возникающий вне пространства с расчетными точками и проникающий в него через ограждающие конструкции зданий, системы вентиляции, кондиционирования воздуха, водоснабжения и отопления.

Постоянный шум — шум, уровень звука которого изменяется за время оценки не более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике «медленно» шумомера по ГОСТ 17187.

Непостоянный шум — шум, уровень звука которого изменяется за время оценки более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике «медленно» шумомера по ГОСТ 17187.

Октавный уровень звукового давления, дБ - уровень звукового давления в октавной полосе частот.

Уровень звука, дБА - энергетическая сумма октавных уровней звукового давления в нормируемом диапазоне частот, откорректированных по частотной характеристике А шумомера по ГОСТ 17187.

Эквивалентный (по энергии) уровень звука, дБА - уровень звука постоянного шума, который имеет то же самое среднеквадратическое звуковое давление, что и исследуемый непостоянный шум в течение определенного интервала времени.

Максимальный уровень звука, дБА - уровень звука непостоянного шума, соответствующий максимальному показанию измерительного, прямо показывающего прибора (шумомера) при визуальном отсчете, или уровень звука, превышаемый в течение 1 % длительности измерительного интервала при регистрации шума автоматическим оценивающим устройством (статистическим анализатором).

Изоляция воздушного шума (звукоизоляция)  $R$ , дБ - способность ограждающей конструкции уменьшать проходящий через нее звук. В общем виде представляет собой десятикратный десятичный логарифм отношения падающей на ограждение звуковой энергии к энергии, прошедшей через ограждение.

Изоляция ударного шума перекрытием - величина, характеризующая снижение ударного шума перекрытием.

Приведенный уровень ударного шума под перекрытием  $L_n$ , дБ - величина, характеризующая изоляцию ударного шума перекрытием, представляющая собой уровень звукового давления в помещении под перекрытием при работе на перекрытии стандартной ударной машины и условно приведенная к величине эквивалентной площади звукопоглощения в помещении, равной  $A_0 = 10 \text{ м}^2$ .

Частотная характеристика изоляции воздушного шума - величина изоляции воздушного шума  $R$ , дБ, в третьоктавных полосах частот в диапазоне 100...3150 Гц (в графической или табличной форме).

Частотная характеристика приведенного уровня ударного шума под перекрытием - величина приведенных уровней ударного шума под перекрытием  $L_n$ , дБ, в третьоктавных полосах частот в диапазоне 100...3150 Гц (в графической или табличной форме).

Индекс изоляции воздушного шума  $R_w$ , дБ - величина, служащая для оценки одним числом изоляции воздушного шума ограждающей конструкцией. Определяется путем сопоставления частотной характеристики изоляции воздушного шума со специальным нормативным спектром.

Индекс приведенного уровня ударного шума  $L_{nw}$ , дБ - величина, служащая для оценки одним числом изоляции ударного шума перекрытием.

Определяется путем сопоставления частотной характеристики приведенного уровня ударного шума под перекрытием со специальным нормативным спектром.

Звукоизоляция окна  $R_{A \text{ тран}}$ , дБА - величина, служащая для оценки одним числом изоляции внешнего шума, создаваемого городским транспортом, при передаче его внутрь помещения через окно.

Звуковая мощность, Вт - количество энергии, излучаемой источником шума в единицу времени.

Уровень звуковой мощности, дБ — десятикратный десятичный логарифм отношения звуковой мощности к опорной звуковой мощности ( $W_0 = 10^{-12} \text{ Вт}$ ).

Коэффициент звукопоглощения  $\alpha$  - отношение величины неотраженной от поверхности звуковой энергии к величине падающей энергии.

Эквивалентная площадь звукопоглощения (поверхности или предмета),  $\text{м}^2$  - площадь поверхности, полностью поглощающей звук (с коэффициентом звукопоглощения  $\alpha = 1$ ), которая поглощает такое же количество звуковой энергии, как и данная поверхность или предмет.

Средний коэффициент звукопоглощения  $\alpha_{\text{ср}}$  - отношение суммарной эквивалентной площади звукопоглощения в помещении  $A_{\text{сум}}$  (включая поглощение всех поверхностей, оборудования и людей) к суммарной площади всех поверхностей помещения.

Шумозащитные окна - окна со специальными вентиляционными устройствами, обеспечивающие повышенную звукоизоляцию при одновременном обеспечении нормативного воздухообмена в помещении.

Шумозащитные экраны - сооружения в виде вертикальных или наклонных стенок различной конструкции, земляных насыпей, выемок, галерей и т.п., установленные вдоль автомобильных и железных дорог с целью снижения шума.

Реверберация - явление постепенного спада звуковой энергии в помещении после прекращения работы источника звука.

Время реверберации  $T$ , с - время, за которое уровень звукового давления в помещении после выключения источника звука спадает на 60 дБ.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Е**

Сметная документация сравнения вариантов устройства симметричных (базовых) и асимметричных каркасных перегородок с обшивкой из ГКЛ

Локальная смета на строительные работы № 02-01-02

объект: Сравнение вариантов устройства перегородок ГКЛ

(наименование работ и затрат, наименование дома, строения, сооружения, линейного объекта инженерно-транспортной инфраструктуры)

Основание: чертежи (спецификации) № базовые и асимметричные конструктивные решения каркасных перегородок с обшивкой ГКЛ на одинарном стальном каркасе со звукопоглощающим слоем

Сметная стоимость	3168.684	тыс.рос.руб
Сметная трудоемкость	12.01719	тыс.чел-ч
Сметная заработная плата	927.534	тыс.рос.руб
Средний разряд работ	3.6	разряд

Составлена в текущих ценах по состоянию на 15.08.2019

№ п/п	Обоснование (шифр нормы)	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество	Стоимость единицы, рос.руб.		Общая стоимость, рос.руб.			Затраты труда рабочих, чел-ч,			
					Всего	эксплуатации машин	Всего	заработной платы	эксплуатации машин	не занятых обслуживанием машин			
										заработной платы	в том числе заработной платы	обслуживающих машины	
												на единицу	всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Раздел 1. Вариант 1.1 (1+1) профили 50 мм													
1	ЕН10-94-3	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в один слой с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>23334.6</u> 23220.77	- -	23335	23221	- -	<u>306.06</u> -	<u>306.06</u> -		
2	C181-2715	Профили ПС 50/50	м	241	<u>31.38</u> -	- -	7563		- -	- -	- -		
3	C181-2714	Профили ПН 50/40	м	83	<u>44</u> -	- -	3652		- -	- -	- -		
4	C191-1804- 4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u> -	- -	20551		- -	- -	- -		
5	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	3730	<u>0.4</u> -	- -	1492		- -	- -	- -		
6	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	- -	219		- -	- -	- -		
7	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	- -	288		- -	- -	- -		
8	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	73	<u>18.36</u> -	- -	1340		- -	- -	- -		
	C181-2748	Ленты армирующие	м	370	<u>1.27</u> -	- -	470		- -	- -	- -		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u> -	-	2827		-	-	-
11	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u> -	-	2700		-	-	-
Итого прямые затраты по разделу 1, рос.руб в том числе:							64437	23221	<u>0</u> 0		<u>306.06</u> 0
стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.							41216				
всего заработная плата, рос.руб.							23221				
Общепроизводственные расходы, рос.руб.							10921				
трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч							15.14				
заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.							1844				
<b>Всего по разделу 1, рос.руб</b>							<b>75358</b>				
<b>Раздел 2. Вариант 1.2 (1+1) профили 75 мм</b>											
12	ЕН10-94-3	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в один слой с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>23334.6</u> 23220.77	-	23335	23221	-	<u>306.06</u> -	<u>306.06</u> -
13	C181-2715	Профили ПС 75/50	м	241	<u>35.67</u> -	-	8596		-	-	-
14	C181-2714	Профили ПН 75/40	м	83	<u>47.15</u> -	-	3913		-	-	-
15	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u> -	-	20551		-	-	-
16	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	3730	<u>0.4</u> -	-	1492		-	-	-
17	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	-	219		-	-	-
18	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	-	288		-	-	-
19	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	73	<u>18.36</u> -	-	1340		-	-	-
20	C181-2748	Ленты армирующие	м	370	<u>1.27</u> -	-	470		-	-	-
21	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u> -	-	2827		-	-	-
22	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u> -	-	2700		-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Итого прямые затраты по разделу 2, рос.руб					65731	23221	0		306.06
		в том числе:							0		0
		стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.					42510				
		всего заработная плата, рос.руб.					23221				
		Общепроизводственные расходы, рос.руб.					10921				
		трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч					15.14				
		заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.					1844				
		<b>Всего по разделу 2, рос.руб</b>					<b>76652</b>				
		<b>Раздел 3. Вариант 1.3 (1+1) профили 100 мм</b>									
23	ЕН10-94-3	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в один слой с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>23334.6</u> 23220.77	-	23335	23221	-	<u>306.06</u> -	<u>306.06</u> -
24	C181-2715	Профили ПС 100/50	м	241	<u>42.67</u> -	-	10283		-	-	-
25	C181-2714	Профили ПН 100/40	м	83	<u>61</u> -	-	5063		-	-	-
26	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u> -	-	20551		-	-	-
27	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	3730	<u>0.4</u> -	-	1492		-	-	-
28	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	-	219		-	-	-
29	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	-	288		-	-	-
30	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	73	<u>18.36</u> -	-	1340		-	-	-
31	C181-2748	Ленты армирующие	м	370	<u>1.27</u> -	-	470		-	-	-
32	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u> -	-	2827		-	-	-
33	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u> -	-	2700		-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Итого прямые затраты по разделу 3, рос.руб					68568	23221	0		306.06
		в том числе:							0		0
		стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.					45347				
		всего заработная плата, рос.руб.					23221				
		Общепроизводственные расходы, рос.руб.					10921				
		трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч					15.14				
		заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.					1844				
		<b>Всего по разделу 3, рос.руб</b>					<b>79489</b>				
		<b>Раздел 4. Вариант 2.1 (1+2) профили 50 мм</b>									
34	ЕН10-94-3	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в один слой с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>23334.6</u> 23220.77	-	23335	23221	-	<u>306.06</u> -	<u>306.06</u> -
35	C181-2715	Профили ПС 50/50	м	241	<u>31.38</u> -	-	7563		-	-	-
36	C181-2714	Профили ПН 50/40	м	83	<u>44</u> -	-	3652		-	-	-
37	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u> -	-	20551		-	-	-
38	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	3730	<u>0.4</u> -	-	1492		-	-	-
39	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	-	219		-	-	-
40	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	-	288		-	-	-
41	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	73	<u>18.36</u> -	-	1340		-	-	-
42	C181-2748	Ленты армирующие	м	370	<u>1.27</u> -	-	470		-	-	-
43	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u> -	-	2827		-	-	-
44	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u> -	-	2700		-	-	-
45	ЕН15-63-1	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	<u>6444.56</u> 6061.28	<u>36.23</u> 28.76	6445	6061	<u>36</u> 29	<u>84.88</u> 0.3552	<u>84.88</u> 0.36
46	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	105	<u>97.86</u> -	-	10275		-	-	-



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
47	C1550-20	Смесь Knauf Perlfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/ м2) 2*100	кг	200	<u>18.01</u> -	-	3602		-	-	-
48	C181-2748	Ленты армирующие	м	88	<u>1.27</u> -	-	112		-	-	-
Итого прямые затраты по разделу 4, рос.руб							84871	29282	<u>36</u> 29		<u>390.94</u> 0.36
в том числе:							55552				
стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.							29311				
всего заработная плата, рос.руб.							13591				
Общепроизводственные расходы, рос.руб.							18.23				
трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч							2221				
заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.							98462				
<b>Всего по разделу 4, рос.руб</b>											
<b>Раздел 5. Вариант 2.2 (1+2) профили 75 мм</b>											
49	ЕН10-94-3	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в один слой с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>23334.6</u> 23220.77	-	23335	23221	-	<u>306.06</u> -	<u>306.06</u> -
50	C181-2715	Профили ПС 75/50	м	241	<u>35.67</u> -	-	8596		-	-	-
51	C181-2714	Профили ПН 75/40	м	83	<u>47.15</u> -	-	3913		-	-	-
52	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u> -	-	20551		-	-	-
53	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	3730	<u>0.4</u> -	-	1492		-	-	-
54	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	-	219		-	-	-
55	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	-	288		-	-	-
56	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	73	<u>18.36</u> -	-	1340		-	-	-
57	C181-2748	Ленты армирующие	м	370	<u>1.27</u> -	-	470		-	-	-
58	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u> -	-	2827		-	-	-
59	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u> -	-	2700		-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
60	ЕН15-63-1	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	<u>6444.56</u> 6061.28	<u>36.23</u> 28.76	6445	6061	<u>36</u> 29	<u>84.88</u> 0.3552	<u>84.88</u> 0.36
61	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	105	<u>97.86</u> -	- -	10275		- -	- -	- -
62	C1550-20	Смесь Knauf Perlfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/ м2) 2*100	кг	200	<u>18.01</u> -	- -	3602		- -	- -	- -
63	C181-2748	Ленты армирующие	м	88	<u>1.27</u> -	- -	112		- -	- -	- -
		Итого прямые затраты по разделу 5, рос.руб						86165	29282	<u>36</u> 29	<u>390.94</u> 0.36
		в том числе:									
		стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.						56846			
		всего заработная плата, рос.руб.						29311			
		Общепроизводственные расходы, рос.руб.						13591			
		трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч						18.23			
		заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.						2221			
		<b>Всего по разделу 5, рос.руб</b>						<b>99756</b>			
<b>Раздел 6. Вариант 2.3 (1+2) профили 100 мм</b>											
64	ЕН10-94-3	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в один слой с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>23334.6</u> 23220.77	- -	23335	23221	- -	<u>306.06</u> -	<u>306.06</u> -
65	C181-2715	Профили ПС 100/50	м	241	<u>42.67</u> -	- -	10283		- -	- -	- -
66	C181-2714	Профили ПН 100/40	м	83	<u>61</u> -	- -	5063		- -	- -	- -
67	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u> -	- -	20551		- -	- -	- -
68	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	3730	<u>0.4</u> -	- -	1492		- -	- -	- -
69	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	- -	219		- -	- -	- -
70	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	- -	288		- -	- -	- -
71	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	73	<u>18.36</u> -	- -	1340		- -	- -	- -
72	C181-2748	Ленты армирующие	м	370	<u>1.27</u> -	- -	470		- -	- -	- -

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
73	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u> -	-	2827		-	-	-
74	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u> -	-	2700		-	-	-
75	ЕН15-63-1	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	<u>6444.56</u> 6061.28	<u>36.23</u> 28.76	6445	6061	<u>36</u> 29	<u>84.88</u> 0.3552	<u>84.88</u> 0.36
76	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	105	<u>97.86</u> -	-	10275		-	-	-
77	C1550-20	Смесь Knauf Perlfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/ м2) 2*100	кг	200	<u>18.01</u> -	-	3602		-	-	-
78	C181-2748	Ленты армирующие	м	88	<u>1.27</u> -	-	112		-	-	-
Итого прямые затраты по разделу 6, рос.руб							89002	29282	<u>36</u>		<u>390.94</u>
в том числе:									29		0.36
стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.							59683				
всего заработная плата, рос.руб.							29311				
Общепроизводственные расходы, рос.руб.							13591				
трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч							18.23				
заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.							2221				
Всего по разделу 6, рос.руб							102593				
<b>Раздел 7. Вариант 3.1 (2+2) профили 50 мм</b>											
79	ЕН10-94-4	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом одноярусном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в два слоя с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>30568.62</u> 30389.73	-	30569	30390	-	<u>400.55</u> -	<u>400.55</u> -
80	C181-2715	Профили ПС 50/50	м	241	<u>31.38</u> -	-	7563		-	-	-
81	C181-2714	Профили ПН 50/40	м	83	<u>44</u> -	-	3652		-	-	-
82	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	420	<u>97.86</u> -	-	41101		-	-	-
83	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	5130	<u>0.4</u> -	-	2052		-	-	-
84	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	-	219		-	-	-
85	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	-	288		-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
86	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	121	<u>18.36</u>	-	2222		-	-	-
					-	-			-	-	-
87	C181-2748	Ленты армирующие	м	540	<u>1.27</u>	-	686		-	-	-
					-	-			-	-	-
88	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u>	-	2827		-	-	-
					-	-			-	-	-
89	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u>	-	2700		-	-	-
					-	-			-	-	-
Итого прямые затраты по разделу 7, рос.руб							93879	30390	<u>0</u>		<u>400.55</u>
в том числе:									0		0
стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.							63489				
всего заработная плата, рос.руб.							30390				
Общепроизводственные расходы, рос.руб.							14292				
трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч							19.82				
заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.							2413				
<b>Всего по разделу 7, рос.руб</b>							<b>108171</b>				
<b>Раздел 8. Вариант 3.2 (2+2) профили 75 мм</b>											
90	ЕН10-94-4	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в два слоя с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>30568.62</u>	-	30569	30390	-	<u>400.55</u>	<u>400.55</u>
					30389.73	-			-	-	-
91	C181-2715	Профили ПС 75/50	м	241	<u>35.67</u>	-	8596		-	-	-
					-	-			-	-	-
92	C181-2714	Профили ПН 75/40	м	83	<u>47.15</u>	-	3913		-	-	-
					-	-			-	-	-
93	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	420	<u>97.86</u>	-	41101		-	-	-
					-	-			-	-	-
94	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	5130	<u>0.4</u>	-	2052		-	-	-
					-	-			-	-	-
95	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u>	-	219		-	-	-
					-	-			-	-	-
96	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u>	-	288		-	-	-
					-	-			-	-	-
97	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	121	<u>18.36</u>	-	2222		-	-	-
					-	-			-	-	-
98	C181-2748	Ленты армирующие	м	540	<u>1.27</u>	-	686		-	-	-
					-	-			-	-	-
99	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u>	-	2827		-	-	-
					-	-			-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u> -	-	2700		-	-	-
		Итого прямые затраты по разделу 8, рос.руб					95173	30390	<u>0</u> 0		<u>400.55</u> 0
		в том числе:									
		стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.					64783				
		всего заработная плата, рос.руб.					30390				
		Общепроизводственные расходы, рос.руб.					14292				
		трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч					19.82				
		заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.					2413				
		<b>Всего по разделу 8, рос.руб</b>					<b>109465</b>				
<b>Раздел 9. Вариант 3.3 (2+2) профили 100 мм</b>											
101	ЕН10-94-4	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в два слоя с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>30568.62</u> 30389.73	-	30569	30390	-	<u>400.55</u> -	<u>400.55</u> -
102	C181-2715	Профили ПС 100/50	м	241	<u>42.67</u> -	-	10283		-	-	-
103	C181-2714	Профили ПН 100/40	м	83	<u>61</u> -	-	5063		-	-	-
104	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	420	<u>97.86</u> -	-	41101		-	-	-
105	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	5130	<u>0.4</u> -	-	2052		-	-	-
106	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	-	219		-	-	-
107	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	-	288		-	-	-
108	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	121	<u>18.36</u> -	-	2222		-	-	-
109	C181-2748	Ленты армирующие	м	540	<u>1.27</u> -	-	686		-	-	-
110	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u> -	-	2827		-	-	-
111	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u> -	-	2700		-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Итого прямые затраты по разделу 9, рос.руб					98010	30390	0		400.55
		в том числе:							0		0
		стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.					67620				
		всего заработная плата, рос.руб.					30390				
		Общепроизводственные расходы, рос.руб.					14292				
		трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч					19.82				
		заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.					2413				
		<b>Всего по разделу 9, рос.руб</b>					<b>112302</b>				
		<b>Раздел 10. Вариант 4.1 (2+3)</b>									
		<b>профили 50 мм</b>									
112	ЕН10-94-4	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в два слоя с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	30568.62 30389.73	- -	30569	30390	- -	400.55 -	400.55 -
113	C181-2715	Профили ПС 50/50	м	241	31.38 -	- -	7563		- -	- -	- -
114	C181-2714	Профили ПН 50/40	м	83	44 -	- -	3652		- -	- -	- -
115	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	420	97.86 -	- -	41101		- -	- -	- -
116	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	5130	0.4 -	- -	2052		- -	- -	- -
117	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	0.36 -	- -	219		- -	- -	- -
118	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	1.15 -	- -	288		- -	- -	- -
119	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	121	18.36 -	- -	2222		- -	- -	- -
120	C181-2748	Ленты армирующие	м	540	1.27 -	- -	686		- -	- -	- -
121	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	548.87 -	- -	2827		- -	- -	- -
122	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	18.75 -	- -	2700		- -	- -	- -
123	ЕН15-63-1	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	6444.56 6061.28	36.23 28.76	6445	6061	36 29	84.88 0.3552	84.88 0.36
124	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	105	97.86 -	- -	10275		- -	- -	- -
125	C1550-20	Смесь Knauf Perlfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/ м2) 2*100	кг	200	18.01 -	- -	3602		- -	- -	- -
126	C181-2748	Ленты армирующие	м	88	1.27 -	- -	112		- -	- -	- -

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Итого прямые затраты по разделу 10, рос.руб					114313	36451	36		485.43
		в том числе:							29		0.36
		стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.					77825				
		всего заработная плата, рос.руб.					36480				
		Общепроизводственные расходы, рос.руб.					16962				
		трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч					22.91				
		заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.					2790				
		<b>Всего по разделу 10, рос.руб</b>					<b>131275</b>				
		<b>Раздел 11. Вариант 4.2 (2+3)</b>									
		<b>профили 75 мм</b>									
127	ЕН10-94-4	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в два слоя с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>30568.62</u> 30389.73	-	30569	30390	-	<u>400.55</u> -	<u>400.55</u> -
128	C181-2715	Профили ПС 75/50	м	241	<u>35.67</u> -	-	8596		-	-	-
129	C181-2714	Профили ПН 75/40	м	83	<u>47.15</u> -	-	3913		-	-	-
130	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	420	<u>97.86</u> -	-	41101		-	-	-
131	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	5130	<u>0.4</u> -	-	2052		-	-	-
132	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	-	219		-	-	-
133	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	-	288		-	-	-
134	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	121	<u>18.36</u> -	-	2222		-	-	-
135	C181-2748	Ленты армирующие	м	540	<u>1.27</u> -	-	686		-	-	-
136	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u> -	-	2827		-	-	-
137	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u> -	-	2700		-	-	-
138	ЕН15-63-1	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	<u>6444.56</u> 6061.28	<u>36.23</u> 28.76	6445	6061	<u>36</u> 29	<u>84.88</u> 0.3552	<u>84.88</u> 0.36
139	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	105	<u>97.86</u> -	-	10275		-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
140	C1550-20	Смесь Knauf Perfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/ м2) 2*100	кг	200	<u>18.01</u> -	-	3602		-	-	-
141	C181-2748	Ленты армирующие	м	88	<u>1.27</u> -	-	112		-	-	-
Итого прямые затраты по разделу 11, рос.руб							115607	36451	<u>36</u> 29		<u>485.43</u> 0.36
в том числе:							79119				
стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.							36480				
всего заработная плата, рос.руб.							16962				
Общепроизводственные расходы, рос.руб.							22.91				
трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч							2790				
заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.							132569				
<b>Всего по разделу 11, рос.руб</b>											
<b>Раздел 12. Вариант 4.3 (2+3) профили 100 мм</b>											
142	ЕН10-94-4	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в два слоя с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>30568.62</u> 30389.73	-	30569	30390	-	<u>400.55</u> -	<u>400.55</u> -
143	C181-2715	Профили ПС 100/50	м	241	<u>42.67</u> -	-	10283		-	-	-
144	C181-2714	Профили ПН 100/40	м	83	<u>61</u> -	-	5063		-	-	-
145	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	420	<u>97.86</u> -	-	41101		-	-	-
146	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	5130	<u>0.4</u> -	-	2052		-	-	-
147	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	-	219		-	-	-
148	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	-	288		-	-	-
149	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	121	<u>18.36</u> -	-	2222		-	-	-
150	C181-2748	Ленты армирующие	м	540	<u>1.27</u> -	-	686		-	-	-
151	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u> -	-	2827		-	-	-
152	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u> -	-	2700		-	-	-



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
153	ЕН15-63-1	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	<u>6444.56</u> 6061.28	<u>36.23</u> 28.76	6445	6061	<u>36</u> 29	<u>84.88</u> 0.3552	<u>84.88</u> 0.36
154	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	105	<u>97.86</u> -	- -	10275		- -	- -	- -
155	C1550-20	Смесь Knauf Perlfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/ м2) 2*100	кг	200	<u>18.01</u> -	- -	3602		- -	- -	- -
156	C181-2748	Ленты армирующие	м	88	<u>1.27</u> -	- -	112		- -	- -	- -
		Итого прямые затраты по разделу 12, рос.руб						118444	36451	<u>36</u> 29	<u>485.43</u> 0.36
		в том числе:									
		стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.						81956			
		всего заработная плата, рос.руб.						36480			
		Общепроизводственные расходы, рос.руб.						16962			
		трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч						22.91			
		заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.						2790			
		<b>Всего по разделу 12, рос.руб</b>						<b>135406</b>			
<b>Раздел 13. Вариант 5.1 (3+3) профили 50 мм</b>											
157	ЕН10-94-4	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в два слоя с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>30568.62</u> 30389.73	- -	30569	30390	- -	<u>400.55</u> -	<u>400.55</u> -
158	C181-2715	Профили ПС 50/50	м	241	<u>31.38</u> -	- -	7563		- -	- -	- -
159	C181-2714	Профили ПН 50/40	м	83	<u>44</u> -	- -	3652		- -	- -	- -
160	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	420	<u>97.86</u> -	- -	41101		- -	- -	- -
161	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	5130	<u>0.4</u> -	- -	2052		- -	- -	- -
162	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	- -	219		- -	- -	- -
163	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	- -	288		- -	- -	- -
164	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	121	<u>18.36</u> -	- -	2222		- -	- -	- -
165	C181-2748	Ленты армирующие	м	540	<u>1.27</u> -	- -	686		- -	- -	- -

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
166	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u> -	-	2827		-	-	-
167	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u> -	-	2700		-	-	-
168	ЕН15-63-1 Крес=2;	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	<u>12889.13</u> 12122.56	<u>72.46</u> 57.53	12889	12123	<u>72</u> 58	<u>169.76</u> 0.7104	<u>169.76</u> 0.71
169	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u> -	-	20551		-	-	-
170	C1550-20	Смесь Knauf Perlfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/ м2) 2*100*2	кг	400	<u>18.01</u> -	-	7204		-	-	-
171	C181-2748	Ленты армирующие	м	176	<u>1.27</u> -	-	224		-	-	-
Итого прямые затраты по разделу 13, рос.руб в том числе:							134747	42513	<u>72</u> 58		<u>570.31</u> 0.71
стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.							92162				
всего заработная плата, рос.руб.							42571				
Общепроизводственные расходы, рос.руб.							19630				
трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч							26.01				
заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.							3166				
<b>Всего по разделу 13, рос.руб</b>							<b>154377</b>				
<b>Раздел 14. Вариант 5.2 (3+3) профили 75 мм</b>											
172	ЕН10-94-4	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом одноярусном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в два слоя с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>30568.62</u> 30389.73	-	30569	30390	-	<u>400.55</u> -	<u>400.55</u> -
173	C181-2715	Профили ПС 75/50	м	241	<u>35.67</u> -	-	8596		-	-	-
174	C181-2714	Профили ПН 75/40	м	83	<u>47.15</u> -	-	3913		-	-	-
175	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	420	<u>97.86</u> -	-	41101		-	-	-
176	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	5130	<u>0.4</u> -	-	2052		-	-	-
177	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	-	219		-	-	-
178	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	-	288		-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
179	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	121	<u>18.36</u>	-	2222	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
180	C181-2748	Ленты армирующие	м	540	<u>1.27</u>	-	686	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
181	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u>	-	2827	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
182	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u>	-	2700	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
183	ЕН15-63-1 Крес=2;	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	<u>12889.13</u> 12122.56	<u>72.46</u> 57.53	12889	12123	<u>72</u> 58	<u>169.76</u> 0.7104	<u>169.76</u> 0.71
184	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u>	-	20551	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
185	C1550-20	Смесь Кнауф Perlfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/ м2) 2*100*2	кг	400	<u>18.01</u>	-	7204	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
186	C181-2748	Ленты армирующие	м	176	<u>1.27</u>	-	224	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
Итого прямые затраты по разделу 14, рос.руб							136041	42513	<u>72</u>		<u>570.31</u>
в том числе:									58		0.71
стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.							93456				
всего заработная плата, рос.руб.							42571				
Общепроизводственные расходы, рос.руб.							19630				
трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч							26.01				
заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.							3166				
<b>Всего по разделу 14, рос.руб</b>							<b>155671</b>				
<b>Раздел 15. Вариант 5.3 (3+3)</b>											
<b>профили 100 мм</b>											
187	ЕН10-94-4	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом одноярусном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в два слоя с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>30568.62</u> 30389.73	-	30569	30390	-	<u>400.55</u>	<u>400.55</u>
						-			-	-	-
188	C181-2715	Профили ПС 100/50	м	241	<u>42.67</u>	-	10283	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
189	C181-2714	Профили ПН 100/40	м	83	<u>61</u>	-	5063	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
190	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	420	<u>97.86</u>	-	41101	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
191	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	5130	<u>0.4</u>	-	2052	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
192	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u>	-	219		-	-	-
					-	-			-	-	-
193	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u>	-	288		-	-	-
					-	-			-	-	-
194	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	121	<u>18.36</u>	-	2222		-	-	-
					-	-			-	-	-
195	C181-2748	Ленты армирующие	м	540	<u>1.27</u>	-	686		-	-	-
					-	-			-	-	-
196	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u>	-	2827		-	-	-
					-	-			-	-	-
197	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u>	-	2700		-	-	-
					-	-			-	-	-
198	ЕН15-63-1 Крес=2;	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	<u>12889.13</u> 12122.56	<u>72.46</u> 57.53	12889	12123	<u>72</u> 58	<u>169.76</u> 0.7104	<u>169.76</u> 0.71
199	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u>	-	20551		-	-	-
					-	-			-	-	-
200	C1550-20	Смесь Knauf Perlfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/ м2) 2*100*2	кг	400	<u>18.01</u>	-	7204		-	-	-
					-	-			-	-	-
201	C181-2748	Ленты армирующие	м	176	<u>1.27</u>	-	224		-	-	-
					-	-			-	-	-
Итого прямые затраты по разделу 15, рос.руб							138878	42513	<u>72</u>		<u>570.31</u>
в том числе:									58		0.71
стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.							96293				
всего заработная плата, рос.руб.							42571				
Общепроизводственные расходы, рос.руб.							19630				
трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч							26.01				
заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.							3166				
<b>Всего по разделу 15, рос.руб</b>							<b>158508</b>				
<b>Раздел 16. Вариант 6.1 (2+4) профили 50 мм</b>											
202	ЕН10-94-4	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в два слоя с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>30568.62</u> 30389.73	-	30569	30390	-	<u>400.55</u> -	<u>400.55</u> -
203	C181-2715	Профили ПС 50/50	м	241	<u>31.38</u>	-	7563		-	-	-
					-	-			-	-	-
204	C181-2714	Профили ПН 50/40	м	83	<u>44</u>	-	3652		-	-	-
					-	-			-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
205	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	420	<u>97.86</u>	-	41101	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
206	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	5130	<u>0.4</u>	-	2052	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
207	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u>	-	219	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
208	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u>	-	288	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
209	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	121	<u>18.36</u>	-	2222	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
210	C181-2748	Ленты армирующие	м	540	<u>1.27</u>	-	686	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
211	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u>	-	2827	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
212	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u>	-	2700	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
213	ЕН15-63-1 Крес=2;	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	<u>12889.13</u>	<u>72.46</u>	12889	12123	<u>72</u>	<u>169.76</u>	<u>169.76</u>
					12122.56	57.53			58	0.7104	0.71
214	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u>	-	20551	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
215	C1550-20	Смесь Knauf Perlfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/ м2) 2*100*2	кг	400	<u>18.01</u>	-	7204	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
216	C181-2748	Ленты армирующие	м	176	<u>1.27</u>	-	224	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
Итого прямые затраты по разделу 16, рос.руб							134747	42513	<u>72</u>		<u>570.31</u>
в том числе:									58		0.71
стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.							92162				
всего заработная плата, рос.руб.							42571				
Общепроизводственные расходы, рос.руб.							19630				
трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч							26.01				
заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.							3166				
<b>Всего по разделу 16, рос.руб</b>							<b>154377</b>				
<b>Раздел 17. Вариант 6.2 (2+4) профили 75 мм</b>											
217	ЕН10-94-4	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в два слоя с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>30568.62</u>	-	30569	30390	-	<u>400.55</u>	<u>400.55</u>
					30389.73	-			-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
218	C181-2715	Профили ПС 75/50	м	241	<u>35.67</u>	-	8596	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
219	C181-2714	Профили ПН 75/40	м	83	<u>47.15</u>	-	3913	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
220	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	420	<u>97.86</u>	-	41101	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
221	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	5130	<u>0.4</u>	-	2052	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
222	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u>	-	219	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
223	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u>	-	288	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
224	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	121	<u>18.36</u>	-	2222	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
225	C181-2748	Ленты армирующие	м	540	<u>1.27</u>	-	686	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
226	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u>	-	2827	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
227	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u>	-	2700	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
228	ЕН15-63-1 Крес=2;	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	<u>12889.13</u> 12122.56	<u>72.46</u> 57.53	12889	12123	<u>72</u> 58	<u>169.76</u> 0.7104	<u>169.76</u> 0.71
229	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u>	-	20551	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
230	C1550-20	Смесь Knauf Perfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/ м2) 2*100*2	кг	400	<u>18.01</u>	-	7204	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
231	C181-2748	Ленты армирующие	м	176	<u>1.27</u>	-	224	-	-	-	-
					-	-		-	-	-	-
Итого прямые затраты по разделу 17, рос.руб							136041	42513	<u>72</u>		<u>570.31</u>
в том числе:									58		0.71
стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.							93456				
всего заработная плата, рос.руб.							42571				
Общепроизводственные расходы, рос.руб.							19630				
трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч							26.01				
заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.							3166				
<b>Всего по разделу 17, рос.руб</b>							<b>155671</b>				
<b>Раздел 18. Вариант 6.3 (2+4)</b>											
<b>профили 100 мм</b>											

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
232	ЕН10-94-4	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в два слоя с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>30568.62</u> 30389.73	- -	30569	30390	- -	<u>400.55</u> -	<u>400.55</u> -
233	C181-2715	Профили ПС 100/50	м	241	<u>42.67</u> -	- -	10283		- -	- -	- -
234	C181-2714	Профили ПН 100/40	м	83	<u>61</u> -	- -	5063		- -	- -	- -
235	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	420	<u>97.86</u> -	- -	41101		- -	- -	- -
236	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	5130	<u>0.4</u> -	- -	2052		- -	- -	- -
237	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	- -	219		- -	- -	- -
238	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	- -	288		- -	- -	- -
239	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	121	<u>18.36</u> -	- -	2222		- -	- -	- -
240	C181-2748	Ленты армирующие	м	540	<u>1.27</u> -	- -	686		- -	- -	- -
241	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u> -	- -	2827		- -	- -	- -
242	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u> -	- -	2700		- -	- -	- -
243	ЕН15-63-1 Крес=2;	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	<u>12889.13</u> 12122.56	<u>72.46</u> 57.53	12889	12123	<u>72</u> 58	<u>169.76</u> 0.7104	<u>169.76</u> 0.71
244	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u> -	- -	20551		- -	- -	- -
245	C1550-20	Смесь Knauf Perlfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/ м2) 2*100*2	кг	400	<u>18.01</u> -	- -	7204		- -	- -	- -
246	C181-2748	Ленты армирующие	м	176	<u>1.27</u> -	- -	224		- -	- -	- -

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Итого прямые затраты по разделу 18, рос.руб					138878	42513	<u>72</u>		<u>570.31</u>
		в том числе:							58		0.71
		стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.					96293				
		всего заработная плата, рос.руб.					42571				
		Общепроизводственные расходы, рос.руб.					19630				
		трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч					26.01				
		заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.					3166				
		<b>Всего по разделу 18, рос.руб</b>					<b>158508</b>				
		<b>Раздел 19. Вариант 7.1 (1+3) профили 50 мм</b>									
247	ЕН10-94-3	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в один слой с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>23334.6</u> 23220.77	- -	23335	23221	- -	<u>306.06</u> -	<u>306.06</u> -
248	C181-2715	Профили ПС 50/50	м	241	<u>31.38</u> -	- -	7563		- -	- -	- -
249	C181-2714	Профили ПН 50/40	м	83	<u>44</u> -	- -	3652		- -	- -	- -
250	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u> -	- -	20551		- -	- -	- -
251	C181-2614	Саморезы CM1-35	шт	3730	<u>0.4</u> -	- -	1492		- -	- -	- -
252	C181-2730	Саморезы 3,5x9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	- -	219		- -	- -	- -
253	C181-2631	Дюбели 4x100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	- -	288		- -	- -	- -
254	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	73	<u>18.36</u> -	- -	1340		- -	- -	- -
255	C181-2748	Ленты армирующие	м	370	<u>1.27</u> -	- -	470		- -	- -	- -
256	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u> -	- -	2827		- -	- -	- -
257	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u> -	- -	2700		- -	- -	- -
258	ЕН15-63-1 Крес=2;	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	<u>12889.13</u> 12122.56	<u>72.46</u> 57.53	12889	12123	<u>72</u> 58	<u>169.76</u> 0.7104	<u>169.76</u> 0.71
259	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u> -	- -	20551		- -	- -	- -
260	C1550-20	Смесь Knauf Perlfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/ м2)2*100*2	кг	400	<u>18.01</u> -	- -	7204		- -	- -	- -



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
261	C181-2748	Ленты армирующие	м	176	<u>1.27</u>	-	224		-	-	-
					-	-			-	-	-
		Итого прямые затраты по разделу 19, рос.руб					105305	35344	<u>72</u>		<u>475.82</u>
		в том числе:							58		0.71
		стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.					69889				
		всего заработная плата, рос.руб.					35402				
		Общепроизводственные расходы, рос.руб.					16259				
		трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч					21.33				
		заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.					2597				
		<b>Всего по разделу 19, рос.руб</b>					<b>121564</b>				
<b>Раздел 20. Вариант 7.2 (1+3)</b>											
<b>профили 75 мм</b>											
262	ЕН10-94-3	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в один слой с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>23334.6</u> 23220.77	-	23335	23221	-	<u>306.06</u>	<u>306.06</u>
						-			-	-	-
263	C181-2715	Профили ПС 75/50	м	241	<u>35.67</u>	-	8596		-	-	-
					-	-			-	-	-
264	C181-2714	Профили ПН 75/40	м	83	<u>47.15</u>	-	3913		-	-	-
					-	-			-	-	-
265	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u>	-	20551		-	-	-
					-	-			-	-	-
266	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	3730	<u>0.4</u>	-	1492		-	-	-
					-	-			-	-	-
267	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u>	-	219		-	-	-
					-	-			-	-	-
268	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u>	-	288		-	-	-
					-	-			-	-	-
269	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	73	<u>18.36</u>	-	1340		-	-	-
					-	-			-	-	-
270	C181-2748	Ленты армирующие	м	370	<u>1.27</u>	-	470		-	-	-
					-	-			-	-	-
271	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u>	-	2827		-	-	-
					-	-			-	-	-
272	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u>	-	2700		-	-	-
					-	-			-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
273	ЕН15-63-1 Крес=2;	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	<u>12889.13</u> 12122.56	<u>72.46</u> 57.53	12889	12123	<u>72</u> 58	<u>169.76</u> 0.7104	<u>169.76</u> 0.71
274	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u> -	-	20551	-	-	-	-
275	C1550-20	Смесь Knauf Perlfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/м2)2*100*2	кг	400	<u>18.01</u> -	-	7204	-	-	-	-
276	C181-2748	Ленты армирующие	м	176	<u>1.27</u> -	-	224	-	-	-	-
Итого прямые затраты по разделу 20, рос.руб							106599	35344	<u>72</u> 58		<u>475.82</u> 0.71
в том числе:											
стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.							71183				
всего заработная плата, рос.руб.							35402				
Общепроизводственные расходы, рос.руб.							16259				
трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч							21.33				
заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.							2597				
Всего по разделу 20, рос.руб							122858				
Раздел 21. Вариант 7.3 (1+3) профили 100 мм											
277	ЕН10-94-3	Устройство перегородок в жилых и общественных зданиях на металлическом однорядном каркасе с обшивкой гипсокартонными листами или гипсоволокнистыми плитами в один слой с изоляцией	100 м2 перегородок за вычетом проемов	1	<u>23334.6</u> 23220.77	-	23335	23221	-	<u>306.06</u> -	<u>306.06</u> -
278	C181-2715	Профили ПС 100/50	м	241	<u>42.67</u> -	-	10283	-	-	-	-
279	C181-2714	Профили ПН 100/40	м	83	<u>61</u> -	-	5063	-	-	-	-
280	C191-1804-4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u> -	-	20551	-	-	-	-
281	C181-2614	Саморезы СМ1-35	шт	3730	<u>0.4</u> -	-	1492	-	-	-	-
282	C181-2730	Саморезы 3,5х9, 5 мм	шт	607	<u>0.36</u> -	-	219	-	-	-	-
283	C181-2631	Дюбели 4х100 мм	шт	250	<u>1.15</u> -	-	288	-	-	-	-
284	C181-2772	Шпаклевка «Фюгенфюллер»	кг	73	<u>18.36</u> -	-	1340	-	-	-	-
285	C181-2748	Ленты армирующие	м	370	<u>1.27</u> -	-	470	-	-	-	-
286	C114-8-У	Плиты минераловатные плотностью 13 кг/м3, толщиной 50 мм	м3	5.15	<u>548.87</u> -	-	2827	-	-	-	-
287	C181-2654	Звукоизоляционная самоклеющаяся полоса из пенополиуретана	пог. м	144	<u>18.75</u> -	-	2700	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
288	ЕН15-63-1 Крес=2;	Устройство обшивки стен и перегородок гипсокартонными и гипсоволокнистыми листами на клею	100 м2 поверхности отделки	1	<u>12889.13</u> 12122.56	<u>72.46</u> 57.53	12889	12123	<u>72</u> 58	<u>169.76</u> 0.7104	<u>169.76</u> 0.71
289	C191-1804- 4332	Листы гипсокартонные толщ. 12,5 мм	м2	210	<u>97.86</u> -	-	20551		-	-	-
290	C1550-20	Смесь Knauf Perlfix для приклеивания ГКЛ (2 кг/ м2) 2*100*2	кг	400	<u>18.01</u> -	-	7204		-	-	-
291	C181-2748	Ленты армирующие	м	176	<u>1.27</u> -	-	224		-	-	-
Итого прямые затраты по разделу 21, рос.руб							109436	35344	<u>72</u> 58		<u>475.82</u> 0.71
в том числе:											
стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.							74020				
всего заработная плата, рос.руб.							35402				
Общепроизводственные расходы, рос.руб.							16259				
трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч							21.33				
заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.							2597				
<b>Всего по разделу 21, рос.руб</b>							<b>125695</b>				

<b>Всего по смете</b>	<b>2768121</b>	<b>860985</b>	<b>864</b> <b>696</b>	<b>11467.8</b> <b>8.55</b>
<b>Итого прямые затраты по смете, рос.руб.</b>	<b>2768121</b>			
в том числе:				
стоимость материалов, изделий и конструкций, рос.руб.	1906266			
заработная плата, рос.руб.	861681			
в т.ч. заработная плата рабочих, рос.руб.	860985			
в т.ч. заработная плата машинистов, рос.руб.	696			
<b>Общепроизводственные расходы, рос.руб.</b>	<b>400563</b>			
трудоемкость в общепроизводственных расходах, чел-ч.	540.84			
заработная плата в общепроизводственных расходах, рос.руб.	65853			
<b>Всего сметная стоимость, рос.руб.</b>	<b>3168684</b>			
Сметная трудоемкость, чел-ч.	12017.19			
Сметная заработная плата, рос.руб.	927534			

Составил \_\_\_\_\_  
(должность, подпись (инициалы, фамилия))

Проверил \_\_\_\_\_  
(должность, подпись (инициалы, фамилия))