

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

Институт компьютерных и инженерных наук  
Кафедра информационных и управляющих систем  
Направление подготовки 09.03.02. – Информационные системы и технологии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ А.В. Бушманов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Исследование звукоизоляции помещения для конфиденциальных переговоров

Исполнитель студент группы 0104-об	_____	М.Ф. Ключкин
	(подпись, дата)	
Руководитель доцент, канд.техн.наук	_____	А.В. Бушманов
	(подпись, дата)	
Консультант по безопасности и экологичности доцент, канд.техн.наук	_____	А.Б. Булгаков
	(подпись, дата)	
Нормоконтроль инженер кафедры	_____	В.Н. Адаменко
	(подпись, дата)	

Благовещенск 2024

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

Институт компьютерных и инженерных наук  
Кафедра информационных и управляющих систем  
Направление подготовки 09.03.02. – Информационные системы и технологии

УТВЕРЖДАЮ

Зав. Кафедрой

\_\_\_\_\_ А.В. Бушманов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023г

**ЗАДАНИЕ**

К выпускной квалификационной работе студента: Ключкина М. Ф.

1. Тема выпускной квалификационной работы: Исследование звукоизоляции помещения для конфиденциальных переговоров

(утверждена приказом 03.04.2024 №890-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта): 18.06.2024

3. Содержание выпускной квалификационной работы: основные сведения об звукоизоляции помещения для конфиденциальных переговоров, экспериментальное исследование акустической защиты помещения, разработка модели исследуемого помещения, обоснование мер по обеспечению безопасности и экологичности

4. Перечень материалов приложения: техническое задание

5. Дата выдачи задания: 02.10.2023

Руководитель выпускной квалификационной работы: Бушманов Александр Вениаминович заведующего кафедрой ИиУС, канд. техн. наук, доцент

(фамилия, имя, отчество, должность, уч. степень, уч. звание)

Задание принял к исполнению: 02.10.2023

\_\_\_\_\_ Ключкин М.Ф.

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 93 страницы, 26 рисунков, 16 таблиц, 1 приложение, 25 источников.

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ, АКУСТИКА, АКУСТИЧЕСКИЙ КАНАЛ, КОНФИДЕНЦИАЛЬНЫЕ ПЕРЕГОВОРЫ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, УТЕЧКА ИНФОРМАЦИИ, ШУМОИЗЛУЧЕНИЕ, МЕТОД ПОКРОВСКОГО, COMSOL, STL, УРАВНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИФФУЗИИ, РАЗБОРЧИВОСТЬ РЕЧИ, УРОВЕНЬ ЗВУКА, РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА

В данной работе исследуется помещение для проведения конфиденциальных переговоров. Цель исследования – моделирование процесса шумоизлучения в помещении для конфиденциальных переговоров с помощью программного пакета моделирования и расчёта акустических задач.

Объектом исследования является помещения для конфиденциальных переговоров; предметом исследования является места нарушения звукоизоляции.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ИБ – информационная безопасность;

УРС по ЧП – уровень речевого сигнала по частотным полосам;

УШ по ЧП – уровень шума по частотным полосам;

С/Ш – отношение речевого сигнала к шуму;

НГЧП – нижняя граница частотной полосы;

ВГЧП – верхняя граница частотной полосы;

ФП – формантный параметр;

СИАР – спектральный индекс артикуляции (понятности) речи;

ИИАР – интегральный индекс артикуляции (понятности) речи;

STL – потери при передаче звука (в англ. Sound Loss Transmission).

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Основные сведения о звукоизоляции и утечке информации	10
1.1 Разновидности потенциальных угроз утечки информации	10
1.2 Анализ существующих подходов решения рассматриваемой проблематики	21
1.2.1 Формантный подход измерения разборчивости речи	21
1.2.2 Метод измерения разборчивости речи Н.Б. Покровского	23
1.2.3 Уравнение акустической диффузии	25
1.3 Постановка исследовательской задачи	26
2 Экспериментальное исследование звукоизоляции	30
2.1 Описание комплекта программно-технических средств, применяемых в эксперименте	30
2.2 Анализ строительных конструкций помещения	34
2.3 Расчёт разборчивости речи	35
3 Разработка модели исследуемого помещения	43
3.1 Обоснование выбора программного продукта	43
3.2 Описание математических процедур	44
3.3 Общие сведения о методе конечных элементов	47
3.3.1 Концепция метода конечных элементов	49
3.3.2 Преимущества и недостатки метода конечных элементов	51
3.4 Построение 3D-модели помещения	51
3.5 Задание параметров источников звука	53
3.6 Выбор методов измерения шума	56
3.7 Разбиение объектов помещения на сетку ячеек	59
3.8 Проведение расчётов распространения звука и результаты	61
3.9 Итоговый сравнительный анализ	63
3.10 Исследование STL бетонной стены	63

3.11 Рекомендации по улучшению звукоизоляции помещения	67
4 Безопасность и экологичность	69
4.1 Безопасность	69
4.2 Экологичность	76
4.3 Чрезвычайные ситуации	79
Заключение	83
Библиографический список	85
Приложение А Техническое задание	88

## ВВЕДЕНИЕ

В данном исследовании рассматривается помещение, предназначенное для проведения конфиденциальных переговоров. Цель исследования заключается в создании модели процесса шумоизлучения в таких помещениях с использованием программного пакета для моделирования и расчета акустических задач. Объектом исследования является кабинет, где проводятся переговоры, а предметом исследования – места нарушения звукоизоляции.

Несмотря на то, что звукоизоляция помещений является известной технологией, специфика конфиденциальных переговоров требует особого подхода. Важно не только обеспечить высокую степень звукоизоляции, но и учесть возможные методы прослушивания и записи, которые могут быть использованы для нарушения конфиденциальности. Развитие же современных технологий прослушивания и записи аудио создает необходимость в разработке более эффективных методов звукоизоляции. Существующие стандарты и нормативы не всегда учитывают возможности современных устройств, способных проникать через преграды и записывать звук. Поэтому исследование новых материалов, конструкций и технологий звукоизоляции помещений для конфиденциальных переговоров является необходимостью.

Методы акустического исследования включают методы измерения разборчивости речи, такие как метод Покровского, образцовый метод, формантный метод, а также акустическое уравнение диффузии. Начальные данные для исследования были получены экспериментальным путем, включая измерение интенсивности звука в различных ситуациях с помощью специализированного микрофона TMS320D20, входящего в состав анализатора спектра «Тритон», а также анализ конструкций помещения. Следующим этапом исследования является расчет разборчивости речи на основе полученных ранее данных в помещении для конфиденциальных переговоров. С использованием программного обеспечения версии 6.2 «COMSOL Multiphysics» разработана

трехмерная модель исследуемого помещения для конфиденциальных переговоров, включающая стены, мебель и другие элементы, с заданными физическими свойствами материалов, после чего проводится моделирование процесса шумоизлучения.

Далее произведён анализ и сравнение результатов, полученных экспериментальным путём и с помощью моделирования процесса шумоизлучения, что позволило разработать новый метод оценки защиты информации по акустическим каналам связи при использовании только программного пакета.

В конечном результате исследования предложена 3D-модель с реализованными методами защиты информации.

Защита информации при проведении конфиденциальных переговоров с участием посторонних корпораций и организаций занимает достаточно высокое место в современном конкурентном мире бизнеса и является одной из основных функций по обеспечению информационной безопасности, то есть обнаружение и своевременная нейтрализация вероятных каналов утечки акустической информации. Поскольку коммерческий шпионаж набирает тенденцию, как и в малых аспектах бизнеса так и более крупных выходящих на мировой уровень.

Отсюда вытекает вывод: защищённая информационная – залог успеха развития экономического рынка и общества в целом. Проблема защиты конфиденциальных переговоров решается комплексно, что существенно снижает риск утечки информации к нулю.

В комплексный подход защиты от утечки информации по акустическим каналам в помещениях для конфиденциальных переговоров входят следующие этапы:

- инженерный анализ строительных конструкций;
- выявление естественных и искусственных каналов утечки информации по акустическим каналам;
- выполнение расчёта на основе полученных данных (метод Покров



ского, образцовый метод, метод формантной разборчивости);

– выявление уязвимых мест;

– выбор методов защиты.

Моделирование проекта шумоизлучения имеет следующие этапы:

– постановка акустической задачи;

– проектирование 3D-модели на основе полученных данных;

– выполнение расчёта;

– анализ результата.

# 1 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ И УТЕЧКЕ ИНФОРМАЦИИ

В данном разделе исследования изучаются потенциальные виды угроз безопасности звуковой информации в помещении для конфиденциальных переговоров, а также перечень имеющихся подходов к решению данной проблемы. На основе этого представлено общее формулирование задачи бакалаврского исследования.

## 1.1 Разновидности потенциальных угроз утечки информации

Оценка уровня утечки информации по акустическим каналам и принятие соответствующих мер защиты зависит от требований безопасности информации и от его расположения помещения и архитектурно-строительной конструкции, а также от формы представления информации во время проведения совещаний, от типов радио- и электроаппаратуры, размещённых в помещении.

Акустический канал утечки информации состоит из трёх составляющих:

- источник опасного сигнала;
- физическая среда распространения источника опасного сигнала (воздух, вода, земля, строительные и другие конструкции);
- средство его приёма, определяющее физический путь, по которому злоумышленник обеспечивает несанкционированное получение.

Необходимо отметить, что у человека имеется врожденный орган восприятия звуковой информации, который является ухом. Однако современные технологии позволяют значительно усилить возможности этого органа. Акустический канал утечки информации может возникать из-за физических полей, сопровождающих работу объекта, или быть специально созданным злоумышленником:

- обсуждение, передача и обработка информации связаны с возникно-

вением соответствующих физических полей (звуковых, гидроакустических, электромагнитных, магнитных) и сред, которые могут привести к утечке информации, включая конфиденциальную. При этом информация может быть перехвачена как непосредственно из этих сопровождающих полей, так и через поля, возникающие в других средах, не содержащих конфиденциальную информацию, но находящихся под воздействием полей от сред с конфиденциальной информацией;

– акустический канал утечки информации может быть создан злоумышленником с помощью специализированных технических средств, которые позволяют преобразовать конфиденциальную информацию для оптимальной передачи с объекта. Например, радиозакладные устройства могут преобразовывать конфиденциальную акустическую информацию в радиоволновой диапазон, значительно увеличивая дальность передачи;

– получение доступа к конфиденциальной информации объекта возможно путем извлечения этой информации из отраженного сигнала. Злоумышленник выбирает параметры облучаемого сигнала, такие как вид модуляции, частота и мощность, с целью оптимального получения необходимой информации;

– получение информации о наблюдаемом объекте может осуществляться путем излучения и анализа воздействия этого объекта на окружающие физические поля и среды. Например, изменение состояния таких полей, как магнитное и электромагнитное, может предоставить информацию о перемещении объекта и его воздействии на окружающую среду.

Необходимыми условиями для осуществления акустического канала утечки являются соблюдение энергетических и временных соотношений в точке приема сигнала:

$$P_{ак}/P_{ш} > (P_{ак}/P_{ш})_{пред}, \quad (1)$$

где  $P_{ак}$  – мощность информационного акустического сигнала в точке

его приёма;

$P_{ш}$  – мощность шумов в месте приёма;

$(P_{ак}/P_{ш})_{пред}$  – минимальное соотношение мощности акустического сигнала к мощности шумов в точке приёма, при котором сигнал ещё может быть перехвачен соответствующим специальным техническим средством.

$$T_{раб} = t_{мер}, \quad (2)$$

где  $T_{раб}$  – время работы приёмного устройства;

$t_{мер}$  – время излучение опасного сигнала.

В энергетических условиях приема опасного сигнала, в некоторых случаях, также учитывается взаимное расположение источника конфиденциальной информации и технического средства для её приема. Это может включать анализ совпадения или несовпадения максимумов диаграмм направленности антенных устройств источника и технического средства, а также совпадение поляризаций.

Принимая во внимание физические особенности акустической волны как механической волны, существует разнообразие типов каналов утечки информации. В контексте акустического сигнала можно рассмотреть следующие каналы утечки информации:

- канал утечки акустической информации через воздушную волну;
- канал утечки акустической информации через структурную волну;
- канал утечки акустической информации с использованием облучающих сигналов;
- канал утечки акустической информации с использованием акусто-электрических преобразователей;
- канал утечки акустической информации с помощью закладных устройств.

Утечка информационного акустического сигнала может осуществляться за счёт воздушной акустической волны. В этом случае в качестве техниче-

ского средства перехвата может служить человеческое ухо, микрофон, направленный микрофон.

Утечка волны, преобразованной из воздушной в структурную (вибрационную), может быть перехвачена непосредственно с поверхностей или конструкций (например, стен, труб, окон и т.д.) с помощью стетоскопов.

Принимая во внимание характеристики звуковой волны в качестве механической, возможен канал утечки информации, использующий облучающие сигналы. В этом случае злоумышленник освещает тонкую перегородку (например, окно, лампочку и т.д.) лазерным или высокочастотным сигналом. Отраженный сигнал будет модулирован механическими колебаниями тонкой перегородки, полностью воспроизводящими акустический информационный сигнал, действующий на данную перегородку.

Утечка акустической информации может произойти в результате воздействия акустического сигнала на индуктивные катушки, элементы телефонного аппарата, вторичные часы и другие устройства. В этом случае информационный акустический сигнал, преобразованный в электрический, может распространяться на большие расстояния. Также информативный акустический сигнал может быть перехвачен с помощью закладных (радиозакладных) устройств и передан злоумышленнику.

Каждый из потенциальных каналов утечки информации имеет уникальную физическую основу своего создания, и для его нейтрализации, то есть для защиты источника, требуется нарушение энергетических и временных условий, при которых канал утечки существует. Это достигается с помощью применения различных средств защиты, которые основываются на различных физических принципах.

Возможности утечки информации с переговоров зависят от множества факторов, включая:

- способность злоумышленников организовать каналы утечки информации;

– условия, в которых осуществляется разведывательный контакт через определенный канал утечки информации.

Осознание этих факторов позволяет принять соответствующие меры по обеспечению защиты и предотвращению утечки конфиденциальной информации.

Канал утечки конфиденциальной информации представляет собой физический механизм, посредством которого несанкционированный доступ к ограниченным данным может быть осуществлен от источника коммерческой тайны до злоумышленника. Для установления такого канала утечки информации требуются определенные энергетические, пространственные и временные условия, а также соответствующие технические средства для восприятия и регистрации информации.

Во время проведения переговоров основными угрозами безопасности информации являются:

– подслушивание и несанкционированная запись речевой информации с использованием закладных устройств, систем лазерного подслушивания, стетоскопов, диктофонов;

– регистрация на неконтролируемой территории путем использования радиомикрофонов участниками, которые действуют по агентурному заданию;

– перехват электромагнитных излучений от звукозаписывающих устройств и электроприборов.

Данные риски могут привести к компрометации конфиденциальной информации, поэтому требуются соответствующие меры по обеспечению безопасности и предотвращению утечки данных.

Такие угрозы безопасности информации как изменение и уничтожение в данном квалификационном исследовании не релевантны.

Излияние акустической информации возможно через входные двери, окна, стены, полы, потолки и радиаторы центрального отопления.

Источниками опасных сигналов в форме радиоволн или электрических сигналов могут являться аудиоусилители и устройства для записи звука, датчики охранной сигнализации, различные электронные приборы, размещенные в помещении для переговоров.

Присутствие специалистов из другой организации увеличивает возможность возникновения дополнительных каналов утечки информации, то есть злоумышленник может получить доступ к информации о происходящем на переговорах путем найма кого-либо из присутствующих на нем.

Большая часть информации на совещании представлена в форме устной речи. Речь, создающая акустические сигналы, является механическими колебаниями воздушной среды, которые распространяются равномерно во все направления от источника звука. Когда эти колебания попадают на твердые поверхности в комнате, они превращаются в структурные (вибрационные) сигналы, которые, сохраняя свою механическую природу, распространяются через строительные конструкции здания на значительные расстояния. Это предоставляет злоумышленнику возможность получать информацию, передаваемую не только звуковыми волнами, но и структурными колебаниями.

В акустическом канале можно выделить следующие пути распространения звуковой волны: воздушная среда в комнате, смежные стены, тонкие перегородки между комнатой для проведения переговоров и другим кабинетом, двери, вентиляционные воздуховоды.

Структурный звук может также распространяться через стены, перегородки, оконные рамы, дверные коробки, трубопроводы и вентиляционные короба.

Угрозу безопасности речевой информации может представлять подслушивание, которое может быть осуществлено как непосредственно, так и с использованием технических средств.

Варианты подслушивания можно разделить на следующие типы:

– непосредственное подслушивание злоумышленником, которое включает подслушивание и запоминание информации, а также подслушивание и запись;

– подслушивание при помощи технических средств, включающее перехват структурного звука, распространяющегося в трубах отопления и конструкциях здания, использование акустических закладных устройств, перехват опасных сигналов от технических средств, а также подслушивание с использованием лазерных систем.

При подслушивании непосредственно злоумышленником акустические каналы, распространяющиеся по помещению, а также через окна, двери, вентиляцию, принимаются слуховой системой злоумышленника. В данном случае возможны следующие варианты подслушивания во время проведения переговоров:

- подслушивание через дверь;
- подслушивание через окно (в случае, если оно неплотно закрыто);
- подслушивание через вентиляционное отверстие.

Отдельно необходимо выделить вариант, когда злоумышленник является участником совещания. В данной ситуации крайне сложно найти решение проблемы, так как в случае неиспользования злоумышленником специальной аппаратуры, невозможно обвинить его в преступлении. Таким образом, при составлении списка участников переговоров, составляющие его сотрудники должны тщательно проверять кандидатуру каждого участника и его личные качества.

При непосредственном прослушивании злоумышленником также может вестись регистрация прослушиваемой информации. Подобный вариант может быть осуществлен путем простой записи на бумажный носитель, при нахождении злоумышленника в соседней комнате.

Осуществление прослушивания непосредственно через входную дверь представляет собой более сложную задачу, поскольку в рабочее время в ко-



ридоре могут присутствовать сотрудники и охрана, и такое поведение, естественно, привлечет их внимание, даже если злоумышленником является сотрудник организации.

В ситуации, когда злоумышленник является участником совещания, проведение каких-либо записей невозможно, поскольку все участники находятся под пристальным взглядом друг друга, и при обсуждении конфиденциальной информации участники предупреждаются заранее о запрете делать записи во время переговоров.

В настоящее время широко используется значительное количество скрытых устройств. Такие устройства размещаются злоумышленниками или соучастниками, нанятых внутри организации, перед проведением прослушивания. Эти действия осуществляются путем проникновения в помещение в то время, когда злоумышленник может быть оставлен без присутствия других людей. Предлогами для таких действий могут быть, например, уборка помещений, ремонт аудиооборудования и другие подобные мероприятия.

Технические средства, используемые для подслушивания информации в акустическом канале, можно классифицировать следующим образом:

- радиозакладки;
- микрофоны, в том числе направленные микрофоны;
- диктофоны;
- лазерные системы подслушивания.

Наиболее распространенным способом несанкционированного получения конфиденциальной информации являются закладные радиоустройства (радиозакладки). В состав простейших радиозакладок входят три основных узла:

- микрофон, определяющий зону акустической чувствительности радиозакладки;
- радиопередатчик, определяющий дальность её действия и скрытость работы;

– источник питания, от которого зависит продолжительность её работы.

По целевому назначению выделяют два вида радиозакладок:

– акустические (чувствительные в основном к действию звуковых колебаний воздуха и предназначенные для восприятия речевых или звуковых сигналов);

– контактные (вибрационные), преобразующие в электрические сигналы колебания, возникающие под действием звука или механического воздействия разнообразных жёстких конструкций.

В помещении для проведения переговоров установка скрытых микрофонов представляет себе сложную задачу, поскольку в комнате отсутствуют крупные предметы интерьера, которые можно использовать для скрытия таких устройств. Кроме того, установка данных устройств требует определённого времени и отсутствия посторонних лиц в комнате.

Установка радиозакладок в комнате для проведения переговоров является более простой и компактной по сравнению с микрофонными устройствами. В отличие от микрофонных устройств, установка радиозакладок возможна даже в присутствии посторонних лиц в помещении. Радиозакладки могут быть размещены в различных местах комнаты, таких как ящик стола, ножка стула, щели подвесного потолка, угол комнаты под ковром или даже в цветочном горшке. Кроме того, для подслушивания можно использовать как обычный бытовой диктофон, так и специальные устройства.

В данном случае, если злоумышленник является участником переговоров и приносит с собой диктофон, одним из решений проблемы может быть использование технических средств для дистанционного обнаружения работающих акустических записывающих устройств. Такие средства могут быть способны обнаруживать опасные сигналы, включая диктофоны, без необходимости проведения личного досмотра или обыска каждого участника переговоров. Это позволяет избежать эстетических и дипломатических проблем,

связанных с проведением личного досмотра.

Возможной ситуацией является дистанционная установка радиозакладки злоумышленником во время совещания.

Лазерное подслушивание представляет относительно новую технологию, при которой акустическая информация считывается с поверхностей, вибрирующих под воздействием звуковых волн. В случае комнаты для переговоров, такими поверхностями могут быть закрытые стекла окон. Лазерный луч направляется на окно помещения, и при отражении от вибрирующей под действием звукового сигнала поверхности происходит модуляция направления и фазы лазерного луча. Отраженный луч затем может быть принят оптическим приемником. Аппаратура – источник луча и приемник – может быть помещена в доме, стоящем напротив окон исследуемого помещения.

Звуковые сигналы, возникающие от разговоров людей в зале и воспроизведения аудиозаписей, могут передаваться за пределы помещения через трубы отопления и конструкции здания. Для сбора информации в данном случае используются стетоскопы. С помощью стетоскопов злоумышленник может получать доступ к звукам, проникающим через трубы и стены, и таким образом осуществлять добычу информации из помещения.

Перехват опасных сигналов является распространенным методом подслушивания. В комнате для переговоров, как и в любом другом рабочем помещении, присутствует значительное количество различной аппаратуры и устройств, которые могут служить источниками опасных сигналов. Эти сигналы могут быть перехвачены и использованы злоумышленником для получения конфиденциальной информации. Поэтому необходимо принимать меры для защиты от перехвата и обеспечения безопасности важных переговоров.

Среди радиоэлектронных средств и систем, являющихся потенциальными источниками опасных сигналов, в рассматриваемой комнате для переговоров есть:

- технические средства охраны и пожарной сигнализации;
- средства электропитания.

Перехват опасных сигналов происходит с помощью приёмников опасных сигналов. Кроме того, могут применяться бытовые и специализированные приёмники радио- и электрических сигналов, сканирующие приёмники, селективные вольтметры и селективные усилители. Эти устройства позволяют злоумышленникам перехватывать и анализировать опасные сигналы, включая конфиденциальную информацию, передаваемую в помещении. Для обеспечения безопасности переговоров необходимо применять защитные меры, чтобы предотвратить такой перехват и защитить конфиденциальность информации.

Прослушивание может вестись через окна и двери. Прослушивание через дверь является довольно сложной проблемой для злоумышленника, так как во время проведения переговоров дверь не остаётся открытой. Однако подобную угрозу не следует исключать полностью, так как возможны следующие непредвиденные обстоятельства:

- неплотно прикрытая дверь, имеющая щели;
- во время переговоров участники могут выходить и входить в случае возникновения необходимости, следовательно, дверь будет кратковременно открываться и закрываться.

При использовании узконаправленных микрофонов возможно подслушивание речевой информации через открытые окна или форточки. Эти микрофоны способны воспринимать и усиливать звуки, идущие только из определенного направления, в то время как они ослабляют все остальные звуки. Существуют различные модификации таких узконаправленных микрофонов.

Для записи звуков внутри самого помещения для переговоров могут применяться миниатюрные автономные магнитофоны. Они отличаются от обычных компактных магнитофонов тем, что имеют меньшую скорость лентопротяжного механизма и способность автоматически включаться при об-

наружении звуковых сигналов. Это позволяет осуществлять скрытую запись звуковых данных в помещении без привлечения внимания окружающих.

## **1.2 Анализ существующих подходов решения рассматриваемой проблематики**

Важно отметить, что отсутствуют разработанные методы и последовательные алгоритмы моделирования процесса акустического излучения в программных средствах, предназначенные для обнаружения и предотвращения утечки конфиденциальной информации через акустические каналы в помещении, где ведутся конфиденциальные переговоры. Тем не менее, в данной работе представлены некоторые методы, которые косвенно связаны с исследованием утечки информации через акустические каналы.

Основная цель данной бакалаврской работы заключается в моделировании распространения звука внутри помещения для проведения конфиденциальных переговоров.

### **1.2.1 Формантный подход измерения разборчивости речи**

Форманты – это характеристические частоты, которые определяют звуковой спектр говора и играют важную роль в различении и восприятии речевых звуков.

Они являются основными составляющими звуков речи и помогают различать различные звуковые сигналы. Форманты возникают из-за резонансных эффектов в речевых органах, таких как гортань, гортанная полость, ротовая полость и губы. Когда воздушный поток проходит через эти органы, определенные частоты усиливаются (резонируют), создавая пики энергии в спектре звука.

В 1929 году, Д. Коллард предложил формантный подход, который прочно удерживал свои позиции до 70-х годов. Однако впоследствии был предложен модуляционный подход, который позволял учитывать не только шумы, но и реверберацию, эхо и нелинейные искажения.

За прошедшие 80 лет существования формантного подхода появилось

множество его сторонников и модификаций, но самой распространенной стала зарубежная версия, известная как индекс артикуляции.

Использование индекса артикуляции было предложено Г. Флетчером в 1940 году. Существует две версии данного метода:

- для двадцати равноартикуляционных полос;
- для шести октавных либо пятнадцати третьоктавных полос.

Рассмотрим данный метод для двадцати равноартикуляционных полос.

Разборчивость речи определяют по формуле 3:

$$A = \sum_{k=1}^K p_k \cdot P(E'_k), \quad (3)$$

где  $k$  – количество смежных полос;

$p_k$  – вероятность пребывания формант в  $k$ -ой полосе частот;

$P(E'_k)$  – коэффициент восприятия речи, иначе вероятность отсутствия маскировки речи шумом.

Однако, так как вычисления производятся в двадцати полосах, формула выше принимает вид формулы 4:

$$AI = \frac{1}{20} \sum_{k=1}^{20} P(\Delta L_i), \quad (4)$$

где  $AI$  – значение формантного параметра спектра речевого сигнала в  $i$ -ой полосе частот;

$P(\Delta L_i)$  – коэффициент разницы между пиковым уровнем речи и эффективным уровнем маскирующего шума.

Таким образом, получим формулу 5:

$$AI = \frac{1}{600} \sum_{k=1}^{20} \Delta L_i, \quad (5)$$

где  $AI$  – значение формантного параметра спектра речевого сигнала в  $i$ -

ой полосе частот;

$\Delta L_i$  – разница между пиковым уровнем речи и эффективным уровнем маскирующего шума.

Пересчёт индекса артикуляции в словесную и фразовую разборчивости осуществляют по графику, представленному на рисунке 1.

В данном методе учитываются:

- влияние реверберационной помехи;
- влияние АЧХ тракта передачи;
- нестационарный характер маскирующего шума, если известен его рабочий цикл или время включения/выключения;
- влияние клиппирования.

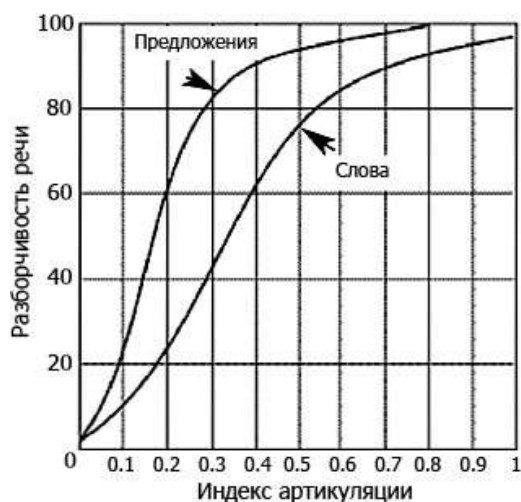


Рисунок 1 – Пересчёт индекса артикуляции

В случаях, когда на речевой сигнал влияют несколько различных типов помех, таких как смешанный прием сигнала от диктора и громкоговорителя, данный метод может оказаться неприменимым.

В таких ситуациях может потребоваться использование более сложных алгоритмов и методов обработки сигналов, которые учитывают и компенсируют различные виды помех. Например, могут быть применены методы фильтрации, шумоподавления, адаптивной обработки сигналов и другие подходы, специально разработанные для работы с такими сложными условиями.

### 1.2.2 Метод измерения разборчивости речи Н. Б. Покровского

Основная идея данного метода заключается в разбиении всей анализируемой области частот на несколько смежных полос. В пределах каждой полосы предполагается, что плотность вероятностей формант, спектры речи и шума можно приближенно считать постоянными.

Это позволяет упростить анализ и обработку сигнала, разделяя его на отдельные частотные полосы и рассматривая их независимо друг от друга. Такой подход удобен, когда требуется анализировать и обрабатывать речевой сигнал с учетом его спектральных характеристик и различных типов помех.

Данный метод позволяет достичь приближенной постоянности параметров внутри каждой полосы частот и облегчить дальнейший анализ.

Артикуляционная разборчивость представляет собой сумму разборчивостей формант каждой полосы (формулы 3, 6):

$$P_k = F_1(f_{sk}) - F_1(f_{nk}), \quad (6)$$

где  $F_1(f)$  – функция распределения вероятностей формант;

$f_{nk}$  – нижняя граничная частота полосы;

$f_{vk}$  – верхняя граничная частота полосы.

Коэффициент восприятия речи зависит от разности уровней формантного спектра и спектра помехи. При достаточно больших уровнях шума это отношение сигнал/шум в каждой из полос частот может быть низким, как показано на рисунке 2.

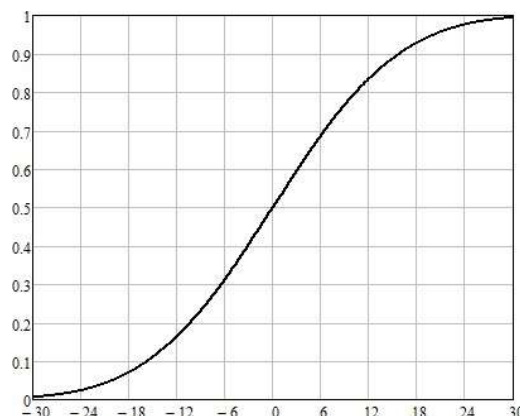


Рисунок 2 – Визуальное отношение сигнала к шуму



При анализе речевого сигнала в различных полосах частот можно заметить, что кривая коэффициента восприятия речи может иметь разное поведение. Это связано с тем, что различные полосы частот могут быть подвержены разным уровням шума и помех.

### 1.2.3 Уравнение акустической диффузии

Диффузия частиц в газе описывается перемещением по прямым линиям с изменением направления при соударении с молекулами газа. Коэффициент диффузии зависит от длины свободного пробега между столкновениями.

Уравнение акустической диффузии основывается на «звуковых частицах», которые взаимодействуют со стенами и перекрытиями, ограничивающими комнату, а не с молекулами воздуха.

Длина свободного пробега  $\lambda$  (формула 7) и коэффициент диффузии  $D$  (формула 8), связаны с размерами помещения. Считается, что

$$\lambda = 4V/S \quad (7)$$

где  $\lambda$  – длина свободного пробега;

$V$  – это объём исследуемого помещения;

$S$  – общая площадь поверхностей, ограничивающих расположение в помещении стен и перекрытий.

В свою очередь

$$D = \lambda c/3 \quad (8)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии;

$\lambda$  – длина свободного пробега;

$c$  – скорость распространения звука.

Реализацией в программной среде COMSOL Multiphysics акустической диффузии является формула 9.

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \nabla \cdot (-D_t \nabla w) + cm_a w = q(\mathbf{x}, t), \quad (9)$$

где  $\omega$  – плотность акустической энергии;

$t$  – время;

$\nabla$  – оператор Гамильтона;

$D_t$  – коэффициент диффузии;

$c$  – скорость распространения звука;

$m_a$  – коэффициент объёмного поглощения;

$q$  – начальный радиус-вектор.

Уравнение решается для плотности акустической энергии  $\omega$ , из которой можно вывести уровень звукового давления и другие важные измеримые величины. Если отбросить производную по времени, то можно получить стационарную форму уравнения. Коэффициент объёмного поглощения  $m_a$ , который отвечает за диссипацию в воздухе, часто полагается незначительным, но иногда, в случае очень больших пространств, оказывается важным.

Есть коэффициент диффузии, описывающий произвольное распределение объёмных источников звука. В альтернативной формулировке можно также учесть усредненное описание внутреннего убранства помещения.

### **1.3 Постановка исследовательской задачи**

Первым этапом для проведения исследования является рассмотрение структурной и пространственной модели помещения. Структурная модель описывает элементы в комнате, влияющие на безопасность информации (двери, окна, стены, электроника, связь и т.д.). Пространственная модель описывает расположение элементов и устройств злоумышленника в комнате.

Объектом защиты является комната для переговоров имеющая следующие характеристики: площадь 21 квадратный метр; объем 58,8 кубических метров (без учета объема мебели и других объектов); окно размером 2 на 1,4 метра; одинарная дверь размером 1,3 x 2 метра (рисунок 3).

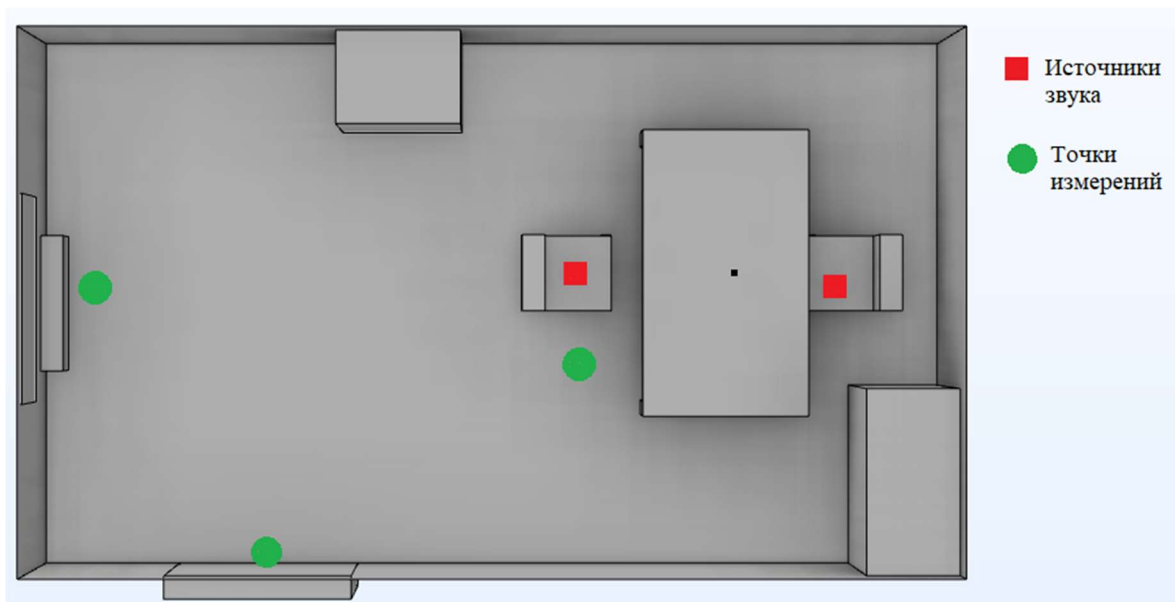


Рисунок 3 – Схема исследуемого помещения

Основная часть передаваемой информации в рассматриваемом помещении осуществляется путем устной коммуникации, источниками которой являются люди. Под устной информацией подразумеваются диалоги и обсуждения участников совещания. В данном случае устная информация имеет высокую ценность и является объектом защиты. Важно отметить, что звуковые волны равномерно распространяются во всех направлениях от источника звука и заполняют всё пространство помещения.

Защита информации при проведении переговоров с участием представителей сторонних организаций имеет ряд особенностей, вызванных следующими факторами:

- разногласия среди представителей организации из-за разного отношения к требованиям ИБ;
- желание субъектов переговоров фиксировать информацию (записывать на диктофон);
- стремлением некоторых участников сторонних организаций во время переговоров обратиться к вышестоящему руководству для принятия оперативных мер на основе информации, полученной на переговорах;
- высоким уровнем концентрации во время доклада выступающих;

– сам факт конфиденциальных переговоров (состав участников является демаскирующим признаком хода выполнения совместной работы).

Данные факторы усложняют процесс защиты информации и требуют более строгих мер для подготовки помещения и предотвращения утечки информации во время переговоров. Мероприятия по обеспечению информационной безопасности в случае конфиденциальных совещаний должны проводиться полностью и включать комплексный подход.

Однако эти мероприятия не могут полностью оценить уровень безопасности помещения от утечки информации по акустическим каналам. Для более надежной защиты предприятия необходимо иметь полную картину шумоизлучения внутри помещения и использовать комплексный подход, что является основной задачей данного исследования.

В ходе обследования помещения были выявлены следующие потенциальные уязвимости объекта:

– акустический (мембранный перенос энергии речевых сигналов через перегородку за счёт своей малой массы, утечка информации за счёт слабой звукоизоляции);

– виброакустический (утечка информации за счёт продольных колебаний ограждающих конструкций и арматуры системы центрального отопления, колебаний окон, центральные отопительные системы).

Для того, чтобы определить эффективность защиты информации, необходимо провести анализ на соответствие установленным требованиям и нормам.

Эффективность защиты информации – это комплексный показатель, который оценивает степень соответствия достигнутых результатов защиты информации установленным требованиям.

Нормативно-методическая документация определяет требования к измерительному сигналу:

– шумовому (в 7 октавных полосах);

– гармоническому (в виде 20 частот, средним частотам полос равной разборчивости).

Использование виртуальных средств измерений (оценок) позволяет высокоточно оценивать характеристики маскирующего шума практически в режиме реального времени. Результаты оценки могут быть документированы и представлены на бумажном или электронном носителе.

Контроль эффективности защиты информации установлен нормативно-методическими требованиями. Требования научно обоснованы и учитывают следующие факторы:

– неравномерность амплитудно-частотной характеристики, усреднённой для мужских и женских голосов спектральной плотности речевого сигнала (кривая чувствительности уха имеет максимальную чувствительность в области средних частот с понижением к нижним и высоким частотам);

– среда распространения акустического речевого сигнала характеризуется распределением фоновых шумов в виде экспоненциального закона со спадом в области высоких частот;

– искусственные шумы, вносящие погрешность при оценке разборчивости речи, следует фильтровать;

– искусственные преграды в виде элементов конструкций зданий создают неравномерное частотозависимое ослабление речевого сигнала;

– акустическому речевому сигналу в замкнутом пространстве присущи искажения в виде реверберационных помех и помех, обусловленных резонансными явлениями в замкнутом объёме.

Контроль эффективности защиты информации основан на научной и законодательной метрологии. Научная метрология устанавливает общепринятые правила передачи единицы физической величины от государственных эталонов к рабочим средствам измерений. Законодательство определяет условия измерений, включая основную и дополнительную инструментальную погрешность средства измерения.

## 2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ

Для осуществления практической части выпускного бакалаврского исследования был проведен анализ конструктивных элементов помещения, предназначенного для проведения конфиденциальных переговоров, а также частично прилегающих зон и помещений. Затем выполнен расчет утечки информации через акустический канал на основе полученных экспериментальных данных. Завершающим этапом эксперимента является анализ полученных результатов исследования помещения для конфиденциальных переговоров.

### 2.1 Описание комплекта программно-технических средств, применяемых в эксперименте

Для осуществления эксперимента, в частности для измерения уровня шума от источников, применялся анализатор спектра цифровой интегрирующий «Тритон», предназначенный для измерений звука, вибрации, переменного напряжения и осуществления спектрального анализа входных сигналов при проведении аттестационных измерений, мониторинге шума окружающей среды и контроле влияния шума и вибрации на здоровье человека.

На рисунке 4 представлено изделие «Тритон» в сборе с управляющей ПЭВ (измерительный микрофон закреплен на штативе).



Рисунок 4 – Изделие «Тритон»

Изделие «Тритон» является прецизионным средством акустических и вибрационных измерений и объединяет в себе следующие функции:

- измерителя звукового давления 1-го класса точности в соответствии с нормами ГОСТ 17187-81 и МЭК 651, МЭК 804, МЭК 61672;

- виброметра 1-го класса точности в соответствии с нормами ISO 8041, ISO 2631-1;

- октавного и третьоктавного анализатора спектра на основе параллельных фильтров 1-го класса точности в соответствии с нормами ГОСТ 17168-82 и МЭК 1260;

- цифрового средства измерения переменного напряжения в соответствии с нормами ГОСТ 22261-94;

- цифрового узкополосного анализатора спектра.

Пользовательский интерфейс изделия «Тритон» позволяет:

- установить все необходимые параметры для работы изделия и проведения измерений;

- составить отчет по результатам измерений в виде файла стандарта ТХТ с привязкой к текущим значениям времени и даты;

- осуществить калибровку измерительного тракта;

- осуществить визуализацию входного сигнала в процессе измерений;

- осуществить защиту от несанкционированного использования при помощи технологии электронных ключей.

Изделие «Тритон» обеспечивает возможность контроля собственного функционирования путем:

- формирования в процессе работы сообщений и сигналов о прохождении команд управления в составные части изделия и об их выполнении;

- формирования сообщений о неверных действиях оператора с указанием характера ошибки;

- индикации подключения БСП к USB-шине ПЭВМ;

- индикации перегрузки БСП по входу.

Изделие «Тритон» обеспечивает метрологическую и программную совместимость входящего в ее состав оборудования.

Технические характеристики анализатора представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики анализатора «Тритон»

Характеристики	Единица измерения	Значение
1. Нижняя граница диапазона измерений частот в реальном времени, не выше	Гц	11,2
2. Верхняя граница диапазона измерений частот в реальном времени, не ниже	Гц	$2,24 \cdot 10^4$
3. Нижняя граница диапазона измерений звукового давления с микрофоном TMS320D20, не выше	дБ/20 мкПа	35
4. Верхняя граница диапазона измерений звукового давления с микрофоном TMS320D20, не ниже	дБ/20 мкПа	123
5. Абсолютная погрешность измерений звукового давления с микрофоном TMS320D20, не более	дБ	$\pm 1,0$
6. Нижняя граница диапазона измерений общего виброускорения с акселерометром AP98-100, не выше	дБ/(10-6 м/с <sup>2</sup> )	80
7. Верхняя граница диапазона измерений общеговиброускорения с акселерометром AP98-100, не ниже	дБ/(10-6 м/с <sup>2</sup> )	160
8. Относительная погрешность измерений виброускорения с акселерометром AP98-100, не более	%	$\pm 8,0$
9. Нижняя граница диапазона измерений напряжения переменного тока в реальном времени, не более	В	$1,0 \cdot 10^{-5}$
10. Верхняя граница диапазона измерений напряжения переменного тока в реальном времени, не менее	В	1
11. Относительная погрешность измерения напряжения переменного тока в реальном времени, не более	%	$\pm 1,5$



## Продолжение таблицы 1

12. Нижняя граница диапазона анализа в 1/1–октавных фильтрах по ГОСТ 17168, не выше	Гц	16
13. Верхняя граница диапазона частот анализа в 1/1–октавных фильтрах по ГОСТ 17168, не ниже	Гц	1,6·10 <sup>4</sup>
14. Количество параллельных цифровых 1/1–октавных фильтров по ГОСТ 17168, не менее	шт	11
15. Нижняя граница диапазона анализа в 1/3–октавных фильтрах по ГОСТ 17168, не выше	Гц	12,5
16. Верхняя граница диапазона частот анализа в 1/3–октавных фильтрах по ГОСТ 17168, не ниже	Гц	2·10 <sup>4</sup>
17. Количество параллельных цифровых 1/3–октавных фильтров по ГОСТ 17168, не менее	шт.	33
18. Максимальное удаление измерительного датчика от рабочего места оператора, не менее	м	20
19. Время непрерывной работы изделия без ухудшения его точностных характеристик, не менее	час	8
20. Время развертывания (свертывания) изделия, не более	мин	15
21. Напряжение сети электропитания изделия от сети переменного тока, включая типа «Notebook»	В	220
22. Частота сети переменного тока электропитания изделия с ПЭВМ типа «Notebook»	Гц	50 ± 1
23. Мощность, потребляемая изделием, не более	Вт	
– с ПЭВМ типа «Notebook»		100
– без ПЭВМ		0,9
24. Нижняя граница диапазона рабочих температур, не более	°С	5
25. Верхняя граница диапазон температур, не менее	°С	40

## 2.2 Анализ строительных конструкций помещения

Исследуемое помещение имеет площадь 21 квадратный метр – длина помещения 6 метров, ширина помещения 3,5 метра. Высота потолка составляет 2,4 метра. Вход в помещение осуществляется через дверь, высотой 2 метра, глубиной 0,15 метра и длиной 1,3 метра.

Окно в исследуемом кабинете для проведения конфиденциальных переговоров представлено стеклопакетом (2 панели), со следующими размерами: глубина – 0,032 метра, длина – 2 метра, высота – 1,3 метра. Оно находится на высоте 0,8 метра. Исследуемое помещение отделено от соседнего кабинета перегородкой из гипсокартона, состоящей из 2-х параллельных слоев (каждый толщиной 0,125 метра), без звукоизолирующего материала между ними. Размеры перегородки: глубина – 0,25 метра, длина – 6 метров, высота – 2,8 метра.

Внутри исследуемого помещения имеются следующие объекты:

– два сосновых книжных шкафа, размеры которого: глубина – 0,6 м, длина – 1,2 м, высота – 2 м;

– чугунный радиатор, размеры которого: глубина – 0,15 м, длина – 0,9 м, высота – 0,6 м (расположение – по центру относительно окна и под окном на высоте 0,1 м);

– стол, ножки которого выполнены из стали (4 штуки, размеры каждой: длина и ширина – 0,1 м, высота – 0,7 м), а рабочая поверхность данного стола выполнена из соснового дерева, габариты которого: ширина – 1,2 м, длина – 1,7 м, высота – 0,062 м;

– 2 стула (ножки, которых выполнены из стали, размеры каждой: ширина – 0,05 м, высота – 0,42 м);

– сиденья (размеры каждого: ширина и длина – 0,4 м, высота – 0,03 м);

– спинки (размеры каждой: толщина – 0,04 м, длина – 0,4 м, высота – 0,6 м) из соснового дерева (расположение – вблизи относительно стола).

Описание материалов и их свойств, участвующих в эксперименте:

- воздух (плотность – 1,2041 кг/м<sup>3</sup>, скорость распространения звука – 343,26 м/с при температуре 20 градусов в помещении);
- сосновое дерево (плотность – 450 кг/м<sup>3</sup>, скорость распространения звука – 3600 м/с);
- стеклопакет с учетом количества слоев (плотность – 5000 кг/м<sup>3</sup>, скорость распространения звука – 1750 м/с);
- чугун (плотность – 7000 кг/м<sup>3</sup>, скорость распространения звука – 3500 м/с);
- гипсокартонный лист (плотность – 1200 кг/м<sup>3</sup>, скорость распространения звука – 5774 м/с);
- сталь (плотность – 7670 кг/м<sup>3</sup>, скорость распространения звука – 5900 м/с).

После полного описания и анализа исследуемого помещения, предназначенного для проведения конфиденциальных переговоров, а также рассмотрения находящихся в нем предметов, можно приступить к исследованию помещения на возможность утечки информации.

### **2.3 Расчёт разборчивости речи**

Расчёты происходили с использованием метода Покровского, основываясь на результате измерений, полученных с помощью спектрального анализатора – цифровой интегрирующий «Тритон».

Оценка понятности речи по методу Н.Б. Покровского выполняется следующим образом:

- весь частотный диапазон делится на определенное число полос;
- для каждой «средней» частоты определяется относительный уровень интенсивности формант;
- определяются соответствующие коэффициенты восприятия формант;
- вычисляется интегральный показатель артикуляции (формантная разборчивость);
- происходит переход к другим формам разборчивости в соответствии

с известными для данного языка зависимостями.

Полученные показатели приведены в таблицах 2-14.

Таблица 2 – Расчёт разборчивости речи за окном (измерительный прибор – микрофон TMS320D20)

№	$f_{ни}$ , Гц	$f_{ви}$ , Гц	$f_{срi}$ , Гц	$L_{ш}$ , Дб	$L_c$ , Дб	$q_i$ , Дб	$\Delta A_i(f_{срi})$ , Дб	$k_i$
1	180	355	250	27,2	30,1	2,9	18	0,03
2	355	710	500	21,2	29,9	8,7	14	0,12
3	710	1400	1000	15,9	20,3	4,4	9	0,2
4	1400	2800	2000	14,3	19,6	5,3	6	0,3
5	2800	5600	4000	15,3	18,4	3,1	5	0,26

В таблице использованы обозначения:

- $f_{ни}$  – нижняя граница частотной полосы;
- $f_{ви}$  – верхняя граница частотной полосы;
- $f_{срi}$  – среднегеометрические частоты октавных полос;
- $L_{ш}$  – уровень шума по частотным полосам;
- $L_c$  – уровень речевого сигнала по частотным полосам;
- $q_i$  – отношение речевого сигнала к шуму;
- $\Delta A_i(f_{срi})$  – формантный параметр на среднегеометрической частоте;
- $k_i$  – весовой коэффициент полосы.

Следующий шаг – это расчет значения слоговой и словесной разборчивости.

Таблица 3 – Расчёт значений слоговой и словесной разборчивости речи за окном

$R_i$	R	S	W(S)	W(R)
0,012327	0,319502	62,5	94,5	93
0,028861				
0,072591				
0,10058				

В таблице использованы обозначения:

- $R_i$  – спектральный индекс артикуляции;
- $R$  – интегральный индекс артикуляции;
- $S$  – слоговая разборчивость речи;
- $W$  – словесная разборчивость речи.

Из вычислений, представленных в таблицах 2 и 3, видно, что речевой сигнал, прослушанный за окном, может содержать полезную информацию для злоумышленника. Рассчитанная степень понятности речи  $W \approx 94 \%$ . Это означает, что прослушанный акустический сигнал содержит достаточное количество правильно понятых слов для передачи полного сообщения, отражающего суть отрасли и идею разговора. Рекомендуется использовать средства защиты акустической информации.

Таблица 4 – Расчёт разборчивости речи за стеной (измерительный прибор – микрофон TMS320D20)

№	$f_{ни}$ , Гц	$f_{ви}$ , Гц	$f_{срi}$ , Гц	$L_{ш}$ , Дб	$L_c$ , Дб	$q_i$ , Дб	$\Delta A_i (f_{срi})$ , Дб	$k_i$
1	180	355	250	28,7	32,7	4	18	0,03
2	355	710	500	16,8	29,8	13	14	0,12
3	710	1400	1000	15	25,8	10,8	9	0,2
4	1400	2800	2000	13,7	24,4	10,7	6	0,3
5	2800	5600	4000	15,5	21,8	6,3	5	0,26

Таблица 5 – Расчёт значений слоговой и словесной разборчивости речи за стеной

$R_i$	$R$	$S$	$W(S)$	$W(R)$
0,011266	0,2	36	85	85
0,017504				
0,03814				
0,057876				
0,079477				

Из вычислений, представленных в таблицах 4 и 5, следует, что речевой сигнал, прослушанный за стеной исследуемого помещения для проведения конфиденциальных переговоров, не обладает информацией, которая может быть полезной злоумышленнику.

Рассчитанная степень разборчивости речи  $W \approx 85 \%$ . Это означает, что прослушиваемый акустический сигнал не содержит достаточного количества понятных слов для полной передачи сообщения, отражающего суть отрасли и идеи разговора.

Таблица 6 – Расчёт разборчивости речи за дверь (измерительный прибор – микрофон TMS320D20)

№	$f_{ни}$ , Гц	$f_{ви}$ , Гц	$f_{срi}$ , Гц	$L_{ш}$ , Дб	$L_c$ , Дб	$q_i$ , Дб	$\Delta A_i (f_{срi})$ , Дб	$k_i$
1	180	355	250	31,9	31,7	-0,2	18	0,03
2	355	710	500	19,5	34	14,5	14	0,12
3	710	1400	1000	21,9	16,8	-5,1	9	0,2
4	1400	2800	2000	21,2	23,8	2,6	6	0,3
5	2800	5600	4000	21,2	18,6	-2,6	5	0,26

Таблица 7 – Расчёт значений слоговой и словесной разборчивости речи за дверь

$R_i$	R	S	W(S)	W(R)
0,015365	0,44	46	90	86
0,014347				
0,129838				
0,1262				
0,152163				

Из расчётов, представленных в таблицах 6 и 7, видно, что речевой сигнал, подслушанный за дверь исследуемого помещения, может обладать полезной информацией для злоумышленника.

Рассчитанная словесная разборчивость  $W \approx 88 \%$ . Это значит, что подслушанный акустический сигнал содержит достаточно правильно понятых слов, для передачи полного сообщения, отражающей всю суть отрасли и идеи разговора. Рекомендуется применение средств защиты акустической информации.

Таблица 8 – Расчёт разборчивости речи через вибрацию окна (измерительный прибор – АР98-100)

№	$f_{ни}$ , Гц	$f_{ви}$ , Гц	$f_{срi}$ , Гц	$L_{ш}$ , Дб	$L_c$ , Дб	$q_i$ , Дб	$\Delta A_i (f_{срi})$ , Дб	$k_i$
1	180	355	250	8,9	25,3	16,4	18	0,03
2	355	710	500	8,3	17,9	9,6	14	0,12
3	710	1400	1000	7,9	7,9	0	9	0,2
4	1400	2800	2000	8,7	8,8	0,1	6	0,3
5	2800	5600	4000	9,9	10,1	0,2	5	0,26

Таблица 9 – Расчёт значений слоговой и словесной разборчивости речи через вибрацию окна

$R_i$	R	S	W(S)	W(R)
0,002732	0,410654	46	90	88
0,026199				
0,10115				
0,150757				
0,129816				

Из расчётов, представленных в таблицах 8 и 9, видно, что речевой сигнал, подслушанный через вибрацию окна помещения для проведения конфиденциальных переговоров, может обладать полезной информацией для злоумышленника. Рассчитанная словесная разборчивость  $W \approx 89 \%$ .

Это значит, что подслушанный акустический сигнал содержит достаточно правильно понятых слов, для передачи полного сообщения, отражаю-

щей суть отрасли и идеи разговора. Рекомендуется применение средств защиты акустической информации.

Таблица 10 – Расчёт разборчивости речи через вибрацию батареи (измерительный прибор – АР98-100)

№	$f_{ни}$ , Гц	$f_{ви}$ , Гц	$f_{срi}$ , Гц	$L_{ш}$ , Дб	$L_c$ , Дб	$q_i$ , Дб	$\Delta A_i (f_{срi})$ , Дб	$k_i$
1	180	355	250	13,3	21,4	8,1	18	0,03
2	355	710	500	17,8	26	8,2	14	0,12
3	710	1400	1000	12,9	14,1	1,2	9	0,2
4	1400	2800	2000	15,1	23,6	8,5	6	0,3
5	2800	5600	4000	10,6	14,4	3,8	5	0,26

Таблица 11 – Расчёт значений слоговой и словесной разборчивости речи через вибрацию батареи

$R_i$	R	S	W(S)	W(R)
0,00768	0,304389	15,5	63,5	54
0,030405				
0,093327				
0,073683				
0,099294				

Из рассчитанных значений, представленных в таблицах 10 и 11, можно сделать вывод, что речевой сигнал, перехваченный через вибрацию батареи в помещении для проведения конфиденциальных переговоров, не содержит полезной информации для потенциального злоумышленника. Рассчитанная степень разборчивости речи  $W$  составляет около 59 %.

Это означает, что перехваченный акустический сигнал не содержит достаточно понятных слов, чтобы полностью передать сообщение, отражающее суть обсуждаемой отрасли и идеи разговора. Поэтому не рекомендуется применять средства для защиты акустической информации.



Таблица 12 – Расчёт разборчивости речи через вибрацию стены (измерительный прибор – AP98-100)

№	$f_{ни}$ , Гц	$f_{ви}$ , Гц	$f_{срi}$ , Гц	$L_{ш}$ , Дб	$L_c$ , Дб	$q_i$ , Дб	$\Delta A_i (f_{срi})$ , Дб	$k_i$
1	180	355	250	11,5	52,4	40,9	18	0,03
2	355	710	500	7,8	54	46,2	14	0,12
3	710	1400	1000	9,5	48	38,5	9	0,2
4	1400	2800	2000	9	43,1	34,1	6	0,3
5	2800	5600	4000	9,9	38,9	29	5	0,26

Таблица 13 – Расчёт значений слоговой и словесной разборчивости речи через вибрацию стены

$R_i$	R	S	W(S)	W(R)
0,000008	0,002761	15	63	59
0,000006				
0,000112				
0,000614				
0,002021				

Из вычислений, представленных в таблицах 12 и 13, видно, что речевой сигнал, полученный через вибрацию стены помещения для проведения конфиденциальных переговоров, не может содержать полезную информацию для неправомерного лица.

Рассчитанная разборчивость речи  $W \approx 61\%$ . Это означает, что подслушанный акустический сигнал не содержит достаточное количество правильно понятых слов для полной передачи сообщения, отражающего суть обсуждаемой отрасли и идей разговора. Рекомендуется не использовать средства защиты акустической информации.

Таблица 14 – Расчёт разборчивости речи через вибрацию двери (измерительный прибор – АР98-100)

№	$f_{ни}$ , Гц	$f_{ви}$ , Гц	$f_{срi}$ , Гц	$L_{ш}$ , Дб	$L_c$ , Дб	$q_i$ , Дб	$\Delta A_i (f_{срi})$ , Дб	$k_i$
1	180	355	250	11,8	19,6	7,8	18	0,03
2	355	710	500	8,4	19,2	10,8	14	0,12
3	710	1400	1000	12,8	11,1	-1,7	9	0,2
4	1400	2800	2000	16,7	11,8	-4,9	6	0,3
5	2800	5600	4000	11,3	10	-1,3	5	0,26

Таблица 15 – Расчёт значений слоговой и словесной разборчивости речи через вибрацию двери

$R_i$	R	S	W(S)	W(R)
0,007918	0,478127	36	85	80
0,022884				
0,111781				
0,193389				
0,142154				

Из расчетов, представленных в таблицах 14 и 15, можно видеть, что речевой сигнал, прослушанный через вибрацию двери помещения для проведения конфиденциальных переговоров, не обладает значимой информацией для злоумышленника.

Рассчитанная степень разборчивости речи  $W \approx 83 \%$ . Это означает, что прослушиваемый акустический сигнал не содержит достаточного количества правильно понятых слов для передачи полного сообщения, отражающего суть отрасли и идеи разговора. Не рекомендуется применение средств защиты акустической информации.

### 3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИССЛЕДУЕМОГО ПОМЕЩЕНИЯ

В данном квалификационном исследовании звукоизоляции помещения для проведения конфиденциальных переговоров было принято решение использовать специализированный прикладной программный комплекс Comsol Multiphysics (версия 6.2) для проектирования помещения, основных компонентов и разработки мест нарушения звукоизоляции с целью проведения расчетов и моделирования излучения и распространения звука (шума).

После изучения доступной литературы и научных работ в области обнаружения и противодействия утечкам информации через акустические каналы, а также проведения экспериментов и выполнения необходимых расчетов с анализом и предложением рекомендаций по улучшению звукоизоляции в исследуемом помещении для проведения конфиденциальных переговоров, была разработана модель для конкретного помещения.

#### **3.1 Обоснование выбора программного продукта**

COMSOL Multiphysics – полностью интегрированное программное обеспечение, которое даёт полный контроль над процессом моделирования.

Model Builder даёт доступ ко всем настройкам модели:

- CAD / геометрия;
- материалы;
- физика;
- сетки;
- решатели;
- результаты.

Основной функционал акустического модуля:

- классические модели (уравнение Гельмгольца и скалярное волновое уравнение, фоновое поле);
- различные граничные условия, включая PML и Far-Field Calculation;
- импедансные условия;

- усреднённые материальные модели для пористых материалов, узких регионов;
- предустановленные мультифизические связи;
- пороупругие волны;
- пьезоматериалы;
- учёт демпфирования;
- объёмные геометрии и высокие частоты;
- акустическая диффузия и лучевая акустика (в том числе для моделирования гидроакустики);
- явный решатель для акустических волн с фоновым потоком;
- граничное условие Absorbing Layers (поглощающие слои).

### **3.2 Описание математических процедур**

В данной работе используются уже известные акустические методы, предоставляемые профессиональным прикладным программным пакетом Comsol Multiphysics (версия 6.2). Однако, в данном исследовании эти методы применяются с новой перспективой. Вместо применения этих методов для проектирования моделей помещений, которые должны соответствовать установленным нормам (например, для оценки звукоизоляции в жилых помещениях или распространения звука в концертных залах), они используются для оценки звукоизоляции помещения для проведения конфиденциальных переговоров, то есть уровня угрозы утечки информации.

Как было отмечено в первой главе данной бакалаврской работы, моделирование процесса распространения звука осуществляется с помощью уравнения акустической диффузии, а также присутствуют элементы геометрической акустики.

Модифицированный под специфику данного квалификационного исследования алгоритм использования в профессиональном прикладном программном пакете Comsol Multiphysics (версии 6.2) имеет следующие этапы:

- моделирование 3D-модели защищаемого помещения;

– внедрение физических свойств всем объектам исследуемого помещения;

– вычисляется распределение уровня звукового давления в стационарном состоянии с источника звука (человек) в помещении для проведения конфиденциальных переговоров;

– моделирование с помощью интерфейса уравнения акустической диффузии;

– добавление приблизительного выражения для прямого звука.

Геометрия и меширование:

– геометрия состоит из непосредственно помещения и основной мебели, а также смежных исследуемых областей (за перегородкой, окном и дверью);

– геометрия создается непосредственно на этапе 3D моделирования;

– уравнения акустической диффузии нет особых требований к мешированию геометрии.

Физика:

– добавление физических характеристик (параметров) всем объектам исследуемого помещения;

– моделирование управляется потоком энергии звука от источника;

– каждый источник звука имеет свой индивидуальный коэффициент акустической диффузии (рассчитанный исходя из скорости распространения и поглощения звука в помещении по формуле 10):

$$D = \frac{4cV}{3S}, \quad (10)$$

где  $c$  – скорость распространения звука,

$V$  – объём помещения,

$S$  – площадь стен, пола и потолка;

– дверь, окно и перегородка в помещение для проведения конфиденци-

альных переговоров в модели выступают как элементы соединения со смежными исследуемыми области, поглощающий коэффициенты равен соответственно 12 дБ, 27 дБ, 30 дБ;

– моделирование решается для «плоской полосы», то есть с коэффициентами поглощения, которые считаются независимыми от частоты;

– коэффициент поглощения 0,7 применяется к мягким поверхностям и коэффициент поглощения 0,25 к твёрдым поверхностям (последний немного выше, чем установленный по нормам, для компенсации нехватки ковров, штор и прочего).

Для получения более реалистичных результатов, с учётом специфики квалификационного исследования, были изменены изначальные надстройки модуля акустики в помещении (включены различные коэффициенты поглощения для разных материалов и в разных частотных диапазонах).

Предполагая, что звук изотропный в полупространстве, ожидается, что большая часть помещения для проведения конфиденциальных переговоров будет испытывать прямую зависимость звука от каждого источника, аппроксимированного формулой 11:

$$I_n = \frac{P_n}{2\pi r_n^2}, \quad (11)$$

где  $P_n$  – мощность от источника  $n$ ;

$r_n$  – расстояние до центра источника  $n$ , что соответствует квадратичной амплитуде давления по формуле 12:

$$|p_n|^2 = 2Z_0 I_n, \quad (12)$$

где  $Z_0$  – характерное комплексное акустическое сопротивление среды;

$I_n$  – интенсивность звука от каждого источника.

В результате получим общий уровень звукового давления в помещении

по формуле 13:

$$10 \log_{10} ( (|p_d|^2 + |p_1|^2 + |p_2|^2) / |p_{ref}|^2 ), \quad (13)$$

где  $p_d$  – диффузное давление;

$p_{ref} = 20 \times 10^{-6}$  Па.

### **3.3 Общие сведения о методе конечных элементов**

Самым широко используемым и достаточно эффективным численным методом для моделирования сложных систем является метод конечных элементов (МКЭ).

МКЭ широко применяется в области анализа и моделирования, позволяя эффективно решать сложные задачи, связанные с напряжениями, деформациями, теплообменом, электромагнетизмом и другими физическими процессами.

Основная концепция метода конечных элементов заключается в разбиении сложной геометрической области на более простые подобласти, называемые конечными элементами. Каждый конечный элемент описывается математическими уравнениями, которые учитывают его физические характеристики, граничные условия и взаимодействие с соседними элементами.

На основе МКЭ производятся расчёты передовыми вычислительными системами, такими как:

- ANSYS – универсальная система КЭ анализа с встроенным пре- и постпроцессором;
- MSC.Nastran – универсальная система КЭ анализа с пре- и постпроцессором MSC.Patran;
- ABAQUS – универсальная система КЭ анализа с встроенным пре- и постпроцессором;
- Impact – универсальная система КЭ анализа с встроенным пре- и постпроцессором;

- NEiNastran – универсальная система КЭ анализа с пре- и постпроцессором FEMAP;
- NXNastran – универсальная система КЭ анализа с пре- и постпроцессором FEMAP;
- SAMCEF – универсальная система КЭ анализа с пре- и постпроцессором SAMCEF Field;
- Temper-3D – система КЭ анализа для расчета температурных полей в трехмерных конструкциях (теплотехнический расчет);
- COMSOL Multiphysics – универсальная система КЭ анализа с пре- и постпроцессором;
- NX Nastran – универсальная система МКЭ анализа;
- Zebulon – универсальная система МКЭ анализа с расширенной библиотекой нелинейных моделей материалов.

Появление данного метода связано с решением задач космических исследований, а идея МКЭ была разработана советскими учеными в 1936 году. Этот метод возник из области строительной механики и теории упругости, а затем получил математическое обоснование. Важный вклад в теоретическое развитие метода внес Мелощ, который показал, что метод конечных элементов можно рассматривать как вариант известного метода Рэлея-Ритца. Например, в строительной механике МКЭ позволяет свести задачу к системе линейных уравнений равновесия путем минимизации потенциальной энергии. После установления связи МКЭ с процедурой минимизации, он стал применяться к задачам, описываемым уравнениями Лапласа или Пуассона. Затем, с получением уравнений, определяющих элементы в задачах, МКЭ стал основным методом численных расчетов для моделирования физических процессов, используя различные варианты метода взвешенных невязок (метод Галеркина, метод наименьших квадратов). В настоящее время метод конечных элементов является общепринятым численным методом решения дифференциальных уравнений или системы дифференциальных уравнений.



### 3.3.1 Концепция метода конечных элементов

Основной принцип метода конечных элементов заключается в минимизации функционала вариационной задачи на множестве кусочно-гладких функций, которые определены на конечном числе подобластей. Кусочно-гладкие функции определяются на основе значений непрерывной величины в ограниченном числе точек изучаемой области.

В общем случае значения непрерывной величины заранее неизвестны, и необходимо определить их внутри области. Однако можно построить дискретную модель, предположив, что числовые значения этой величины известны в каждой внутренней точке области.

Для непрерывной величины применяют следующую процедуру:

- в рассматриваемой области фиксируется конечное число точек, эти точки называются узловыми точками, или узлами;
- значение непрерывной величины в каждой узловой точке считается переменной, которая должна быть определена;
- область определения непрерывной величины разбивается на конечное число подобластей, называемых элементами – эти элементы имеют общие узловые точки и в совокупности аппроксимируют форму области;
- непрерывная величина аппроксимируется на каждом элементе полиномом, который определяется с помощью узловых значений этой величины (для каждого элемента определяется свой полином, но полиномы подбираются таким образом, чтобы сохранялась непрерывность величины вдоль границ элемента).

Процесс оптимизации сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений для определения значений в узлах. При построении дискретной модели для непрерывных величин в многомерном случае (в системе COMSOL – одно-, двух- или трехмерном), основная концепция метода конечных элементов применяется аналогично, с использованием функций, зависящих от нескольких переменных. В двухмерном случае наиболее эффек-

тивным вариантом выбора элементов обычно является использование треугольников или четырехугольников. Функции элементов могут представлять собой плоские поверхности, если используется минимальное число узловых точек (рисунок 5), или криволинейные поверхности, если используется большее число узловых точек (рисунок 6).

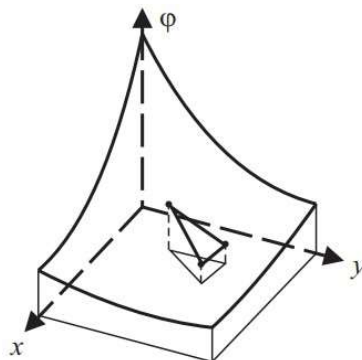


Рисунок 5 – Элемент с треугольной формой, состоящий из трёх узлов

Заметим, что излишнее количество узлов допускает рассмотрение элементов с изогнутыми границами.

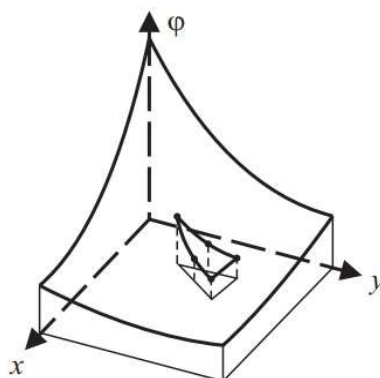


Рисунок 6 – Элемент с пятью узловыми точками

Окончательным приближением двумерной непрерывной величины будет состоять из набора кусочно-непрерывных поверхностей, каждая из которых определяется на отдельном элементе с использованием значений  $\varphi(x, y)$  в соответствующих узловых точках.

Важной особенностью метода конечных элементов является возможность выбора такого набора элементов, при использовании которого можно определить функцию элемента независимо от его положения в общей связ-

ной модели и от других функций элементов. Задание функции элемента через произвольное множество узловых значений и координат позволяет использовать функции элемента для приближения геометрии области.

### 3.3.2 Преимущества и недостатки метода конечных элементов

Наиболее значительными преимуществами метода конечных элементов, благодаря которым он широко применяется, являются следующие:

- смежные элементы могут иметь различные материальные свойства, что позволяет использовать метод для объектов, состоящих из нескольких материалов;

- криволинейные области могут быть аппроксимированы прямолинейными элементами или точно описаны криволинейными элементами, что позволяет МКЭ использоваться для областей с произвольной формой границы;

- размеры элементов могут быть изменяемыми, что позволяет увеличивать или уменьшать плотность разбиения области на элементы и задавать переменную плотность элементов в сети;

- МКЭ позволяет учитывать разрывные поверхностные нагрузки и смешанные граничные условия.

К недостаткам метода конечных элементов относятся:

- искусственное ограничение расчетной области;

- дискретизация окружающего пространства;

- передискретизация при изменении положения элементов.

Хотя возможности усовершенствования МКЭ почти исчерпаны, в настоящее время продолжается разработка численных методов и соответствующих программных комплексов, которые позволяют более эффективно использовать вычислительные ресурсы и обеспечивать эффективное решение многообъектных задач анализа и проектирования.

## 3.4 Построение 3D-модели помещения

Разработка мест нарушения звукоизоляции включает в себя несколько этапов, начальный из которых – построение 3D-модели, далее внедрение ма-

териалов конструкций (они выбирались из предложенных в программном продукте Comsol), затем настраивались при необходимости.

Необходимо отметить, что мебель проектируется в приближённом варианте, но с учётом исходных материалов и их свойств (то есть при необходимости корректировались).

Для наиболее наглядности представлена 3D-модель на рисунке 7 с точным расположением исследуемых объектов.

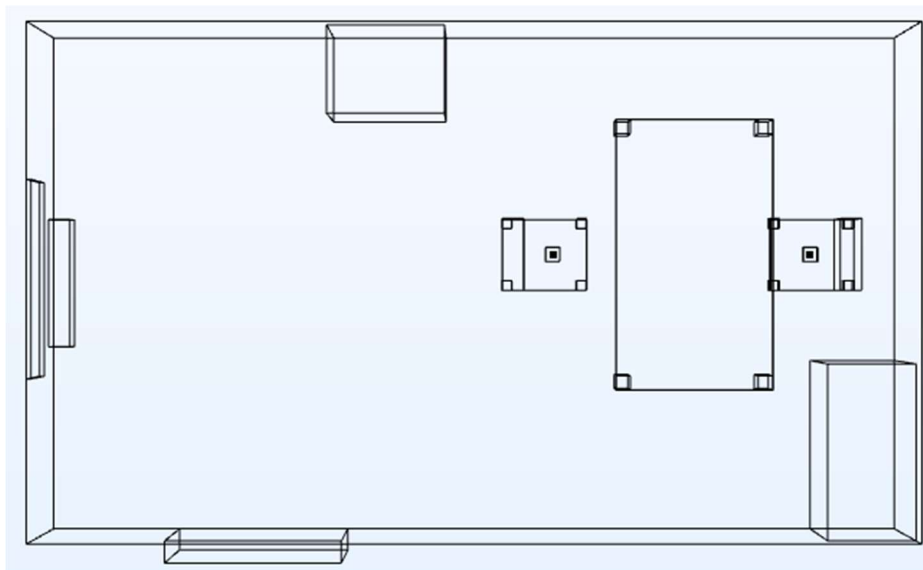


Рисунок 7 – Схема исследуемого помещения

3D-модель исследуемого помещения представлена на рисунках 8- 10.

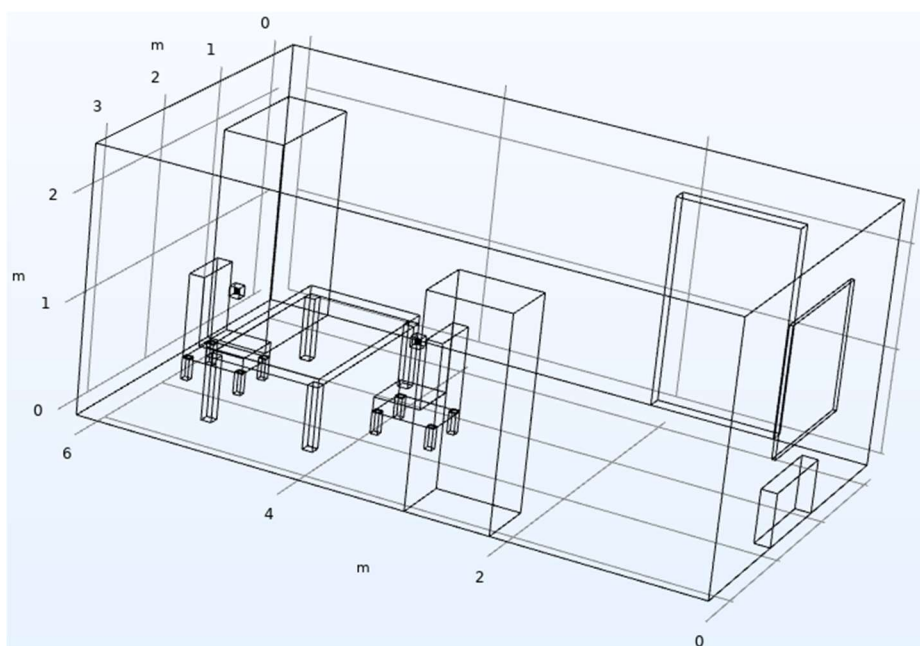


Рисунок 8 – Итоговая геометрия исследуемого помещения в пространстве

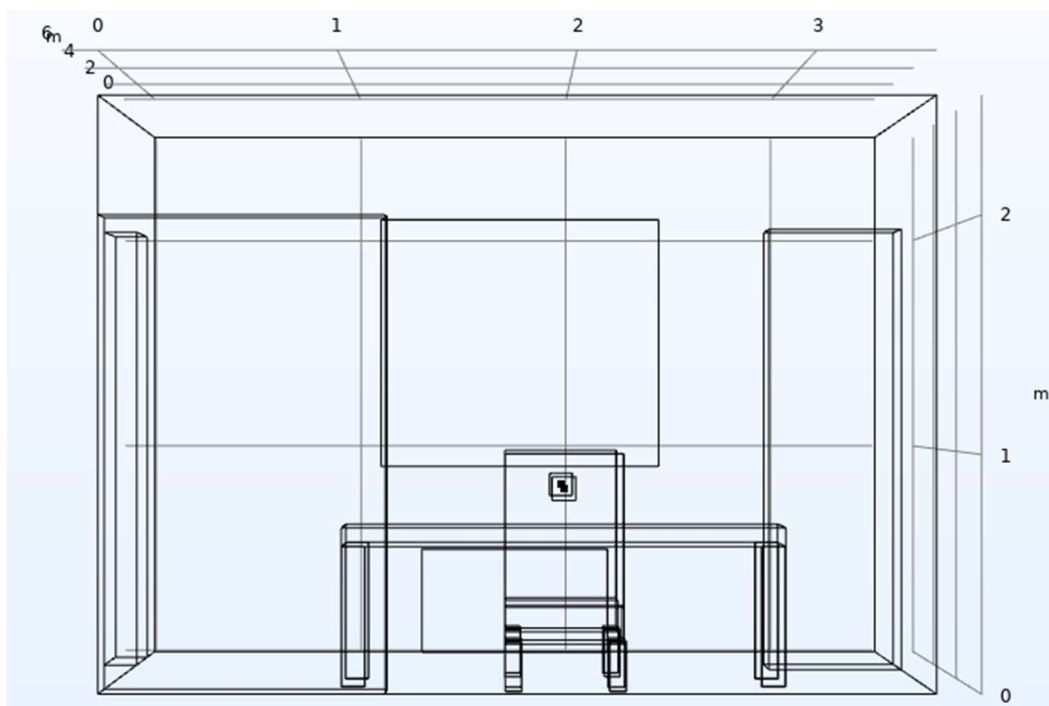


Рисунок 9 – Итоговая геометрия исследуемого помещения относительно осей  
YZ

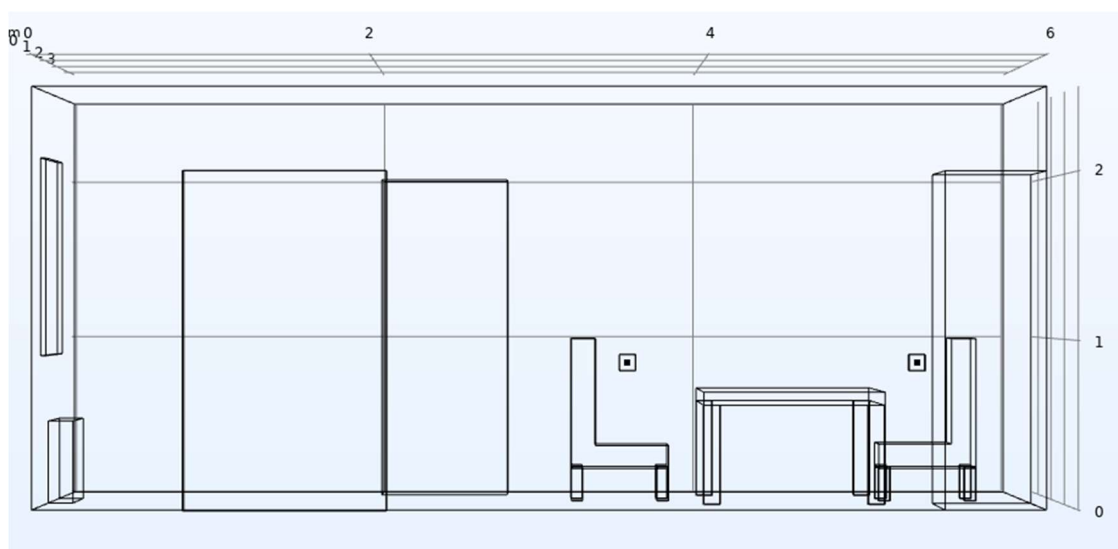


Рисунок 10 – Итоговая геометрия исследуемого помещения относительно  
осей XZ

### 3.5 Задание параметров источников звука

В программном комплексе «Comsol» необходимо указать глобальные параметры (рисунок 11): сила голоса каждого из собеседников, шумы, коэффициенты поглощения.

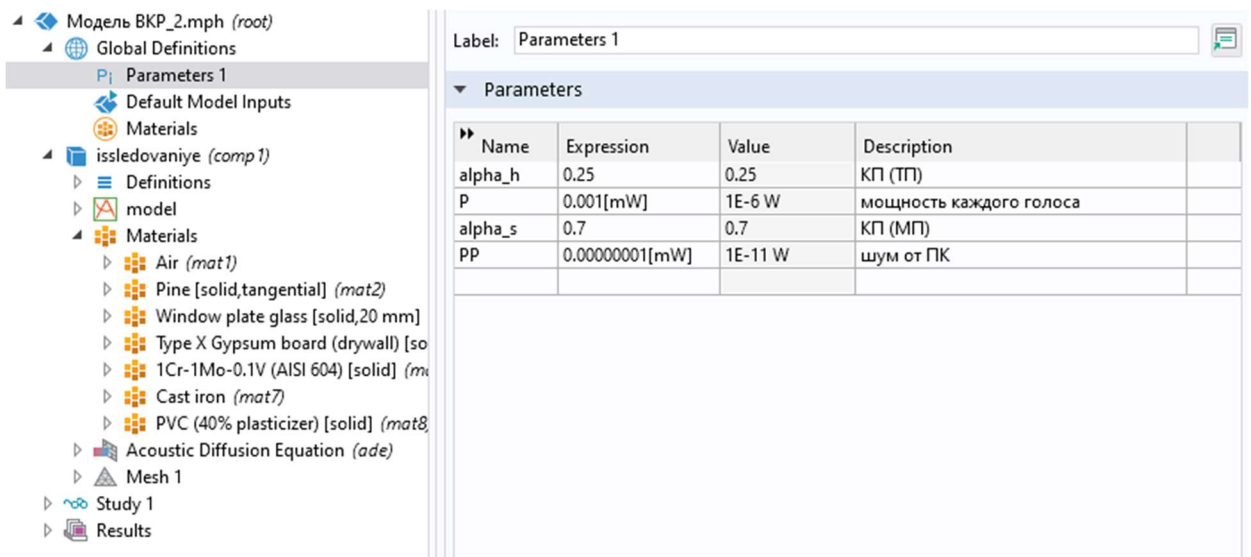


Рисунок 11 – Глобальные параметры

После этого приводится основной набор переменных, который используется в последующих автоматизированных расчетах (см. таблицу 16). В данном контексте под «переменными» понимаются также основные формулы.

Таблица 16 – Основной набор переменных

Обозначение	Формула	СИ	Описание
A	intop1 (1)	м <sup>2</sup>	Общая площадь распространения звука в исследуемом помещении и смежных зонах
J	2*P/A	Вт/м <sup>2</sup>	Поток энергии звука
x <sub>1</sub>	golos_1 (x)	м	Центральная точка начала распространения звука 1-го собеседника по оси X
y <sub>1</sub>	golos_1 (y)	м	Центральная точка начала распространения звука 1-го собеседника по оси Y
A	intop1 (1)	м <sup>2</sup>	Общая площадь распространения звука в исследуемом помещении и смежных зонах

$x_2$	golos_2 (x)	м	Центральная точка начала пространства звука 2-го собеседника по оси X
$y_2$	golos_2 (y)	м	Центральная точка начала пространства звука 2-го собеседника по оси Y
$z_2$	golos_2 (z)	м	Центральная точка начала пространства звука 2-го собеседника по оси Z
$I_1$	$P/(2 \cdot p_i \cdot r_1^2)$	Вт/м <sup>2</sup>	Интенсивность голоса 1-го собеседника
$I_2$	$P/(2 \cdot p_i \cdot r_2^2)$	Вт/м <sup>2</sup>	Интенсивность голоса 2-го собеседника
$z_0$	golos_1 (ade.c*ade.rho)	кг/м <sup>2</sup> *с	Импеданс
psq <sub>1</sub>	$2 \cdot I_1 \cdot z_0$	кг <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> *с	Квадратичное давление голоса от 1-го собеседника
psq <sub>2</sub>	$2 \cdot I_2 \cdot z_0$	кг <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> *с	Квадратичное давление голоса от 2-го собеседника

Для выполнения задания требуется определить точки, выводы, грани, поверхности, области воздействия акустических возмущений и граничные условия. Также необходимо обозначить усредненные интегральные показатели голосов участников конфиденциальных переговоров, а также указать интегрирование этих элементов.

На рисунке 12 представлена соответствующая информация.

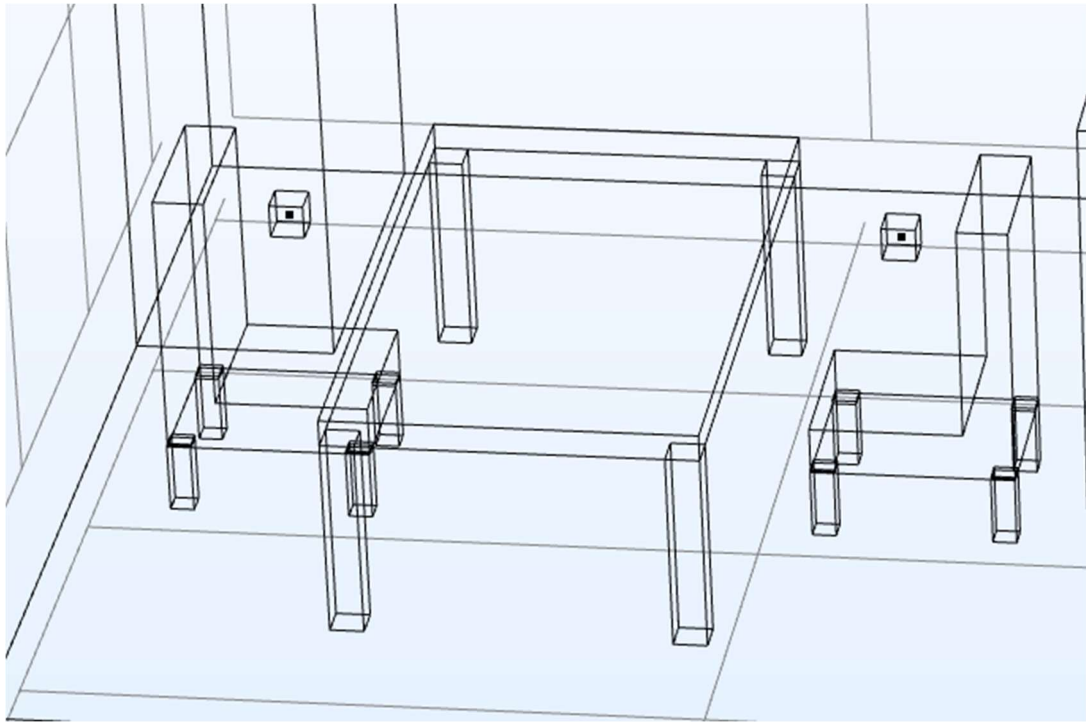


Рисунок 12 – Интегрирование голосов

### 3.6 Выбор методов измерения шума

В предыдущих разделах уже был представлен общий метод расчета шума в помещении для проведения конфиденциальных переговоров и смежных областей с использованием уравнения акустической диффузии. В этом разделе мы более подробно рассмотрим процесс расчета, реализованный в акустическом модуле программного комплекса «Comsol».

Общая форма уравнения контролируется непосредственно стадиями вычислений. Так как число стадий вычислений в данном расчёте равняется единице, можно сразу описать основное уравнение (рисунок 13).

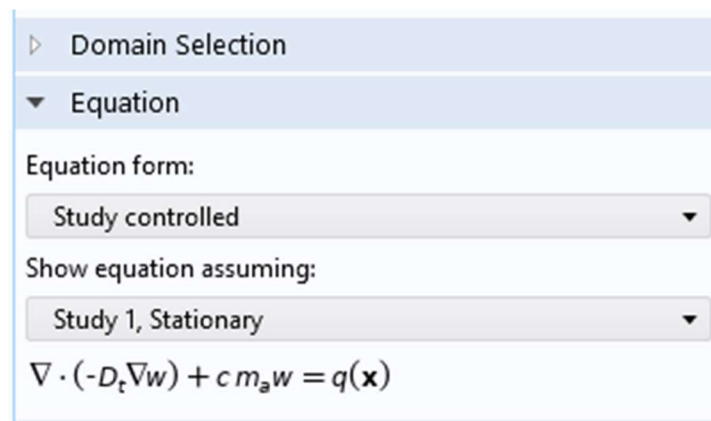


Рисунок 13 – Описание основного уравнения



В разделе настроек уровня звукового давления укажем опорное (начальное) давление звука для воздуха (рисунок 14).

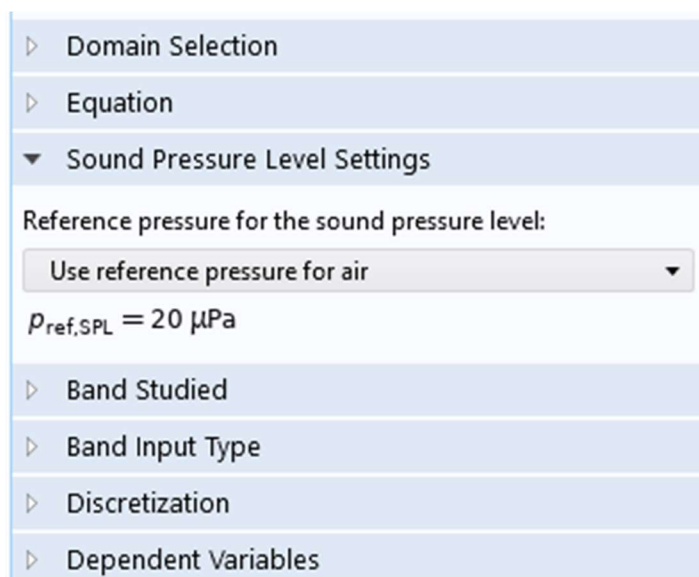


Рисунок 14 – Установка опорного давления звука

В разделе настроек ввода был выбран непрерывный тип (как показано на рисунке 15), который является предпочтительным для жилых помещений. Однако в данном исследовании несмотря на то, что исследуемое помещение не является жилым, этот тип все же является наиболее подходящим.

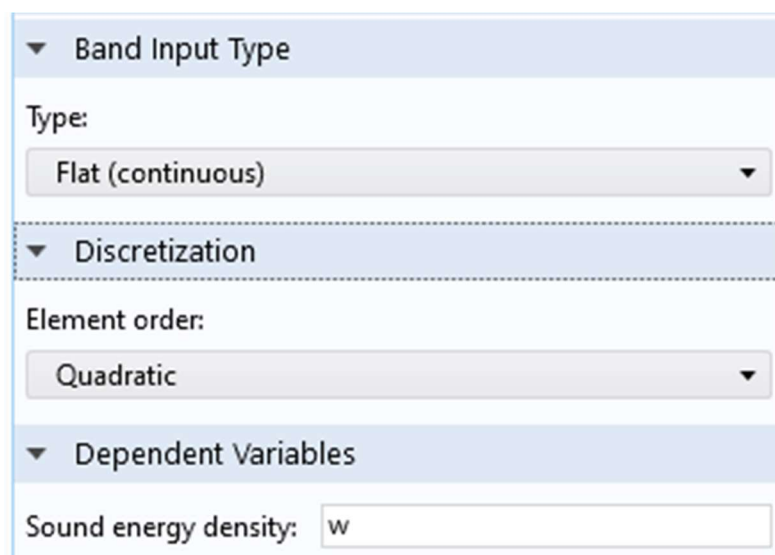


Рисунок 15 – Тип ввода и зависимая переменная

Также следует указать на основную зависимую переменную – плотность звуковой энергии.

Теперь мы можем более подробно описать модель акустической диф-

фузии. Основное уравнение для построенной модели практически не изменилось (как показано на рисунке 16), и мы добавим некоторые входные данные:

- температура;
- абсолютное давление;
- эталонная температура деформации.

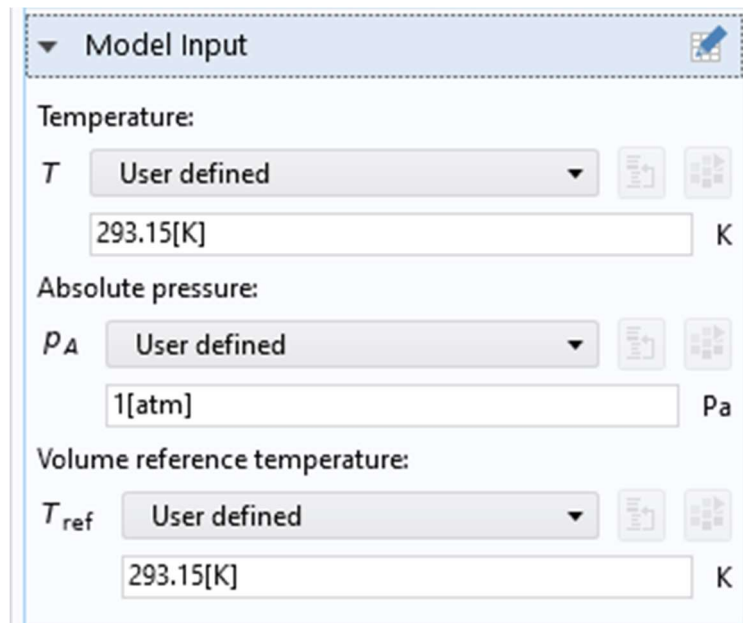


Рисунок 16– Пользовательские входные данные

Получим основные формулы расчёта для исследуемого помещения и смежных с ним областей (рисунок 17).

$$D_t = D = \frac{\lambda c}{3}$$
$$\lambda = \frac{4V}{S}$$
$$S = \int_{\partial\Omega} 1 dA \quad V = \int_{\Omega} 1 dV$$

Рисунок 17 – Формулы для исследуемого помещения

Необходимо настроить формулы расчета для всех "твердых" поверхностей исследуемого помещения для проведения конфиденциальных переговоров и смежных с ним областей (как показано на рисунке 18), учитывая ука-

занные выше параметры. В разделе свойств поглощения поверхностей укажем соответствующую глобальную переменную (коэффициент поглощения).

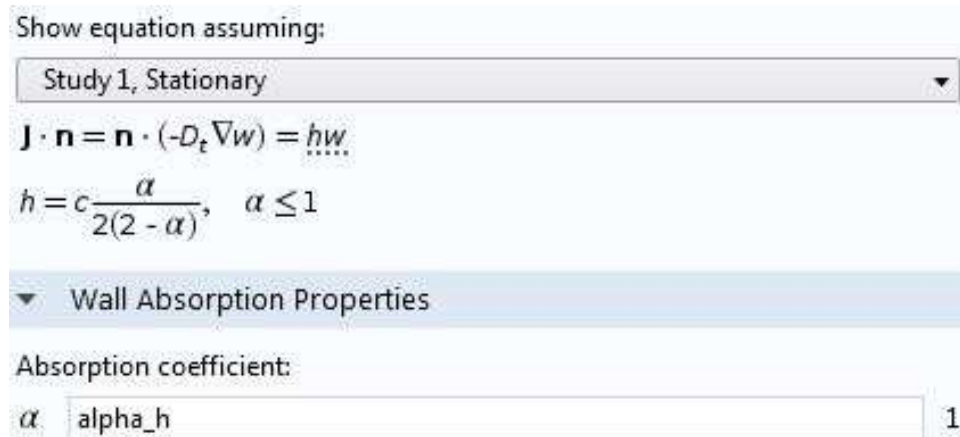


Рисунок 18 – Формулы для «Твёрдых» поверхностей помещения

Аналогично отобразим формулы и коэффициент поглощения для поверхностей со стороны исследуемого помещения для проведения конфиденциальных переговоров окна, двери, вентиляционного отверстия и гипсокартонной перегородки. Таким же образом отображаются эти же поверхности со стороны смежных областей.

### 3.7 Разбиение объектов помещения на сетку ячеек

Разделение области на подобласти имеет феноменологический характер и зависит от имеющихся навыков. Неправильное разбиение может привести к ошибочным результатам, даже если остальные этапы метода проводятся точно. Процедура дискретизации области включает определение числа, размеров и формы подобластей, которые используются для построения дискретной модели реального объекта. Выбор элементов должен быть точным, и размеры элементов должны зависеть от сходимости задачи. Поэтому необходимо иметь общие представления о конечных значениях, чтобы уменьшить размеры элементов в областях с высокими градиентами и увеличить их в областях с низкими градиентами. Стоит отметить, что в программных комплексах, таких как COMSOL, пользователь самостоятельно проводит дискретизацию области. Это обусловлено отсутствием универсального метода разбиения на элементы, и наиболее эффективным методом разбиения является опыт

и знание пользователем характеристик описываемого процесса.

Для разбиения области на конечные элементы необходимо разделить процесс дискретизации на две части:

- разбиение объекта на элементы;
- нумерация элементов и узлов.

Дискретизация одномерного объекта осуществляется путем деления отрезка на более короткие участки, где можно изменять количество и размеры этих участков. В некоторых случаях эффективным может быть разбиение на участки разной длины в соответствии с природой протекающего процесса.

В данной работе была использована сеть элементарных ячеек с пользовательскими настройками, а не автоматически заданными. Это связано с ограниченными возможностями аппаратных средств, на которых выполнялись автоматизированные вычисления.

Разбивается модель на относительно мелкие элементы (рисунок 19).

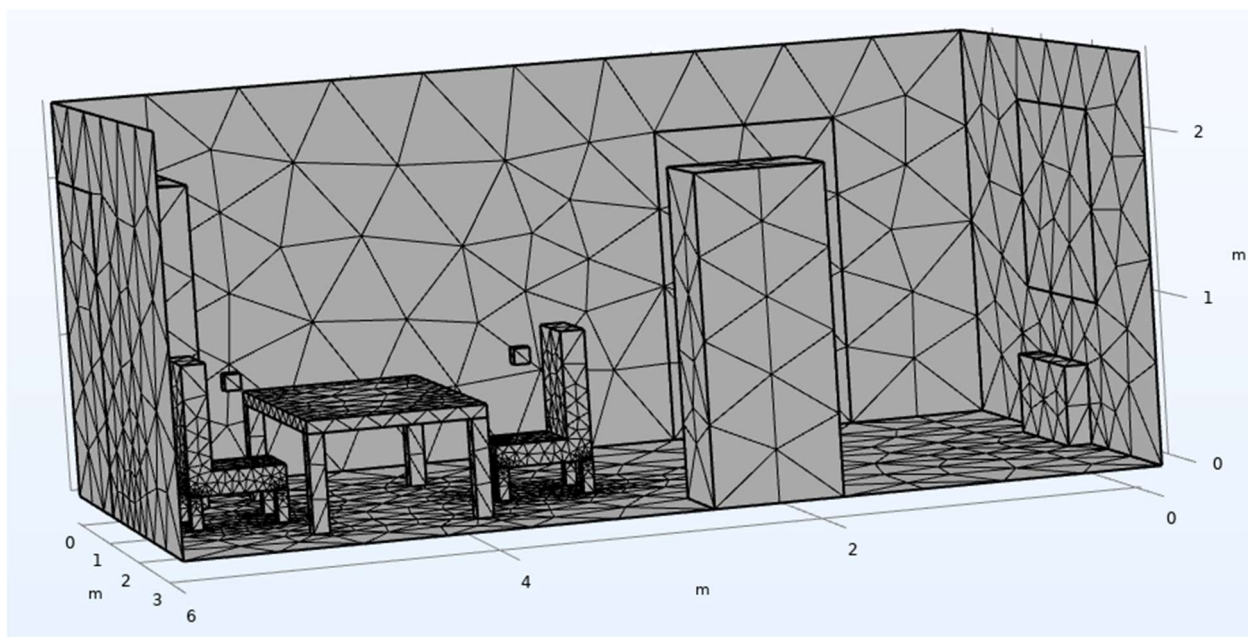


Рисунок 19 – Модель, разбитая на конечные элементы

Максимальный размер конечного элемента – 0,283 м. Минимальный размер конечного элемента – 0,0206 м. Максимальный тем роста элемента – 1,4. Коэффициент кривизны – 0,4. Разрешение узких регионов – 0,7. Уровень геометрической сущности – домены.

Контрольные объекты:

- включена поддержка сглаживания элементов;
- количество итераций – 4;
- максимальная глубина элемента для обработки – 4.

Уровень оптимизации – базовый.

### **3.8 Проведение расчётов распространения звука и результаты**

При выполнении расчётов распространения звука в акустическом модуле программного комплекса «Comsol» были установлены следующие настройки «обучения»:

- генерация графиков по умолчанию;
- генерация графиков сходимости.

Ориентировочное время вычислений на стационарном персональном компьютере с 16 Гб оперативной памяти – 30 секунд.

Настройки результатов решения заданы следующие:

- исследование всех элементов;
- обновление результатов – выходные результаты.

Настройки значений зависимых переменных:

- начальные значения и нерешаемые значения контролируются заданной физикой модели;
- все данные на выходе сохраняются.

Решатель: MUMPS (MUltifrontal Massively Parallel Solver) – это один из решателей, доступных в COMSOL Multiphysics.

MUMPS является параллельным прямым решателем для разреженных линейных систем уравнений.

Коэффициент разбиения памяти – 1,2.

Алгоритм предварительной обработки – автоматический с упорядочиванием.

На рисунке 20 представлено распространение звукового давления в помещении.

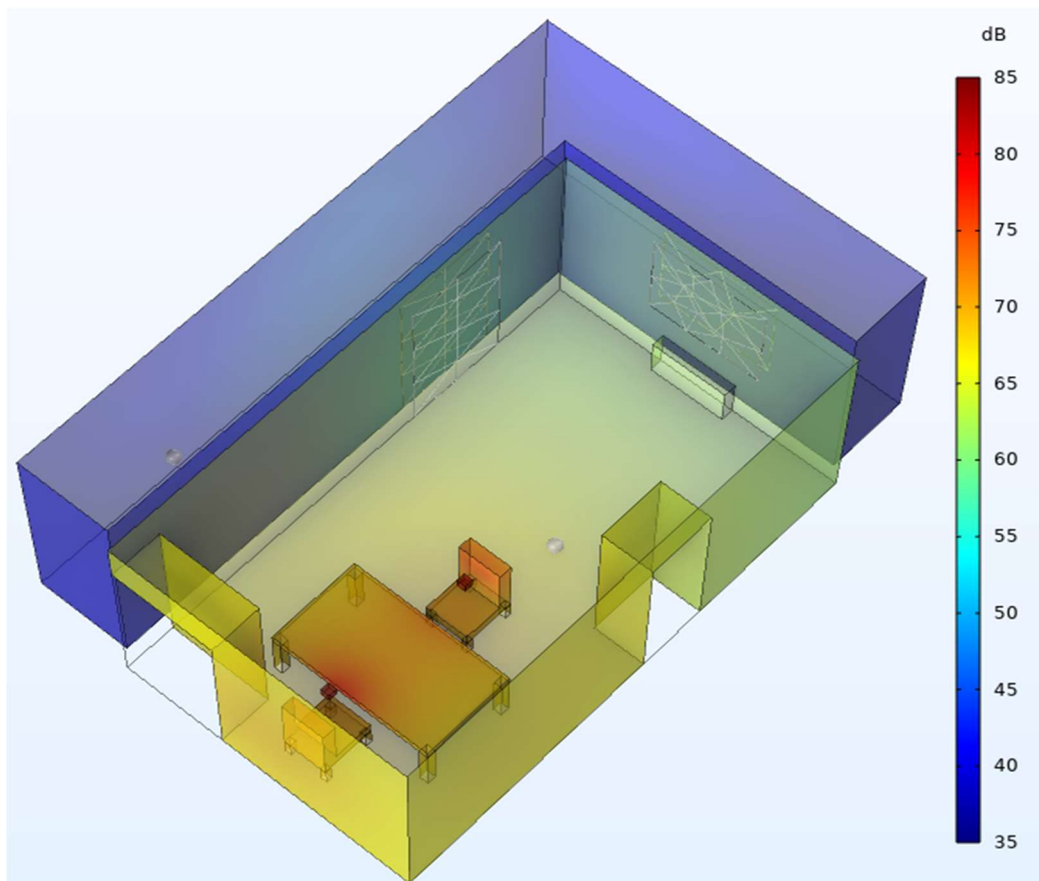


Рисунок 20 – Распространение звукового давления в дБ

На рисунке 21 представлено распространение локального потока энергии.

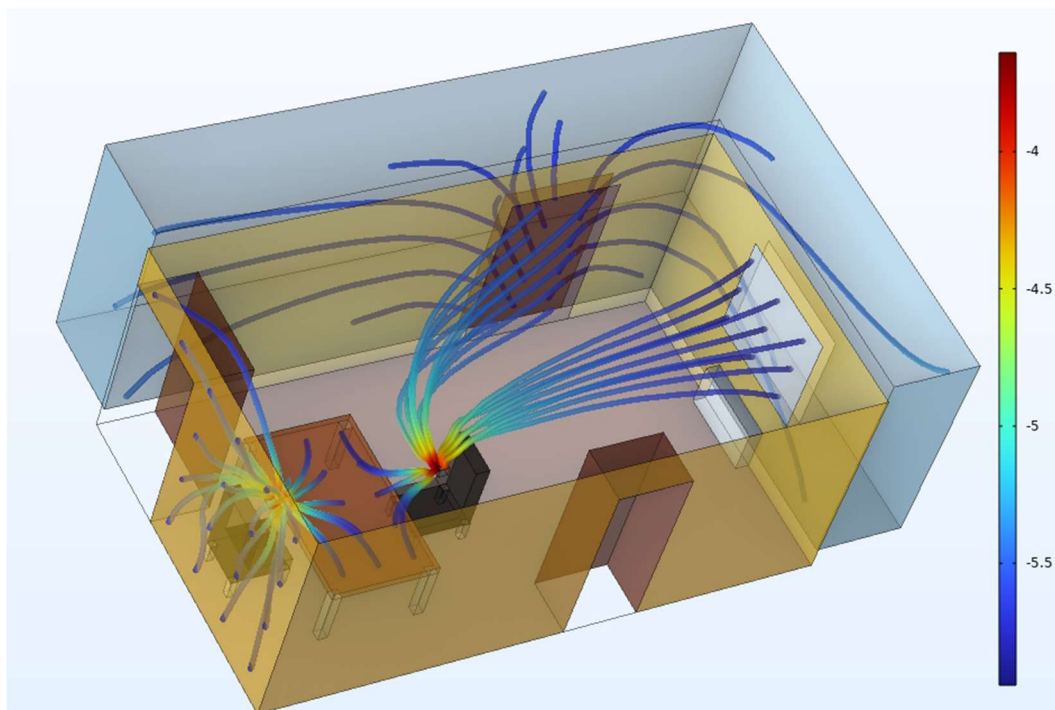


Рисунок 21 – Распространение потока энергии в дБ

### 3.9 Итоговый сравнительный анализ

Для удобства анализа результаты измерений представлены в виде диаграммы на рисунке 22.

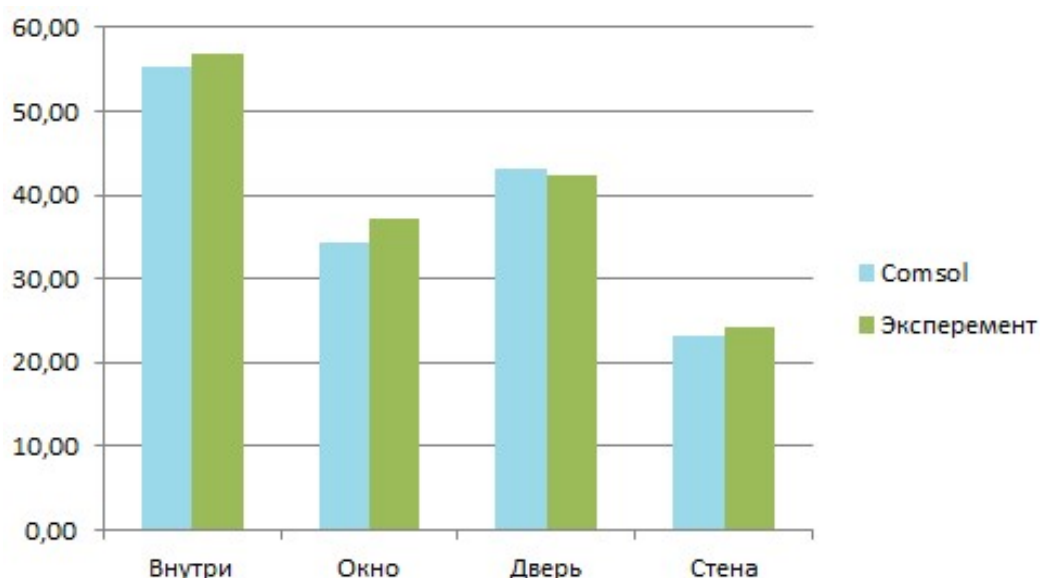


Рисунок 22 – Сравнение показателей замеров и моделирования в «Comsol»

Проанализировав график, можно понять, что наибольшее несоответствие наблюдается при сравнении результатов измерения громкости звука за окном. Также видно, что наиболее оптимальным местом прослушивания для злоумышленника является дверь. Следовательно, необходимо выполнить усиление звукоизоляции на двери в первую очередь.

### 3.10 Исследование STL бетонной стены

Потери при передаче звука (в англ. Sound Loss Transmission или STL) через элемент конструкции представляют собой логарифмическое отношение общей мощности, падающей на конструкцию, к общей передаваемой через этот элемент мощности:

$$STL = 10 \log \frac{P_{in}}{P_{tr}}, \quad (14)$$

где  $P_{in}$  – общая мощность, падающая на конструкцию;

$P_{tr}$  – общая передаваемая мощность через конструкцию.

Существует несколько стандартов для измерений STL и методов, раз-



работанных для прямого или косвенного измерения падающей и передаваемой мощности. Как правило, используется так называемый "метод двух помещений". В нем используется одна из двух типовых конфигураций:

- реверберационная камера на стороне источника и на стороне приёмника (реверберационно-реверберационная);
- реверберационная камера на стороне источника и безэховая камера на стороне приёмника (реверберационно-безэховая).

Для бетонной стены было реализовано идеальное диффузное поле со стороны источника, а на стороне приемника создана идеальная безэховая камера. Используя данный подход, можно извлечь идеальный STL, который не зависит от конкретного эксперимента. Также предполагается, что бетонная стена оказывает незначительное влияние на звуковое поле на стороне источника. Это справедливо для относительно жестких конструкций с низкими характеристиками звукопоглощения и в целом для конструкций с высоким уровнем STL. Схема реализации модели бетонной стены в реверберационно-безэховой камерах представлена на рисунке 23.

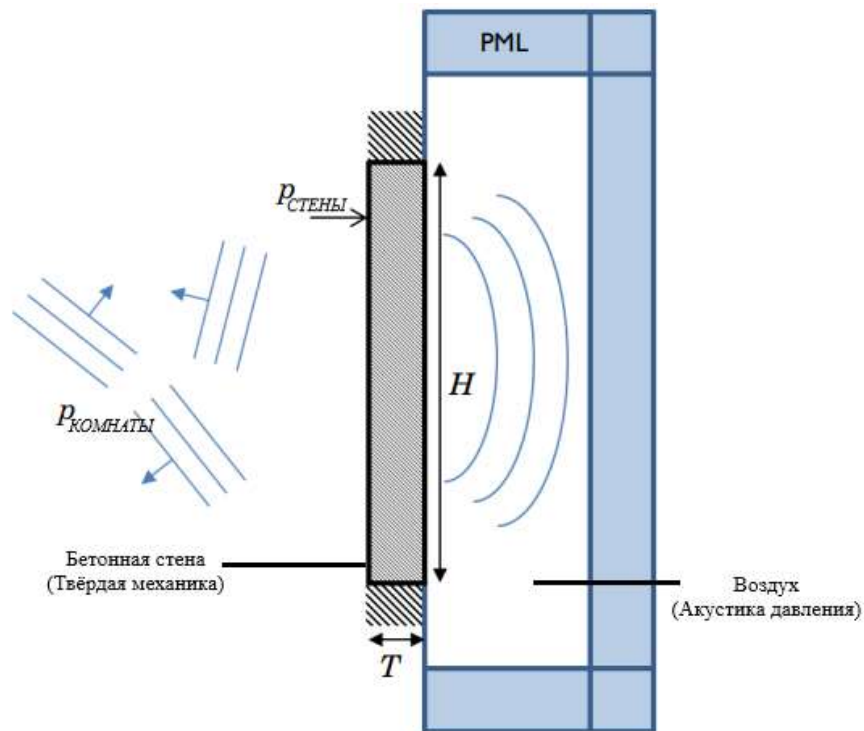


Рисунок 23 – Модель рассматриваемой бетонной стены



В рассматриваемой модели задается идеальное рассеянное поле на стороне источника и реализована безэховая камера на стороне приемника. На стороне источника поле (и его отражения) не моделируются явно, а просто заданы как нагрузка на механическую конструкцию. Диффузное поле определяется как сумма плоских волн со случайным направлением и случайной фазой (здесь используется 100 волн) и соответствующих отраженных волн. Модель должна учитывать нарастание давления на стене из-за отражений. Для всех функций, которые генерируют случайные значения, используются разные случайные начальные значения. На стороне приемника в качестве безэховой камеры используется воздушная область, ограниченная со всех сторон идеально согласующими слоями (PML). Статистическая природа диффузного поля подразумевает, что модель следует запускать несколько раз с различными случайными начальными значениями. Это особенно важно на высоких частотах.

Бетонная стена была перенесена с модели помещения для конфиденциальных переговоров в отдельный проект для реализации условий, необходимых для вычисления STL. 3D-модель бетонной стены представлена на рисунке 24.

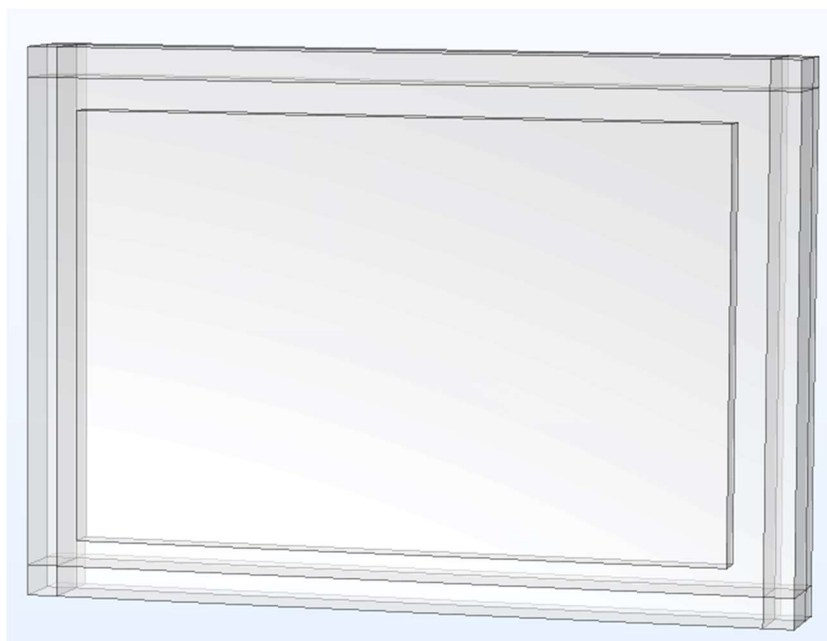


Рисунок 24 – 3D-модель бетонной стены

Результаты моделирования акустического давления сквозь бетонную стену представлены на рисунке 25.

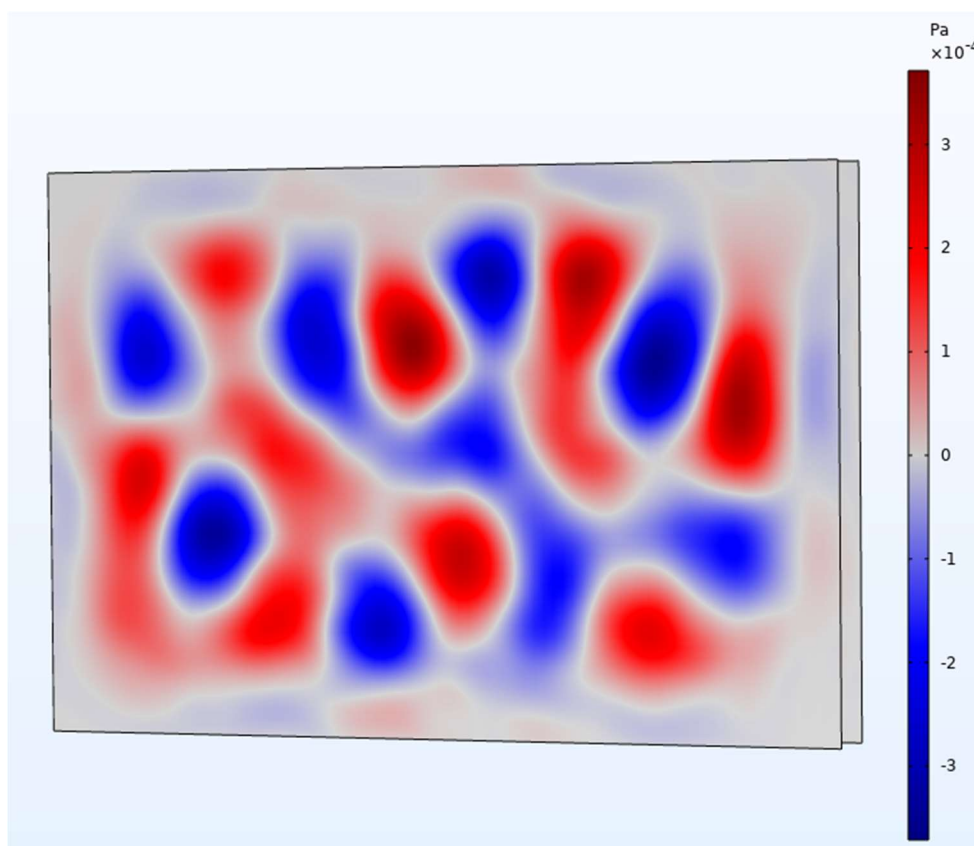


Рисунок 25 – Общее акустическое давление сквозь стену

Потери при передаче звука (STL) через бетонную стену показаны как функция от частоты на графике (рисунок 26). Синяя кривая отражает результаты моделирования (для одной заданной конфигурации диффузного поля). Она является результатом детерминированного подхода (сумма конечного числа волн), используемого для моделирования диффузного поля. Зеленые столбики представляют усредненные значения по октавному диапазону. Красная кривая визуализирует типичные результаты измерений для аналогичной конструкции.

Синяя расчётная кривая иллюстрирует типичное поведение STL. Два провала между 100 Гц и 200 Гц соответствуют первым двум собственным частотам стены ( $f_{l1} = 113$  Гц и  $f_{l2} = 170$  Гц). На этих частотах STL низкий и, следовательно, звукоизоляция плохая. Ниже механических резонансов STL

определяется жесткостью и во многом зависит от граничных условий, применяемых к тестовому образцу.

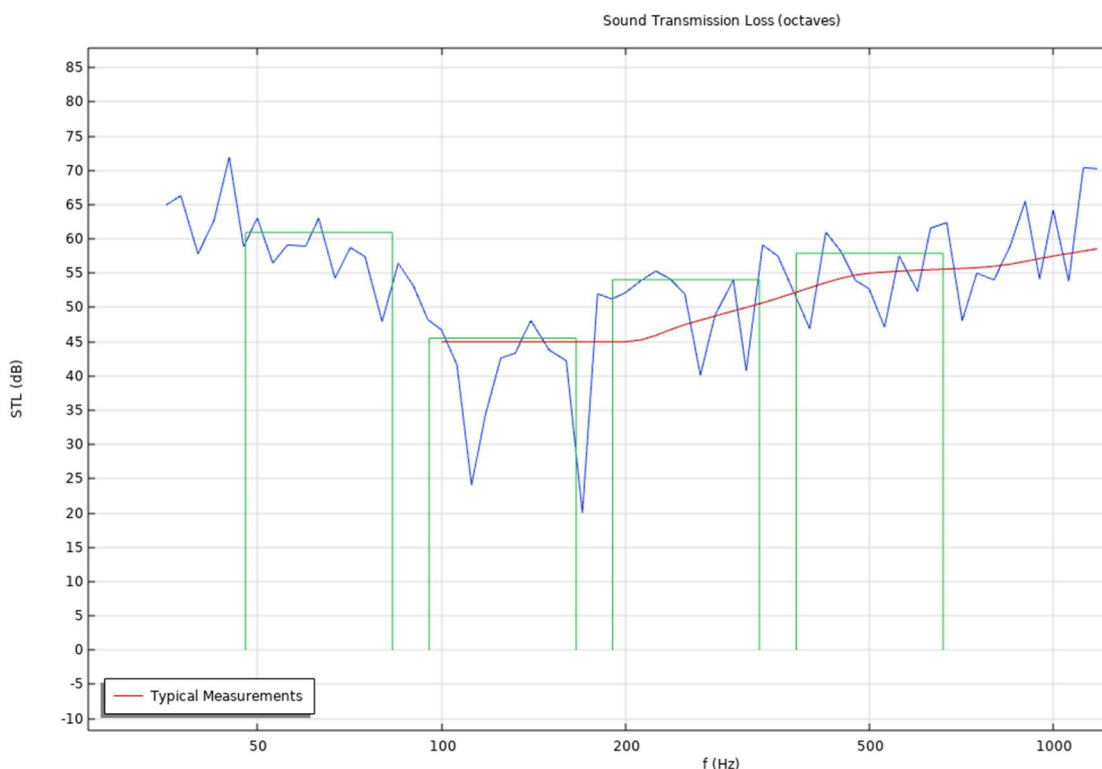


Рисунок 26 – Расчётные потери на передачу звука (STL)

### 3.11 Рекомендации по улучшению звукоизоляции помещения

Основываясь на проведенном анализе инженерных систем (конструкций) и выполненных вычислениях и расчетах по методу Покровского, были разработаны методологические рекомендации по улучшению защиты от утечек информации через акустический канал в каждом из рассматриваемых случаев. Расчеты первого эксперимента были проведены для изучения общего распространения звука в исследуемом помещении при проведении конфиденциальных переговоров. В данной ситуации основной мерой для повышения эффективности защиты информации через акустический канал является ограничение доступа посторонних лиц в исследуемое помещение во время совещания (включая случайных сотрудников, уборщиков, секретарей).

При анализе результатов эксперимента по звукоизоляции двери, где словесная разборчивость была приблизительно 88 %, было предложено использовать специальные материалы для обшивки межкомнатных дверей. Для

этого необходимо выполнить следующие действия:

- заполнить все щели между стеной и дверной коробкой;
- обшить двери с той стороны, где потенциальный источник шума;
- наклеить уплотнитель по всему периметру дверной коробки;
- установить порог для сокращения распространения шума.

В качестве наполнителя могут использоваться материалы, такие как ватин, синтепон, минеральная вата, поролон. Они могут быть наклеены на поверхность двери с высокой степенью звукопоглощения, такие как дермантин, искусственная кожа или специализированные звукопоглощающие плиты, расположенные плотно друг к другу.

Важно следить за тем, чтобы зазор между полотном и дверной коробкой не превышал 1 см. Для уплотнения можно использовать пустотелый резиновый профильный шнур.

Для улучшения звукоизоляции также можно применять специальные звукопоглощающие порошки или приклеить щеточный уплотнитель к нижней части двери. В идеале рекомендуется установка тамбура.

При анализе результатов эксперимента по звукоизоляции окна, где словесная разборчивость составила примерно 94 %, было предложено использовать заполнение камер пластикового окна газами, такими как ксенон, аргон или криптон.

При заполнении камер окна следует регулярно проверять стеклопакеты на наличие щелей и трещин, а также проверять плотность прилегания створок к раме, чтобы предотвратить утечку газа и удостовериться, что окно должным образом защищает от звука.

При возможности, необходимо добавить дополнительный слой стекла в оконную раму для повышения эффективности звукоизоляции.

## 4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

### 4.1 Безопасность

В исследуемом помещении, где проводятся конфиденциальные переговоры, установлена персональная электронно-вычислительная машина (ПЭВМ). В связи с этим, требуется анализировать стандарты, требования и последствия использования данного вычислительного устройства.

Воздействие компьютерной техники на человека, в целом, имеет меньший негативный характер и смягчается множеством положительных моментов. Тем не менее, у пользователей, которые длительное время работают за ПЭВМ, могут наблюдаться некоторые негативные реакции, такие как нарушение зрительных функций и быстрая общая утомляемость. Чтобы предотвратить вредное воздействие при работе с компьютерной техникой, необходимо соблюдать соответствующие меры безопасности, правильно организовывать рабочее место и режим работы.

Меры безопасности при работе с ПЭВМ:

– конструкция ПЭВМ должна позволять корпусу вращаться как по горизонтальной, так и по вертикальной плоскости, при этом должна быть возможность фиксации корпуса в заданном положении для обеспечения удобного просмотра экрана ВДТ, дизайн корпуса ПЭВМ должен быть выполнен в спокойных мягких тонах с рассеиванием света, а его поверхность должна быть матовой, с коэффициентом отражения света от 0,4 до 0,6, кроме того, на корпусе ПЭВМ не должно быть блестящих элементов, способных создавать блики;

– площадь, выделенная для каждого рабочего места пользователя ПЭВМ с ВДТ на основе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), должна быть не менее 6 квадратных метров, в случае использования ПЭВМ с плоскими дискретными экранами (например, жидкокристаллическими или плазменными) в помещениях культурно-развлекательных учреждений, площадь должна со-

ставлять не менее 4,5 квадратных метров;

– при отделке внутреннего интерьера помещений, где расположены ПЭВМ, следует использовать материалы с диффузным отражением света, коэффициент отражения для потолка должен быть в диапазоне от 0,7 до 0,8, для стен – от 0,5 до 0,6, а для пола – от 0,3 до 0,5;

– освещенность на рабочей поверхности стола в зоне размещения рабочих документов должна составлять 300-500 люкс, при этом освещение не должно создавать бликов на экране, освещенность поверхности экрана не должна превышать 300 люкс;

– экран видеомонитора должен находиться на расстоянии (600-700) мм от глаз пользователя, но не ближе 500 мм, учитывая размеры символов и знаков на экране;

– высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна быть регулируемой в пределах от 680 до 800 мм, если такая возможность отсутствует, высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм;

– клавиатура должна быть размещена на поверхности стола на расстоянии от 100 до 300 мм от края, обращенного к пользователю, либо на специальной поверхности, отделенной от основного стола и регулируемой по высоте.

Согласно мнению многих специалистов, работа с дисплеем не связана с вредным радиобиологическим воздействием. Допустимая мощность дозы рентгеновского излучения перед экраном на расстоянии 5 см от его поверхности составляет 0,5 мкР/ч. Интенсивность излучения дисплея не превышает предельно допустимой дозы радиации, что означает, что условия труда можно считать безопасными. Однако рекомендуется соблюдать некоторые предосторожности: ограничить время, проводимое перед экраном, избегать сосредоточенного размещения дисплеев в рабочей зоне и использовать защитные экраны для дисплеев.

Результаты многих исследований показывают, что наиболее негативное физиологическое воздействие на операторов ПЭВМ связано с неприятными условиями зрения, вызванными неправильной системой освещения: прямым и отраженным блеском от экранов, неблагоприятным распределением яркости в поле зрения и неправильной ориентацией рабочего места относительно источников света.

Необходимо располагать рабочее место с дисплеем таким образом, чтобы окна или осветительные приборы не попадали в поле зрения оператора, а также не находились непосредственно за его спиной. Желательно уменьшить отражения на экране от источников искусственного и естественного света. Если искусственный свет смешивается с естественным, рекомендуется использовать лампы с близким к солнечному спектральному составу. Соотношение яркости экрана и окружающей среды не должно превышать 3:1.

Оптимальные значения температуры воздуха в помещении должны быть в пределах от 19 °С до 23 °С. Рекомендуемая относительная влажность составляет 55 %. Скорость движения воздуха не должна превышать 0,1 м/с.

Рабочее помещение, где располагаются компьютеры, должно обладать достаточной просторностью и хорошей вентиляцией. Минимальная площадь на один компьютер составляет 6 м<sup>2</sup>, а минимальный объем – 20 м<sup>3</sup>. В исследуемом помещении имеется площадь 21 м<sup>2</sup> и объем 58,8 м<sup>3</sup>, что соответствует минимальным требованиям.

Работа с компьютером часто осуществляется в помещениях с искусственным освещением, которое должно обеспечивать правильное функционирование глаз и приближать зрительное восприятие к оптимальным условиям, как при естественном солнечном освещении.

Человек обладает как центральным (колбочковым), так и периферийным (палочковым) зрением. Центральное зрение необходимо для восприятия цветов и малых объектов, а периферийное зрение – для восприятия окружа-

ющего фона и больших объектов. Центральное зрение требует большей яркости, в то время как палочковое зрение работает лучше в условиях сумерек или полумрака. Учитывая, что работа с дисплеями включает в себя использование именно центрального зрения, становится понятным, почему необходимо обеспечить достаточное освещение в помещении, где находится компьютер. Общие правила организации освещения включают следующее:

- рекомендуется избегать большого контраста между яркостью экрана и окружающего пространства, оптимальным считается достижение баланса между ними;

- не рекомендуется работать с компьютером в темных или полутемных помещениях, в помещениях, где используется компьютер, освещение должно быть комбинированным – сочетать естественное освещение от солнечного света и искусственное освещение.

Желательно, чтобы окна, обеспечивающие естественное освещение, были ориентированы на северную сторону. Если это не так, необходимо принять меры, чтобы интенсивный солнечный свет из южных или западных окон не мешал работе. Например, оконные проемы можно оснастить жалюзи, занавесями или наружными козырьками.

В качестве источников общего искусственного освещения рекомендуется использовать осветительные приборы, обеспечивающие равномерное освещение через рассеянное или отраженное светораспределение (где свет направлен на потолок), и исключающие блики на мониторе и клавиатуре. Согласно санитарным нормам, предпочтение следует отдавать преимущественно люминесцентным лампам типа ЛБ с рассеивателями или экранирующими решетками. Пульсации света от люминесцентных ламп могут вызывать раздражение глаз и нервной системы у операторов, поэтому для снижения пульсации рекомендуется использовать лампы, оснащенные высокочастотными пускорегулирующими устройствами. Следует отметить, что существуют специальные люминесцентные лампы, способные эмулировать полный



спектр естественного солнечного света. Эти лампы вызывают меньшее раздражение, чем другие искусственные источники света.

Необходимо равномерно распределять источники света по комнате, формируя сплошные или прерывистые линии. Линии освещения должны быть расположены боковыми относительно рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя, если компьютеры расположены в рядах, или быть сосредоточенными над рабочими столами, если рабочие места расположены по периметру помещения. Грамотное организованное освещение способно повысить производительность труда при выполнении работ со средней зрительной нагрузкой от 5 % до 6 % и при выполнении работ с высокой зрительной нагрузкой на 15 %.

Если пользователь занимается комбинированной деятельностью, включающей работу с компьютером и документами, необходимо устанавливать местные источники освещения, такие как настольные лампы с регулируемым углом наклона плафона и регулируемой яркостью. При этом необходимо следить, чтобы свет от лампы не вызывал раздражение и не создавал бликов на экране.

Рабочее место – это место, где пользователь работает с компьютером и связанными с ним устройствами. Оно включает в себя не только компьютерное оборудование, такое как системный блок, монитор, клавиатура и мышь, но и рабочую мебель, освещение и другие элементы, необходимые для комфортной и безопасной работы. Основная цель рабочего места за компьютером – обеспечить эффективность работы пользователя и защиту его здоровья и благополучия. Эргономические принципы и стандарты применяются для оптимальной организации рабочего места, включая расположение компьютерного оборудования, мебели, освещения, а также для учета факторов, влияющих на здоровье и комфорт пользователя, таких как позиция тела, освещение, шум и электромагнитные излучения.

Системный блок, монитор, клавиатура, мышь и периферийные устрой-

ства должны быть размещены так, чтобы пользователь мог вращаться в горизонтальном и вертикальном направлениях. При этом, сохраняя свою позицию, пользователю должно быть удобно просматривать экран монитора. Внешний вид указанных устройств и компьютерных блоков должен быть спокойным, не вызывающим раздражения и не отражающим свет. Поверхность устройств должна быть матовой, с коэффициентом отражения (0,4-0,6), и не должна иметь блестящих деталей, способных создавать блики. Конструкция монитора должна предусматривать регулировку яркости и контрастности.

Согласно стандартам, площадь на одно рабочее место пользователей компьютеров с мониторами на основе катодно-лучевых труб (КЛТ) должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup>, с мониторами на основе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) – 4,5 м<sup>2</sup>. Если используются компьютеры с мониторами на основе КЛТ (без дополнительных устройств, таких как принтеры, сканеры и др.), соответствующих международным стандартам безопасности компьютеров, и время работы составляет менее 4 часов в день, допускается минимальная площадь 4,5 м<sup>2</sup> на одно рабочее место пользователя.

Помещения, где устанавливаются рабочие места с компьютерами, должны быть оборудованы защитным заземлением в соответствии с техническими требованиями. Рабочие места с компьютерами должны быть размещены таким образом, чтобы расстояние от экрана одного видеомонитора до тыла другого было не менее 2 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов составляло не менее 1,2 м.

Рабочая мебель для пользователей компьютеров должна соответствовать следующим требованиям:

– высота рабочей поверхности стола должна регулироваться в пределах 680-800 мм; если такая возможность отсутствует, высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм;

– рабочий стол должен иметь свободное пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной не менее 500 мм, глубиной на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм;

– рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья; каждый параметр должен быть независимо регулируемым, легко настраиваемым и надежно фиксируемым;

– рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, ширина которой составляет не менее 300 мм, глубина не менее 400 мм, регулировка по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности до 20 градусов; поверхность подставки должна быть шероховатой и иметь выступ высотой 10 мм вдоль переднего края;

– клавиатуру следует размещать на поверхности стола на расстоянии от 100 до 300 мм от края, обращенного к пользователю, либо на специальной рабочей поверхности, отделенной от основного стола и регулируемой по высоте.

В помещениях, где установлены компьютеры, необходимо ежедневно проводить влажную уборку и регулярно проветривать помещение после каждого часа работы на компьютере.

В исследуемом помещении все рекомендации соблюдаются.

При работе за компьютером в течение длительного времени важно уделять внимание физическому здоровью и предотвращать негативные последствия длительного сидячего положения. Сочетание регулярных перерывов, упражнений и правильной осанки поможет снизить риск развития проблем со спиной, глазами, шеей и другими частями тела. Прежде всего, необходимо обратить внимание на комплекс упражнений, направленных на сохранение здоровья глаз. В этот комплекс входят следующие упражнения:

– рисование глазами геометрических фигур, букв или цифр;

– массаж глаз, осуществляемый легким нажимом тремя пальцами каж-

дой руки на верхние веки в течение 1-2 секунд;

- моргание в течение примерно 20-30 секунд;

- переключение между максимально раскрытыми и зажмуренными глазами в течение 15 секунд;

- концентрация, при которой сначала смотрим на горизонт, а затем на кончик носа в течение 5-10 секунд.

Для достижения наилучших результатов рекомендуется выполнять этот комплекс упражнений дважды в день в одно и то же время.

Во-вторых, следует обратить внимание на комплекс упражнений для головы, шеи, рук, туловища и ног:

- медленно наклонять голову вниз, прижимая подбородок к груди и находясь в этом положении в течение 5 секунд. Повторить до 10 раз;

- опуститься на спинку кресла, положить руки на бедра, закрыть глаза и расслабиться, находясь в этом положении в течение 10-20 секунд;

- поворачивать голову вперед-назад, а затем вправо-влево;

- встать прямо, ноги на ширине плеч. Поднять руки вверх, встать на носочки и потянуться. Опуститься, опустить руки вдоль тела и расслабиться. Повторить от 3 до 5 раз.

Этот комплекс упражнений поможет улучшить кровообращение, снять мышечное напряжение и уменьшить негативное воздействие длительной работы за компьютером на физическое здоровье сотрудника.

#### **4.2 Экологичность**

Все устройства и оборудование, применяемые на предприятии, регистрируются с помощью присвоенных инвентарных кодов, которые вносятся в базы данных организации и остаются в них как действующие до момента списания. Списание выполняется по трем причинам:

- физическое старение;

- моральный износ;

- неустранимый дефект или повреждение.

Компьютерное оборудование отличается тем, что чаще всего оно морально стареет и устаревает. Технологии активно развиваются и продвигаются вперед, что неизбежно требует замены все еще работоспособного и исправного оборудования на предприятии для выполнения новых задач. В связи с этим для компьютерной техники и оргтехники законодательством установлены относительно короткие сроки службы для расчета амортизации – от 3 до 5 лет.

На предприятии оборудование может продолжать работать более 5 лет, оставаясь в рабочем состоянии и выполняя свои функции. Из-за этого обновление устройств может происходить реже. Рекомендуется уменьшить срок службы оборудования до установленных 5 лет и по истечении этого времени заменять устаревшие модели на более новые. Это повысит производительность рабочего процесса и снизит риск возникновения опасных сбоев в работе оборудования, так как большая часть устройств может быть опасной при неправильном использовании.

Для списания компьютерного оборудования и оргтехники на предприятии формируется комиссия, состоящая из сотрудников учреждения, обладающих соответствующей квалификацией. Члены этой комиссии составляют акт, в котором подробно описываются причины, мешающие дальнейшему использованию данного оборудования. Решение комиссии должно быть законным, поэтому к нему прикладываются документы, такие как приказ о создании комиссии, копии инвентарных карточек, копии актов о поломке и т.д.

После утверждения акта производится разборка списываемой техники для извлечения компонентов, содержащих драгоценные металлы. Затем эти детали направляются на специализированное предприятие, где из них извлекают золото и серебро. Оставшиеся части списанного оборудования отправляются на завод, специализирующийся на утилизации опасных отходов предприятий.

После завершения всех этапов можно приступать к составлению акта,

на основании которого техника снимается с учета. К данному акту прилагаются документы, подтверждающие извлечение драгоценных металлов из оборудования и правильную утилизацию оставшегося мусора в соответствии с установленными требованиями.

В управлении осуществляется списание при помощи специализированной компании, занимающейся утилизацией офисного оборудования, что также является допустимым. В данном случае процесс списания осуществляется быстрее и с меньшими затратами для сотрудников предприятия.

Помимо компьютерной и оргтехники, особое внимание требуют осветительные устройства. Для освещения рабочих помещений на предприятии используются люминесцентные лампы. Пары ртути, содержащиеся в таких осветительных приборах, относятся к первому классу опасности (чрезвычайно опасные вещества). В связи с этим, такие лампы должны быть утилизированы в специальном порядке.

Исправившиеся люминесцентные лампы незамедлительно удаляются из осветительного устройства и упаковываются в отдельную картонную коробку. В случае отсутствия таких упаковок, каждая лампа надежно обертывается в плотную бумагу или картон, чтобы предотвратить механические повреждения.

Согласно положениям пунктов 2.4 и 2.5 постановления Правительства РФ от 3 сентября 2010 года № 681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащее сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде», накопление использованных ртутьсодержащих устройств осуществляется в отдельном помещении, изолированном от других отходов.

Для утилизации и удаления накопленных отходов привлекается специализированная компания, с которой заключается контракт на предоставление

экологических услуг по удалению отходов. В договоре указываются следующие данные:

- наименование отходов, подлежащих удалению;
- класс опасности отходов;
- количество отходов;
- состояние отходов;
- местоположение отходов, наличие и характеристики упаковки;
- частота очистки временного места размещения отходов;
- условия и порядок погрузки и транспортировки.

Факт сдачи неисправных ламп оформляется актом приема-передачи, который подписывают обе стороны (предприятие и организация, принимающая отходы).

#### **4.3 Чрезвычайные ситуации**

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате происшествия, опасного естественного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут привести или привели к человеческим жертвам, ущербу здоровью людей или окружающей среде, значительным материальным потерям и нарушению условий жизнедеятельности людей.

Одним из возможных чрезвычайных событий на предприятии может быть возникновение пожара.

Существует набор правил, которые следует соблюдать при ЧС во время переговоров в специализированной комнате. При возникновении пожара и других аварийных ситуаций дежурный сотрудник, получив соответствующую информацию, объявляет тревогу. Уполномоченные лица, в пределах своих полномочий, руководят действиями персонала предприятия, привлекая технических специалистов и сотрудников ЧОП (частного охранного предприятия) при необходимости, о чем немедленно информируют руководство. При принятии решения об эвакуации персонала объекта и участников пере-

говоров, а также сохранении материальных ценностей создаются временные посты для охраны и усиления пропускного режима, чтобы предотвратить кражу конфиденциальной информации злоумышленниками. Производственные предприятия попадают под обширный перечень документов, которые устанавливают требования по созданию комфортных условий для сотрудников. Один из таких документов – правила пожарной безопасности на предприятии. Не все владельцы предприятий придают ему должное значение, что часто приводит к трагическим ситуациям. Пожарная безопасность является гарантией, что никому из людей ничего не случится, при условии соблюдения всех требований и правил, изложенных в этом документе.

На предприятии необходимо соблюдать следующие требования:

- назначение ответственных лиц, определение их обязанностей по пожарной безопасности на основании приказа руководителя;
- осуществление мер готовности к пожару;
- оснащение помещений и территории противопожарными устройствами и средствами (огнетушители, гидранты, песочные ящики, пожарные щиты), звуковой и световой сигнализацией;
- обучение всех сотрудников без исключения и ведение журнала проведенных занятий;
- утверждение порядка оповещения и эвакуации;
- размещение знаков и табличек с номерами специальных пожарных служб, установка необходимых телефонов.

При возникновении пожара необходимо сообщить о чрезвычайной ситуации по телефону: 01; 112, выключить все электронные устройства, обеспечить оперативную эвакуацию людей и принять меры для тушения пожара. Для тушения начальных стадий пожара применяются огнетушители. Учитывая, что в помещениях с компьютерами наиболее вероятные классы пожара – «А» и «Е» (то есть горение твердых веществ, сопровождающееся тлением – класс «А»; или пожары, вызванные возгоранием электроустановок – класс



«Е»), следует использовать углекислотные и порошковые огнетушители. Углекислотный огнетушитель ОУ-5 предназначен для тушения различных материалов, предметов и веществ, а также электроустановок, находящихся под напряжением до 1 кВ, и используется для тушения компьютеров и офисной техники.

При пожаре необходимо приблизить огнетушитель к источнику огня, направить струю газа в очаг пожара, сорвать пломбу (снять пин), открыть вентиль, нажать на спусковой рычаг и направить струю газа на огонь. Во время работы не следует держать рукой раструб, так как он имеет очень низкую температуру. Порошковый огнетушитель ОП-5 предназначен для тушения твердых, жидких, газообразных веществ и электроустановок, находящихся под напряжением до 1 кВ, и используется для тушения компьютеров и офисной техники. При пожаре необходимо поднести огнетушитель к очагу возгорания, снять пин, нажать на рычаг и направить шланг с распылителем на огонь. Расстояние от возможного очага пожара до расположения огнетушителя не должно превышать 20 м, если компьютеры установлены в общественных зданиях и сооружениях. В замкнутых помещениях объемом до 50 м<sup>3</sup>, в дополнение к переносным огнетушителям, можно использовать подвесные автоматические порошковые огнетушители.

Для предотвращения паники и обеспечения быстрой безопасной эвакуации персонала (в случае возможного задымления помещений и коридоров) следует размещать фотолюминесцентные эвакуационные знаки у дверных проемов, выключателей, рубильников и на пути возможной эвакуации для легкого обнаружения шкафов с первичными средствами пожаротушения.

Пути эвакуации, ведущие к основным эвакуационным выходам, обозначаются сплошной линией зеленого цвета с указанием направления движения. Пути эвакуации, ведущие к запасным эвакуационным выходам, обозначаются штриховой линией зеленого цвета с указанием направления движения.

По пути за собой необходимо плотно закрывать двери, чтобы преградить дорогу огню (дверь может задержать распространение горения более чем на 15 мин). Это даст возможность другим людям также покинуть опасную зону или даже организовать тушение пожара первичными средствами пожаротушения до прибытия подразделений пожарной охраны.

Комплекс помещений вычислительных центров должен иметь не менее двух независимых выходов для эвакуации. Для автоматического обнаружения пожаров можно использовать различные извещатели. Основное требование к ним состоит в их реакции на параметр окружающей среды. Ручные пожарные извещатели предназначены для передачи информации о пожаре человеком и должны быть установлены на высоте 1,5 м от пола. Автоматические пожарные извещатели, кроме световых, устанавливаются на потолке помещения.

На пожаре важна каждая минута. Первые 15 минут пожар распространяется линейно вдоль горючего материала. Помещение заполняется дымом, рассмотреть в это время пламя невозможно. Температура воздуха поднимается до 300 градусов. Через 20 минут начинается объёмное распространение пожара. Спустя ещё десять минут наступает разрушение стёкол. Увеличивается приток свежего воздуха, резко расширяются границы пожара. Температура достигает 900 градусов. Такие условия несовместимы с жизнью.

Действия рабочих и служащих после прибытия пожарных подразделений (оказание помощи в прокладке рукавных линий, участие в эвакуации материальных ценностей и выполнение других работ) осуществляются только по распоряжению руководителя пожаротушения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате квалификационного исследования разработан комплексный подход при исследовании звукоизоляции помещения для конфиденциальных переговоров, который включает не только уже известные этапы, такие как:

- анализ инженерной конструкции;
- замеры с помощью специализированных инструментов;
- практические расчеты;
- моделирование процесса распространения звука в исследуемом помещении для проведения конфиденциальных переговоров и в интересующих смежных зонах.

Научная новизна работы заключается в применении уже известных методов проектирования моделей распространения звука (шума) согласно всем правилам и нормам в области защиты информации. Но при этом надстройки используемого программного модуля были изменены согласно специфике исследования.

Опираясь на общеизвестные и наиболее подходящие способы измерения разборчивости речи, проведён анализ полученной модели, выявлены уязвимые места, в которых возможно образование акустического канала утечки информации, предложены методы их ликвидации.

Разработанный способ исследования мест нарушения звукоизоляции можно адаптировать на любое помещение в целом (коммерческая, государственная, правоохранительная сферы деятельности). Это в свою очередь подчёркивает универсальность исследования и его практическую значимость.

Кроме того, представленная работа профессиональной прикладной программы Comsol Multiphysics (версии 6.2) для квалификационного исследования звукоизоляции помещения для конфиденциальных переговоров отражает ещё один новый аспект и взгляд на использование указанного про-

граммного обеспечения.

В результате представлены места нарушения звукоизоляции и соответствующие ей методы защиты речевой информации по акустическим каналам связи в помещении для проведения конфиденциальных переговоров. Существуют различные способы несанкционированного получения информации через акустический канал. Поэтому акустические каналы, которые могут образоваться при проведении конфиденциальных переговоров, требуют тщательного изучения с целью разработки эффективных мер по их блокированию.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Абалмазов, Э. И. Методы и инженерно-технические средства противодействия информационным угрозам / Э. И. Абалмазов. – М. : Гротек, 2017. – 248 с.

2 Боголепов, И. И. Промышленная звукоизоляция / И.И. Боголепов. – Л. : Судостроение, 1986. – 368 с.

3 Бузов, Г. А. Защита от утечки информации по техническим каналам / Г. А. Бузов, С. В. Калини, А. В. Кондратьев. – М. : Горячая линия – Телеком, 2005. – 416 с.

4 Быков, Ю. С. Составление артикуляционных таблиц русской речи и метод определения звуковой разборчивости / Ю. С. Быков // Труды Комиссии по акустике АН РФ. – 2012. – № 6. – С. 171-179.

5 Ванина, Н. М. Спецтехника средств связи / Н. М. Ванина, В. В. Орехов, А. П. Галкин // Техника радиосвязи. – 2017. – № 1. – С. 51-57.

6 Варганов, Н. О. Сравнение различных методов артикуляционных измерений / Н. О. Варганов // Информационный листок НИЛ МЭС. – 2013. – Вып. 12. – С. 106-112.

7 Галкин, А. П. Оценка необходимости защиты информации предприятия / А. П. Галкин // Вестник ассоциации Русская оценка. – 2009. – № 1. – С. 55-58.

8 К определению погрешности измерения контролирующих параметров : сб. научн. тр. / сост. А. П. Галкин. – Л. : ЛЭТИ, 2014. – Вып. 3. – 2014. – 276 с.

9 Галкин, А. П. Устранение несанкционированного использования диктофона / А. П. Галкин // Перспективные технологии в средствах передачи информации. – Владимир, 2014. – С. 61-64.

10 Герасименко, В. Г. Методы защиты акустической речевой информации от утечки по техническим каналам / В. Г. Герасименко, Ю. Н. Лаврухин,

В. И. Тупота. – М. : РЦИБ Факел, 2013. – 256 с.

11 Гришин, В. Г. Образный анализ экспериментальных данных / В. Г. Гришин. – М. : Наука, 2021. – 238 с.

12 Грушо, А. А. Теоретические основы защиты информации / А. А. Грушо, Е. Е. Тимонина. – М. : Яхтсмен, 2016. – 196 с.

13 Дворянкин, С. В. Очистка речевого сигнала от шумов и помех посредством цифровой обработки изображений его сонограмм / С. В. Дворянкин // Обработка информации в компьютерных системах. – М. , 2017. – С. 179-180.

14 Дворянкин, С. В. Система протоколирования искаженных помехами и шумами речевых фонограмм / С. В. Дворянкин, В. Р. Женило // Информатизация правоохранительных систем. – М. , 2012. – С. 85-89.

15 Дворянкин, С. В. Адаптивное сжатие аудиоинформации в системах защиты и обработки / С. В. Дворянкин, Р. В. Калужин // Системы безопасности. – 2012. – № 6. – С. 94-96.

16 Дворянкин, С. В. Статистический метод стеганофонического анализа аудиофайлов / С. В. Дворянкин, А. П. Романцов // Применение пластиковых карт и защита информации. – М. , 2012. – С. 51-54.

17 Дружинин, Г. В. Качество информации / Г. В. Дружинин, И. В. Сергеева. – М. : Радио и связь, 2010. – 163 с.

18 Евтушенко, А. В. Влияние шума на человека / А. В. Евтушенко, З. И. Ермилина // Акустический журнал. – 2015. – № 41. – С. 51-54.

19 Железняк, В. К. Корреляционная теория разборчивости речи / В. К. Железняк, А. А. Колесников, В. Ф. Комарович // Вопросы радиоэлектроники. – 2015. – № 2. – С. 3-7.

20 Железняк, В. К. Защита информации от утечки по техническим каналам / В. К. Железняк. – учеб. пособие. – СПб.: Редакционно издательский центр СПб, 2016. – 188 с.

21 Железняк, В. К. Некоторые методические подходы к оценке эффек-

тивности защиты речевой информации / В. К. Железняк, Ю. К. Макаров, А. А. Хорев // Специальная техника. – М. , 2012. – С. 39-45.

22 Иванов, Н. И. Инженерная акустика: теория и практика борьбы с шумом / Н. И. Иванов. – М. : Логос, 2008. – 424 с.

23 Иванов, Н. И. Основы виброакустики / Н. И. Иванов, А. С. Никифоров. – СПб.: Политехника, 2010. – 482с.

24 Калинин, С. В. Виброакустическое зашумление помещений – иллюзии и реальность / С. В. Калинин // Защита информации. – 2012. – № 4. – С. 38-42.

25 Comsol.com : Потеря передачи звука через стену [Электронный ресурс] COMSOL Multiphysics User's Guide. – Режим доступа : <http://www.comsol.com>, свободный. – Загл. с экрана. – 06.04.2024.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Техническое задание

#### **1. Полное наименование исследования**

Исследование звукоизоляции помещения для конфиденциальных переговоров.

#### **2. Наименование предприятий разработчика и заказчика (пользователя) исследования**

Наименование заказчика: ФГБОУ ВО «АмГУ»

Юридический адрес: 675027, Амурская область, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21.

Автор исследования: Студент 4 курса ФГБОУ ВО АмГУ Ключкин Матвей Федорович.

#### **3. Перечень документов, на основании которых проводится исследование**

Федеральный закон от 27 июля 2006 г. N 152-ФЗ «О персональных данных».

СанПиП 23-03-2003 «Защита от шума, актуализированная редакция».

МГСН 2.04-97 «Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях».

Пособие к МГСН 2.04-97 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий».

СП 163.1325800.2014 «Конструкции с применением гипсокартонных и гипсоволокнистых листов. Правила применения и монтажа»

ГОСТ 12.1.003-76 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности».

ГОСТ 20445-75 «Здания в сооружения промышленных предприятий. Метод измерения шума на рабочих местах».

ГОСТ 8.055-73 "ГСИ. Машины. Методика выполнения измерений для определения шумовых характеристик".



## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

### **4. Плановые сроки начала и окончания работы по проведению научно-исследовательской работы**

В соответствии с календарным графиком на преддипломную практику, представленном в дневнике практики и индивидуальном задании.

### **5. Назначение исследования**

Разработка нового метода определения уровня защиты акустических каналов в помещении для конфиденциальных переговоров.

### **6. Цель проведения исследования**

Разработка 3D-модели с демонстрацией акустических волн для конкретного помещения, которое используется для конфиденциальных переговоров с раскрытием уязвимых мест шпионажа.

### **7. Краткие сведения об исследуемом объекте**

Объектом исследования является помещение для конфиденциальных переговоров.

### **8. Сведения об условиях эксплуатации исследуемого объекта**

Исследуемый объект используется в качестве помещения для конфиденциальных переговоров.

### **9. Требования к результатам исследования в целом**

В конечном итоге 3D-модель должна визуально продемонстрировать процесс излучения акустических сигналов и просто и наглядно отображать возможные уязвимости помещения.

### **10. Требования к численности, квалификации персонала**

При исследовании и оценке акустической защиты выбранного помещения, необходим 1 человек, который имеет навыки в 3D моделировании инженерных сооружений и моделирование расчётных моделей в программном обеспечении «COMSOL Multiphysics».

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

### **11. Требования к надёжности**

Полученная в конечном итоге 3D-модель должна иметь ограниченные права доступа (доступна только для соответствующих сотрудников).

### **12. Требования по эргономике и технической эстетике**

Интерфейс пользователя должен быть прост и понятен. При этом должен быть учтён следующий стандарт:

ГОСТ Р 50948-96 «Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности».

Эргономические параметры и параметры безопасности должны оцениваться в соответствии со стандартом:

ГОСТ Р 50949-96 «Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности».

### **13. Требования по стандартизации и унификации**

Для проектирования модели необходимо применять специализированное программное обеспечение.

### **14. Требования к функциям разрабатываемой модели**

Разработанная 3D-модель исследуемого помещения для проведения конфиденциальных переговоров обязана выполнять нижеперечисленные функции:

- понятное восприятие для пользователя, при необходимости даже упрощённое, изображение помещения для конфиденциальных переговоров;
- демонстрировать в подробном и в тоже время лаконичном виде процесс распространения шума для пользователей;
- проявить наглядно уязвимости в акустической защите помещения и вероятные несанкционированные пути получения речевой информации.

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

### **17. Порядок контроля и приемки модели**

При приеме модели заказчик должен ознакомиться с документацией и руководством пользователей. Прием промежуточных и окончательных работ должен проводиться с участием непосредственно тех лиц, которые будут работать с данной моделью. Заказчик должен проверить модель на соответствие предъявляемым требованиям.

### **18. Требования к видам обеспечения**

#### 18.1 Требования к информационному обеспечению

Проектируемая модель должна обеспечивать следующие требования.

Модель должна максимально точно соответствовать реальному помещению, в котором проводятся переговоры. Это включает форму, размеры, расположение и характеристики материалов стен, пола, потолка и других элементов интерьера.

Модель должна быть построена с учетом всех влияющих факторов, которые могут влиять на распространение звука в помещении. Это может включать такие параметры, как акустические свойства материалов, наличие мебели и других предметов в помещении.

Модель должна быть удобной для работы и анализа результатов моделирования. Это может включать такие параметры, как размеры и формат файлов, доступность и простота использования инструментов анализа и визуализации результатов.

Модель должна соответствовать стандартам безопасности и не должна содержать информацию, которая может быть использована для несанкционированного доступа к конфиденциальной информации.

Модель помещения для исследования возможности утечки информации по акустическим каналам должна содержать:

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

- геометрию помещения: форму, размеры, расположение дверей и окон, материалы стен, потолка и пола;
- источники шума: расположение микрофонов и громкоговорителей, характеристики шума (частотный диапазон, уровень звукового давления и т.д.);
- параметры акустической среды: скорость звука, плотность воздуха, акустические свойства стен, потолка и пола;
- модель акустических источников: модель шума, генерируемого различными устройствами (например, компьютеры, кондиционеры и т.д.);
- модель звукоизоляции помещения: расчет уровня звукопоглощения, оценка коэффициента звукопередачи через стены и потолок;
- расчет уровня шума: расчет уровня шума в различных точках помещения в зависимости от параметров источников шума и звукоизоляции помещения;
- оценка возможности утечки информации: анализ возможности утечки звуковой информации через стены и потолок, оценка коэффициента шумоподавления и шумоподавления акустических систем;
- результаты: визуализация результатов в виде графиков и диаграмм, анализ результатов, выводы и рекомендации.

### 18.2 Требования к программному обеспечению

Для выполнения всех этапов исследования (построение модели, расчет данных) используется программное обеспечение «COMSOL Multiphysics» версии 6.0.

### 18.3 Требования к техническому обеспечению (аппаратные ограничения)

Требования к рабочим станциям должны быть минимальными и обеспечивать функционирование системы без сбоев и ошибок:

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

- процессор (Intel или AMD) от 1 ГГц;
- объем оперативной памяти более 512 Мб;
- монитор;
- устройства ввода информации: клавиатура, мышь;
- сетевая карта с пропускной способностью от 100 Мбит/сек.

Данные характеристики были выбраны для эффективной работы без ожидания отклика системы на запросы, а также для обеспечения целостности и сохранности информации при сбоях.