

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова»



На правах рукописи

Кондратьев Сергей Алексеевич

**РАСЧЕТ И СНИЖЕНИЕ ШУМА ЭКРАНАМИ
В ЗАМКНУТЫХ ОБЪЕМАХ С РАЗЛИЧНЫМИ
АКУСТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

Специальность 1.3.7 – Акустика

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Тюрина Наталья Васильевна

Санкт-Петербург
2025

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АЭ — акустический экран (акустические экраны)

ИШ — источник(и) шума

ЗПМ — звукопоглощающий материал

НТД — нормативно-техническая документация

РТ — расчетная точка

РВ — точка измерения времени реверберации

ТИ — точка измерений

УЗД — уровни звукового давления, дБ

УЗ — уровни звука, дБА

ОТК — отдел технического контроля

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ	10
1.1 Краткое описание объектов исследования.....	10
1.2 Нормы шума на рабочих местах	12
1.3 Характеристики шума в производственных помещениях.....	15
1.4 Средства и методы снижения шума на рабочих местах в производственных помещениях.....	16
1.5 Акустика помещений	19
1.6 Теория и расчёт акустической эффективности АЭ	22
1.7 Проектирование АЭ	25
1.8 Задачи исследования	31
ГЛАВА II. ХАРАКТЕРИСТИКА ШУМА И АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.....	33
2.1. Краткое описание объектов исследования.....	33
2.2. Методики измерений.....	33
2.2.1. Измерение шума на рабочих местах и в рабочих зонах	33
2.2.2. Измерение времени реверберации в помещениях.....	34
2.3. Шум на рабочих местах и в рабочих зонах исследуемых предприятий	35
2.3.1. Фабрика в г. Санкт-Петербурге	35
2.3.2 Фабрика №1 в г. Москве	37
2.3.3 Фабрика №2 в г. Москве	40
2.3.4 Фабрика в г. Пермь	41
2.4 Измерения, расчеты и анализ акустических свойств производственных помещений	45
2.4.1 Общие сведения.....	45
2.4.2 Измерения и расчеты акустических параметров производственных помещений	46
2.4.3 Анализ акустических свойств производственных помещений.....	54

2.5 Классификация производственных помещений по их акустическим свойствам.....	58
Выводы по главе	59
Глава III. РАСЧЕТ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭ, УСТАНОВЛЕННЫХ В ПОМЕЩЕНИИ И В СВОБОДНОМ ЗВУКОВОМ ПОЛЕ	62
3.1. Расчёт снижения УЗД в помещении АЭ согласно ГОСТ 31287-2005 (ИСО 17624-2004)	62
3.2. Расчёт АЭ в свободном звуковом поле с использованием метода последовательного преобразования звуковых полей	66
3.3 Расчет АЭ в пределах граничного радиуса	71
Выводы по главе:	74
Глава IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЭ В СВОБОДНОМ ЗВУКОВОМ ПОЛЕ И В ПОМЕЩЕНИИ, РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ	76
4.1 Краткое описание опытного стенда	76
4.2 Методика проведения испытаний АЭ в свободном звуковом поле	78
4.2.1 Опытные акустические экраны	78
4.2.2 Методика измерений	83
4.2.3 Измерительная аппаратура и устройства	84
4.3 Анализ данных измерений АЭ в свободном звуковом поле	85
4.3.1 Зависимость эффективности АЭ от размеров.	85
4.3.2 Зависимость эффективности акустического экрана от формы экрана.....	87
4.3.3 Влияние звукопоглощения на эффективность акустического экрана	90
4.4 Измерения АЭ в помещении	92
4.5 Значения экспериментальных поправок в расчёты АЭ в помещениях	98
4.6 Рекомендации по проектированию и установке АЭ в производственных помещениях.....	99
4.8 Апробация предложенных решений на практике	101
Выводы по главе	105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	108
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	112
Приложение А. Данные испытаний опытных АЭ в свободном звуковом поле...	122

Приложение Б. Данные испытаний АЭ в опытном помещении.	152
Приложение В. Акты внедрения	163

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Среди многочисленных опасных и вредных производственных факторов производственной среды повышенный шум занимает едва ли ни одно из первых мест. Это объясняется множеством причин, но главная — цивилизационная: почти все современные технологии на производстве сопровождаются повышенным шумом. Хотя какие-либо официальные данные о числе работающих на производстве, подвергающихся воздействию повышенного шума, отсутствуют, можно предполагать, что их число составляет от не менее половины и до $2/3$ от общего числа работающих на производстве. Вопросами снижения шума, в том числе и на производстве, занимались известные отечественные учёные И.И. Боголепов, М.В. Буторина, Н.И. Иванов, Д.А. Куклин, В.Ю. Кирпичников, Г.Л. Осипов, И. И. Клюкин, Ю. П. Тюрин, Н. В. Тюрина, И. Е. Цукерников, А. Е. Шашурин, И. Л. Шубин, Е. Я. Юдин и др., а за рубежом Л. Беранек, М. Крокер, Д. Маекава, У. Курце, С. Редферн и др.

Современные наука и практика накопили солидный арсенал средств и методов шумозащиты на производстве: звукоизолирующие кабины, звукоизолирующие капоты, звукопоглощающие облицовки, виброизолирующие системы, вибродемпфирующие покрытия и др. Среди этих средств особое место занимают акустические экраны (АЭ), которые отличаются эффективностью и простотой исполнения. В то же время, имеется немало вопросов, требующих специального изучения: методики расчёта АЭ, связь эффективности АЭ с некоторыми их конструктивными параметрами и пр. Исследованиями эффективности АЭ в замкнутых объемах в нашей стране занимались И.Л. Шубин, Э.А. Гомзиков, Г.Д. Малюжинец, Л.Н. Пятачкова, О.Н. Поболь, С.А. Рыбак, Н.В. Тюрина, а за рубежом В. Каэлхо, Е. Котабрински, Д. Маекава, М. Чехович и др. Выполненные ими работы представляют немалую научную ценность, но основные вопросы, которые являются до конца неизученным: влияние

акустических свойств помещений на эффективность АЭ и акустические свойства производственных помещений, а также влияние формы АЭ на их эффективность.

Цель исследования: увеличение акустической эффективности АЭ в замкнутых объемах.

Научная гипотеза: эффективность АЭ в замкнутых объемах зависит от акустических свойств замкнутого объема и АЭ, формы и расположения АЭ относительно ИШ и защищаемого объекта.

Предмет исследования: снижение шума в замкнутых объемах АЭ.

Объекты исследования: промышленные производства, опытные акустические экраны (АЭ).

Научная задача: научное обоснование и разработка метода расчёта и рекомендаций по проектированию АЭ в замкнутых объемах во взаимосвязи с их акустическими свойствами и конструктивными параметрами на примере производственных помещений.

Научная новизна:

1. Предложена классификация производственных помещений в зависимости от их акустических качеств, определяемых выбранным критерием - значением среднего коэффициента звукопоглощения ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$).

2. Разработан метод расчета эффективности АЭ в замкнутых объемах: в области прямого звука расчет в зависимости от расположения АЭ, его акустических свойств, размеров и коэффициента дифракции с использованием двух эмпирических поправок, связанных с акустическими свойствами помещения и формой АЭ; в области граничного радиуса в расчете используются теоретические значения акустических характеристик помещения.

3. Определена взаимосвязь эффективности АЭ в замкнутых объемах с акустическими свойствами последних, определяемых выбранным критерием, согласно предложенной классификации.

Теоретическая и практическая значимость:

1. Получены характеристики шума на рабочих местах и в рабочих зонах предприятий бумагопечатной промышленности, определены требования по его снижению.
2. Изучены акустические свойства помещений цехов и производственных участков предприятий бумагопечатания и показаны пределы улучшения акустических характеристик, влияющих на эффективность АЭ, установленных в помещениях.
3. Получены данные о влиянии конструктивных параметров (размеры, форма, наличие ЗПМ) АЭ на их акустическую эффективность, что позволяет проектировать АЭ с улучшенными характеристиками шумоглушения.
4. Разработана методика расчёта АЭ на стадии проектирования с учётом влияния отраженного звука в помещениях.
5. Разработаны рекомендации по проектированию АЭ для снижения шума на рабочих местах и в рабочих зонах в производственных помещениях, выполнена апробация предложенных решений.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Акустические характеристики на предприятиях бумагопечатной отрасли и требования к снижению шума на рабочих местах и в рабочих зонах.
2. Обобщенные акустические характеристики помещений цехов и производственных участков тех же предприятий.
3. Классификация производственных помещений в зависимости от их акустических характеристик по выбранному критерию $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$.
4. Методика расчёта эффективности АЭ, расположенных в производственных помещениях, включающая расчёт в области прямого звука с полученной экспериментальной поправкой на влияние акустических свойств помещения, а также расчёт в области и за пределами граничного радиуса, где влияние акустических свойств помещения учитывается теоретически.

5. Данные расчётов по предложенным формулам в сравнении с данными эксперимента.
6. Описание опытного стенда и методик испытаний.
7. Установленная связь конструктивных параметров АЭ (размеры, форма и др.) с их акустической эффективностью.
8. Установленные зависимости акустической эффективности АЭ от акустических свойств производственных помещений.
9. Рекомендации по проектированию и применению АЭ в производственных помещениях.
10. Результаты апробации применения акустического экрана для снижения шума на рабочих местах в промышленном цехе.

Публикации.

По результатам исследований опубликовано 6 работ, в т.ч. 4 в журнале, рекомендованном ВАК.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Краткое описание объектов исследования

Исследование выполнено на примере четырёх предприятий, занимающихся бумагопечатанием: Московские бумагоделательные и чеканные производства, базирующиеся в г. Москва; чеканное производство в Санкт-Петербурге; бумагоделательное производство в г. Пермь.

Все исследования осуществлялись внутри цеховых помещений каждого предприятия.

Помимо перечисленных предприятий, объектом исследования являлись опытные акустические экраны (АЭ) различного конструктивного исполнения, которые исследовались как в свободном звуковом поле (рисунок 1.1), так и в помещении с (рисунок 1.2). При этом использовалось опытное испытательное помещение, в котором на первом этапе отсутствовало какое-либо звукопоглощение (помещение с высокой реверберацией), а затем оно этапами оборудовалось звукопоглощающим материалом (ЗПМ), с тем, чтобы последовательно изменять его акустические свойства.

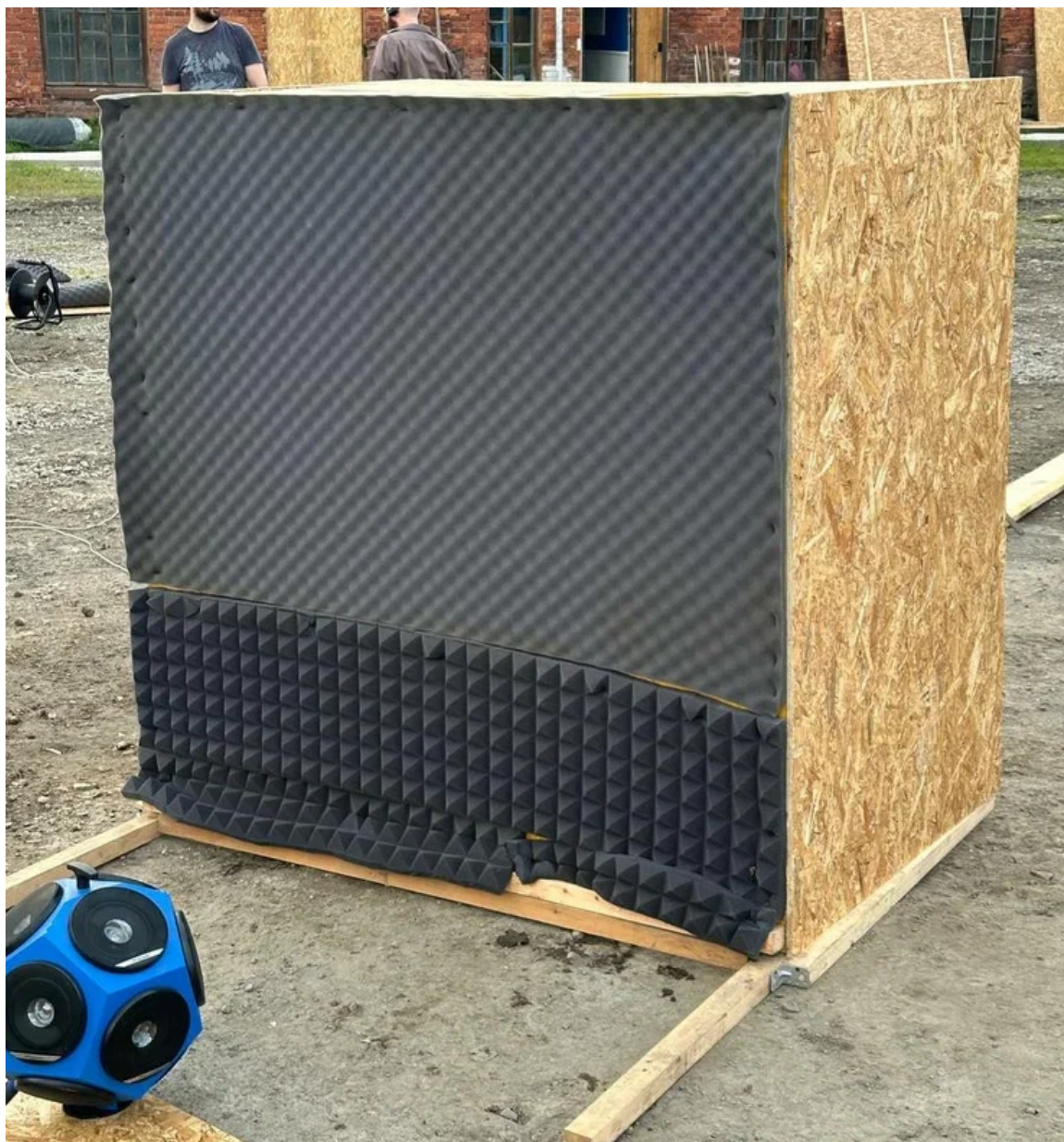


Рисунок 1.1 — Вид испытываемого АЭ в свободном звуковом поле



Рисунок 1.2 — Испытываемый АЭ в помещении

1.2 Нормы шума на рабочих местах

Действующие в настоящее время нормы шума на рабочих местах определены СанПиН [1]. Согласно [1] нормируемыми параметрами на рабочих местах являются:

- уровни звукового давления (УЗД), дБ, в октавных полосах со средними геометрическими частотами 63; 125... 8000 Гц для постоянного шума;
- уровни звука (УЗ), дБА, (для постоянного шума), скорректированные по шкале А;
- эквивалентные и максимальные уровни звука для непостоянного шума, скорректированные по шкале А, дБА;

Шум нормируется в зависимости от назначения производственного помещения (Таблица 1.1).

Таблица 1.1 — Нормируемые параметры шума в зависимости от назначения производственного помещения

Название помещений	Для источников постоянного шума										Для источников непостоянного шума	
	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, корректный по А, дБА	Эквивалентный корректный по А уровень звука, дБА	Максимальный корректный по А уровень звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
Рабочие помещения административно-управленческого персонала производственных предприятий	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65	65	80
Рабочие помещения диспетчерских служб, кабины наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, участки точной сборки, телефонные и телеграфные станции	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70	70	85

Продолжение таблицы 1.1

Название помещений	Для источников постоянного шума										Для источников непостоянного шума	
	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, кор- ный по А, дБА	Эквивалентный корректиро- ванный по А уровень звука, дБА	Максимальный корректиро- ванный по А уровень звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
Помещение лабораторий для проведения периментальных работ, помещения для измерительных и аналитических работ, кабины наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75	75	90
Помещения с постоянным и рабочими местами производственных предприятий, территории предприятий с постоянным и рабочими местами	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	80	95

Продолжение таблицы 1.1

Название помещений	Для источников постоянного шума										Для источников непостоянного шума	
	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, кор- ный по А, дБА	Эквивалентный корректиро- ванный по А уровень звука, дБА	Максимальный корректиро- ванный по А уровень звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
Помещения офисов, рабочие помещения и кабинеты административных зданий, конструкторских, проектных и научно-исследовательских организаций	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50	50	65

1.3 Характеристики шума в производственных помещениях

Вопрос о характере шума в производственных помещениях, а также о характеристиках шума на рабочих местах изучен достаточно подробно [2-23]. В литературе описаны как характеристики шума в производственных помещениях, так и источники шума и их акустические характеристики. Этим вопросам посвящены работы Б.Ч. Месхи, А.Н. Чукарина, Д. А. Куклина, М.В. Буториной, А. Е. Шашурина и др., где указаны параметры шума на рабочих местах, а также требования к его снижению. Из анализа приведённых источников можно сделать заключение:

1. Практически на всех проанализированных авторами производствах шум превышает действующие нормы, но эти превышения имеют место не для всех рабочих мест. По официальной отечественной статистике приблизительно свыше чем на 27% рабочих мест на различных производствах зарегистрированы

превышения шума [4]. Болезни, вызванные повышенным шумом и вибрацией, составляют 30-35% от общего числа профессиональных заболеваний. Наиболее шумные отрасли: металлургия, производство строительных материалов, лёгкая промышленность. Величина превышения шума составляет в основном от 5 до 15 дБА, но на некоторых производствах, например, в производстве строительных материалов (обработка, дробление камня) имеют превышения на рабочих местах более чем на 30 дБА. На наш взгляд, вряд ли можно найти производства, на всех рабочих местах которых шум находится в норме.

2. Каждое производство имеет свою специфику шума, характеризующуюся не только величинами превышения норм шума и числом рабочих мест с повышенными уровнями шума, но и особенностями процессов шумообразования, спектральными характеристиками и числом шумных источников, процессами образования шума на рабочих местах и даже видом мест нахождения работников на местах с повышенным шумом (постоянные рабочие места, рабочие зоны и пр.). Из сказанного следует вывод: любое производство, характеристики шума которого не были исследованы, требует отдельного изучения. Этот вывод полностью относится к объектам нашего исследования бумагопечатным фабрикам специального назначения, где сотрудники находятся как на постоянных рабочих местах, так и в рабочих зонах. Итак, первая задача исследования — измерить шум на рабочих местах и в рабочих зонах основных производств (в цехах и на производственных участках), выполнить анализ полученных характеристик, определить величины превышения, характер превышений шума и величины требуемого шумоглушения.

1.4 Средства и методы снижения шума на рабочих местах в производственных помещениях

Литература, посвященная этому вопросу, чрезвычайно обширна. Ограничимся анализом монографий, посвященных основам виброакустики [2, 3, 14, 15, 24 – 38], а также нескольких других источников [40 – 43].

По данным [2], а также в соответствии с ГОСТ 12.1.029-80 [39], все средства защиты от шума на производстве по отношению к источнику шума (ИШ) в соответствии с рисунком 1.3 подразделяются на:

- снижающие шум в источнике образования;
- снижающие шум на пути распространения от ИШ до рабочего места;
- снижающие шум на рабочем месте.

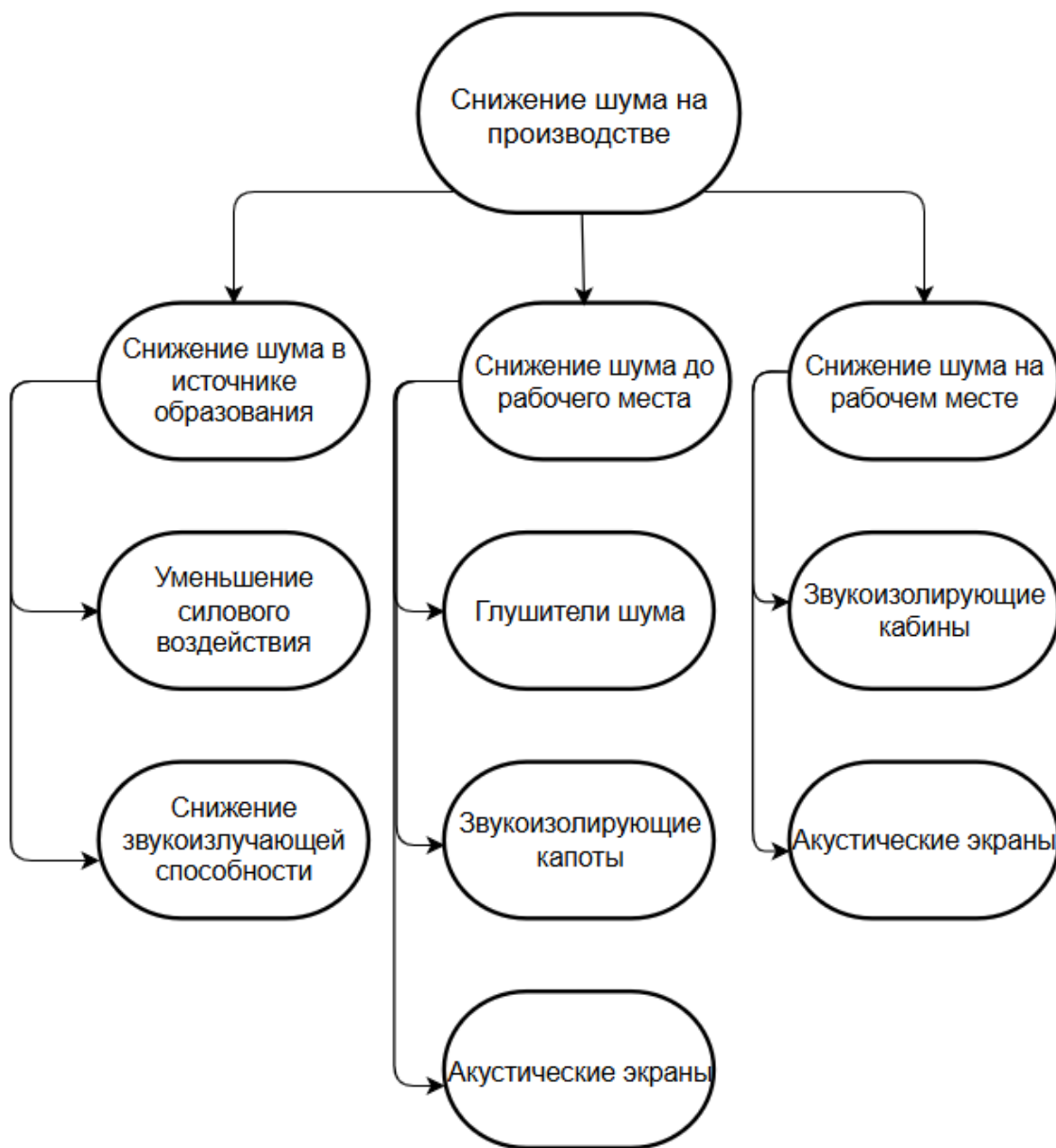


Рисунок 1.3 — Основные средства защиты от шума на производстве

Снижение шума в источнике образования достигается:

- снижением силового воздействия (например, уменьшением частоты вращения механизма или скорости движения);
- уменьшением звукоизлучения ИШ (например, уменьшением площади звукоизлучающих поверхностей, увеличением коэффициента потерь материала излучающей звук поверхности).

Опыт производства, а также данные литературы, показывают, что эта мера на производстве практически почти не используется.

Снижение шума по пути распространения. С этой целью используются глушители шума, звукоизолирующие капоты, а также иногда акустические экраны (АЭ), устанавливаемые вблизи ИШ.

Снижение шума на рабочих местах достигается установкой звукоизолирующих кабин, в которых располагается рабочее место, а также акустических экранов, снижающих воздействия шума на работающих как на рабочем месте, так и в рабочей зоне.

Данные экспериментов показывают [2, 3], что установкой звукоизолирующих кабин шум может быть снижен до 20-25 дБА, а эффективность АЭ не превышает 15 дБА. Но, несмотря на меньшую эффективность, АЭ имеют ряд преимуществ: существенно меньшая стоимость, удобство локализации, возможность использования для защиты персонала, находящегося в рабочей зоне, простота конструкции и др. Настоящая работа посвящена изучению АЭ для снижения шума на рабочих местах и в рабочих зонах производственных помещений. Отметим, что снижению шума на рабочих местах АЭ были посвящены работы И.Л. Шубина, Э.А. Гомзикова и Г.Д. Изака [44], Л.Н. Пятачковой [45], С.А. Рыбака [46], О.Н. Побоя [47], Н.В. Тюриной [58] в нашей стране и В. Коэлхо [48], Д. Маекавы [49-51], Е. Котабринска [52] и др. за рубежом.

Среди этих работ отметим исследования Н.В. Тюриной [52-60]. Она рассматривала АЭ в помещении, как снижающие прямой звук от ИШ и доказала, что эффективность АЭ связана с акустическими свойствами помещений. Это объясняется наличием в любом помещении отраженного звука, интенсивность которого зависит от акустических свойств помещения. Возникают два взаимосвязанных вопроса: как влияет изменение акустических свойств помещения на акустическую эффективность АЭ и какими акустическими свойствами характеризуются производственные помещения. Эти вопросы требуют специального изучения.

1.5 Акустика помещений

Вопрос акустики помещений достаточно подробно отображен в литературе [61-71]. Опираясь на основные положения, изложенные в монографии Ю. П. Щевьева [71] рассмотрим вкратце особенности звукового поля в помещении. Помещение существенно преобразует звуковое поле ИШ, в первую очередь, из-за большого количества отражений звука от ограждающих и других поверхностей помещения. Сам объем помещения, будучи трёхмерным пространством, обладает набором собственных частот, на которых происходят процессы усиления звука. С увеличением частоты количество собственных частот колебаний увеличивается. Значение собственных частот, Гц, колебаний определяется по формуле:

$$f_{1,2,...} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_1}{l_1}\right)^2 + \left(\frac{n_2}{l_2}\right)^2 + \left(\frac{n_3}{l_3}\right)^2}, \quad (1.1)$$

где c – скорость звука в воздухе м/с;

n_1, n_2, n_3 – целые числа (0, 1, 2, 3 ...);

l_1, l_2, l_3 – линейные размеры помещения, м.

Значение $f_{1,2,...}$ можно увидеть на примере таблицы 1.2.

Таблица 1.2 — Собственные частоты помещения

n ₁	n ₂	n ₃	f, Гц	n ₁	n ₂	n ₃	f, Гц
1	0	0	21,7	1	1	2	77,0
0	1	0	27,2	2	2	1	77,6
0	0	1	34,3	3	1	1	78,4
1	1	0	34,8	2	0	2	81,2
1	0	1	40,6	0	3	0	81,6
2	0	0	43,3	1	3	0	84,4
0	1	1	43,8	3	2	0	84,7
1	1	1	48,9	2	1	2	85,6
2	1	0	51,1	4	0	0	86,6
0	2	0	54,4	0	2	3	87,6
2	0	1	55,3	0	3	1	88,5
1	2	0	57,6	1	2	2	90,3
2	1	1	61,1	4	1	0	90,8
0	2	1	64,3	1	3	1	91,1
3	0	0	65,0	3	2	1	91,4
1	2	1	64,9	2	3	0	92,4
0	0	2	68,7	4	0	1	93,2
2	2	0	69,5	3	0	2	94,5
3	1	0	70,4	4	1	1	97,1
1	0	2	72,0	2	2	2	97,7
3	0	1	73,5	3	1	2	98,4
0	1	2	73,9	2	3	1	98,6

Таким образом, воздух в объеме помещения рассматривается как набор резонаторов в форме стоячих волн, которые будут затухать, если действие источника прекращаются. Затухание свободных колебаний в помещении называется реверберацией. Стандартное время реверберации, за которые звук в

помещении затухает на 60 дБ является важной акустической характеристикой помещения. На рисунке. 1.3 показаны значения времени реверберации помещений различного назначения. Характерен рост времени реверберации с увеличением объема помещения.

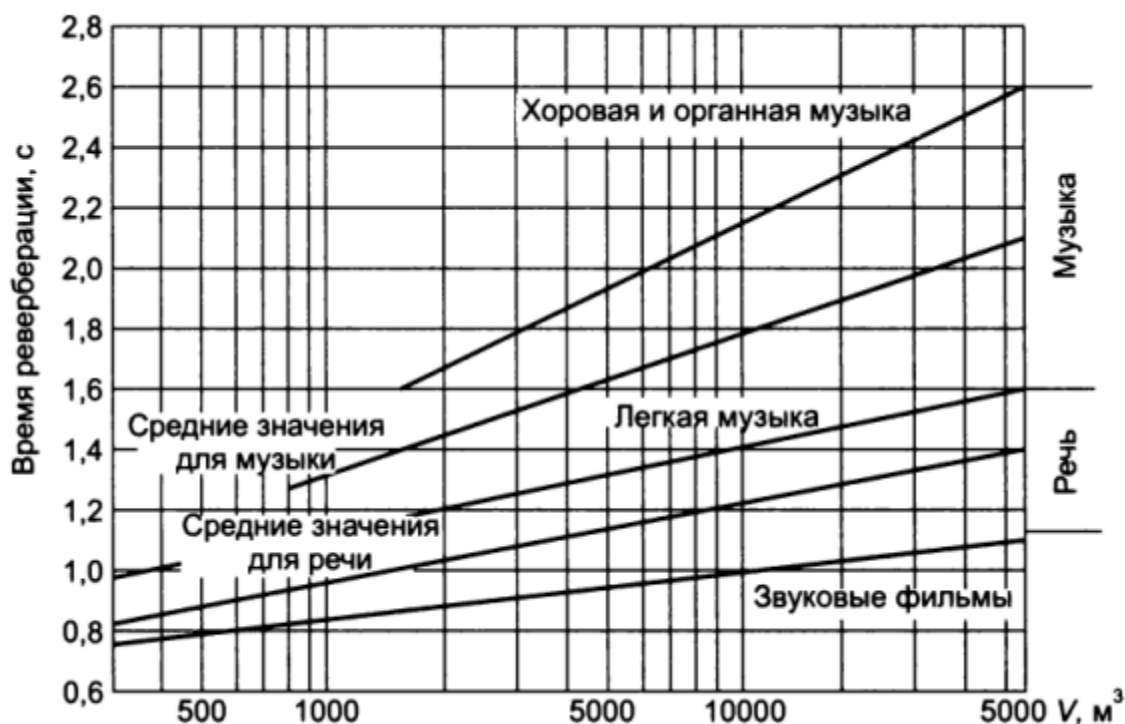


Рисунок 1.3 — Зависимость времени реверберации от объема помещения

Время реверберации помещения — измеряемая характеристика. Хотя в отдельных работах [72-73] встречаются расчётные методы реверберации, примем экспериментальный метод за основу получения исходных акустических характеристик производственных помещений. Обратим внимание, что время реверберации является характеристикой театральных, спортивных и других помещений аналогичного назначения [67, 69, 74, 75, 76]. Для производственных помещений необходимо использовать более универсальные характеристики, к которым, относится, в первую очередь, значение среднего звукопоглощения в помещении ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}$). Эта характеристика, так же, как и время реверберации, имеет частотнозависимый характер. Таким образом, одной из задач исследования является изучение акустических характеристик производственных помещений с учетом опыта других исследователей [77-78] путём измерений в них времени

реверберации с последующим вычислением и анализом среднего коэффициента звукопоглощения.

1.6 Теория и расчёт акустической эффективности АЭ

Основной теорией, в основу которой положены методы расчёта АЭ, является оптико-дифракционная теория [2]. Эффективность АЭ определяется разностью хода звуковых лучей, определяемых числом Френеля в соответствии с рисунком 1.4 и определяются в соответствии со следующими формулами:

$$N = \frac{2(a+b-d)}{\lambda}, \quad (1.2)$$

где a — расстояние от ИШ до свободного ребра АЭ, м;

b — расстояние от свободного ребра до расчётной точки (РТ), м;

d — расстояние от ИШ до РТ, м;

λ — длина звуковой волны, м.

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (1.3)$$

где c — скорость звука в воздухе ($c=340$ м/с);

f — частота (63,125...8000) Гц.

Большинство расчётов акустической эффективности АЭ выполняется с использованием описанного подхода [3, 49-51, 79-85].

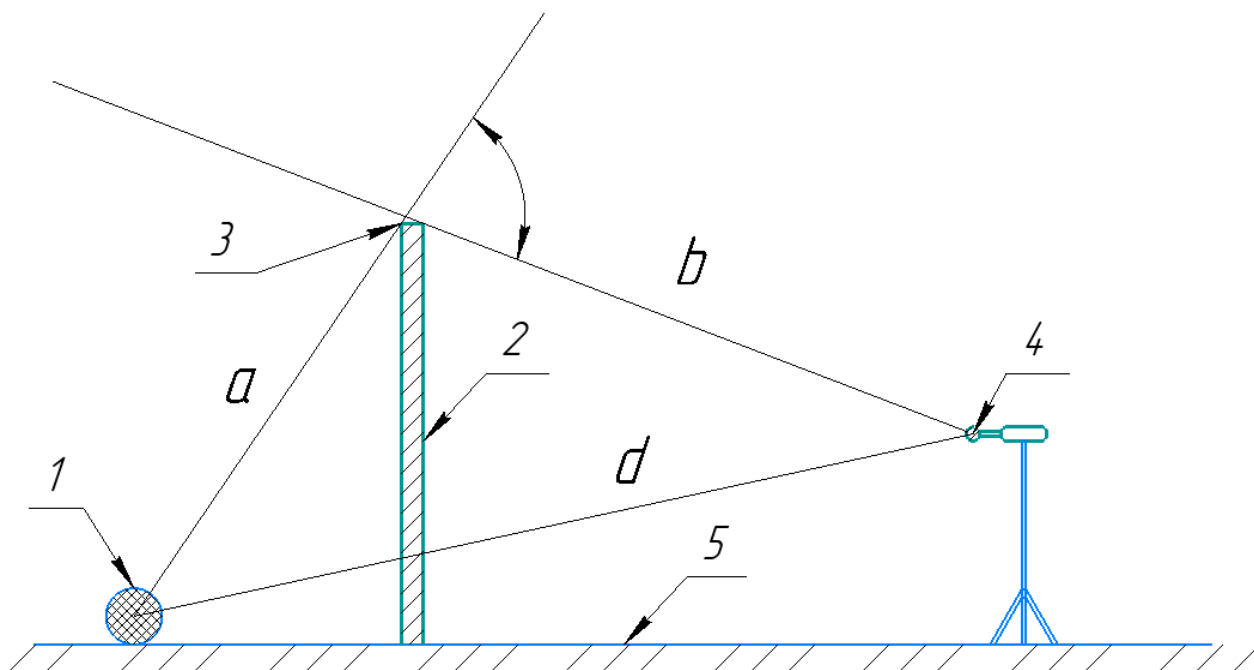


Рисунок 1.4 — Схема расчёта АЭ по оптико-дифракционной теории: 1 — ИШ; 2 — АЭ; 3 — свободное ребро АЭ; 4 — РТ, 5 — опорная поверхность.

Исходя из указанной теории, Д. Маекава получил формулу для расчётов АЭ [34]:

$$\Delta L_{\text{экp}} = 10 \lg 20N, \quad (1.4)$$

Эта формула используется для $N \geq 1$. Для $N < 1$ используется формула У. Курце [86]:

$$\Delta L_{\text{экp}} = 20 \lg \frac{\sqrt{2\pi N}}{\text{th} \sqrt{2\pi N}}, \quad (1.5)$$

Практически почти все перечисленные выше авторы используют для расчета АЭ, в том числе в помещениях, оптико-дифракционную теорию. Чтобы не перечислять и анализировать предложенные формулы расчета, ограничимся анализом действующего ГОСТ [87], в котором приведены расчетные формулы для оценки АЭ в помещении. В этом нормативно-техническом документе (НТД) рассматриваются два случая расположения РТ за АЭ: в зоне глубокой акустической тени (в этом случае считается, что прямой звук преобладает и приведена формула для расчета АЭ), а также на границе или в области радиуса

реверберации (граничного радиуса) и расчеты по приведенной второй формуле дают результаты всего на 3-4 дБ ниже, чем по первой формуле. Безусловно, главный недостаток этого НТД — отсутствие связи эффективности АЭ с акустическими свойствами помещения, где установлен АЭ, т.е. вторая формула — какой-то частный случай. Тем не менее, необходимо провести расчеты по этим формулам и проверить их полезность специальными экспериментами.

Оценивая в целом расчеты АЭ по оптико-дифракционной теории [2], отметим их невысокую точность в соответствии с рисунком 1.5 [2].

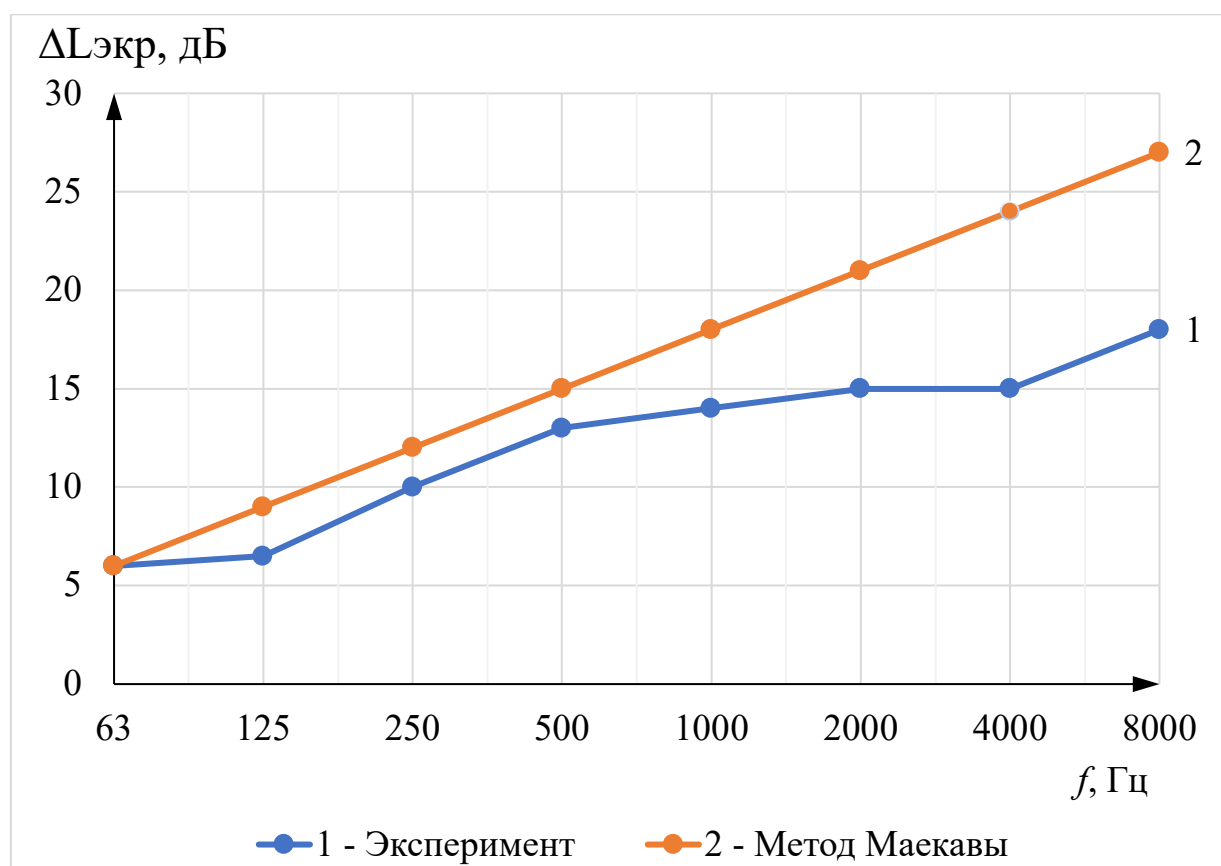


Рисунок 1.5 — Сравнение эффективности экрана от точечного источника шума, полученное по данным экспериментов (1) и расчетов по методу Маекавы (2)

Это объясняется некорректностью ряда допущений, принятых при расчётах: свойства материала АЭ не учитываются, сам АЭ принят звуконепроницаемым, а источник звука точечным и др.

Многих из перечисленных выше недостатков лишена теория АЭ, основанная на методе последовательного преобразования звуковых полей [2, 3, 88-90], на основе которой Н.В. Тюрина предложила формулы расчёта АЭ как в свободном звуковом поле, так и в помещениях [52]. Расчётная формула акустической эффективности АЭ выглядит следующим образом [52]:

$$\Delta L_{\text{экp}} = 10 \lg \frac{r}{R+r} + 10 \lg \frac{h_{\text{экp}}}{\lambda} + 10 \lg \frac{1}{\beta_{\text{экp}}} - 10 \lg(1 - \alpha_{\text{пов}}) - 10 \lg(1 - \alpha_{\text{экp}}) - \\ - 10 \lg \operatorname{artg} \frac{l_{\text{экp}}}{2(R+r)} - 10 \lg \operatorname{artg} \frac{l_{\text{экp}}}{2h_{\text{экp}}} - 10 \lg \operatorname{artg} \frac{l_{\text{экp}}\lambda}{2R\sqrt{R^2 + l_{\text{экp}}^2 + \lambda^2}} + 10 \lg \frac{\pi^2}{2}, \text{ дБ} \quad (1.6)$$

где r и R — расстояния (см. Рис. 1.6), м;

$l_{\text{экp}}$ — длина АЭ, м;

$h_{\text{экp}}$ — высота АЭ, м;

$\beta_{\text{экp}}$ — коэффициент дифракции АЭ;

$\alpha_{\text{пов}}$ и $\alpha_{\text{экp}}$ — коэффициенты звукопоглощения поверхности перед АЭ и АЭ;

λ — длина звуковой волны, м.

К сожалению, автор не приводит результаты экспериментальной проверки формулы (1.6), формула сложна для расчетов. Необходимо получить более простую формулу расчёта АЭ в помещении, проверить её точность и установить степень влияния акустических свойств помещения на эффективность АЭ.

1.7 Проектирование АЭ

Литература, посвященная конструированию (проектированию) АЭ, чрезвычайно обширна [2, 3, 53, 91-93]. В первую очередь, обратимся к классификации АЭ по их назначению (таблица 1.3.)

Таблица 1.3 — Классификация акустических экранов по их назначению [2]







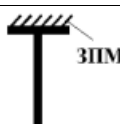
Тип АЭ	Схема	Обозначения на схеме	Место установки и применение
Офисно-производственные		1 – источник шума; 2 – АЭ; 3 – рабочее место; 4 – помещение	В помещениях для снижения прямого звука
Транспортные а/д		1 – источник шума (автотранспортный поток); 2 – АЭ; 3 – опорная поверхность; 4 – жилая застройка	Вдоль автомобильных дорог (а/д) напротив жилой и др. застройки
Железнодорожные а/д		1 – источник шума (подвижный состав ж/д транспорта); 2 – АЭ; 3 – опорная поверхность; 4 – жилая застройка	Между ж/д путями и жилой и др. застройкой
Технологические		1 – источник шума; 2 – АЭ; 3 – стена; 4 – здание	Со всех сторон источника шума
Дополнительные		1 – источник шума; 2 – АЭ; 3 – проем; 4 – звукоизолирующий капот	В качестве дополнительного средства в шумозащитных конструкциях

По назначению АЭ можно разделить на транспортные, офисно-производственные, технологические и др.

Транспортные и офисно-производственные АЭ нашли наибольшее применение на практике. По данным литературы, на эффективность АЭ, помимо их размеров, влияют наличие и вид надстроек на свободном ребре, форма АЭ (для экранов технологических и офисно-производственных), материал АЭ, наличие/отсутствие звукопоглощения в конструкции АЭ.

В таблице 1.4, а также на рисунке 1.6 и рисунке 1.7 показаны виды различных надстроек и показано, что они теоретически могут увеличить эффективность АЭ от 1 до 5 дБА.

Таблица 1.4 — Расчётные характеристики эффективности АЭ различной формы [88]

Название АЭ	Условная схема	Дополнительная эффективность, дБА
Г-образный	а) 	1,5...2
	б) 	2,0...2,5
Стреловидный		0...0,5
У-образный		2,5...3,5
Х-образный		3,5...4,5
Т-образный	а) 	3...4
	б) 	4,5...5,5

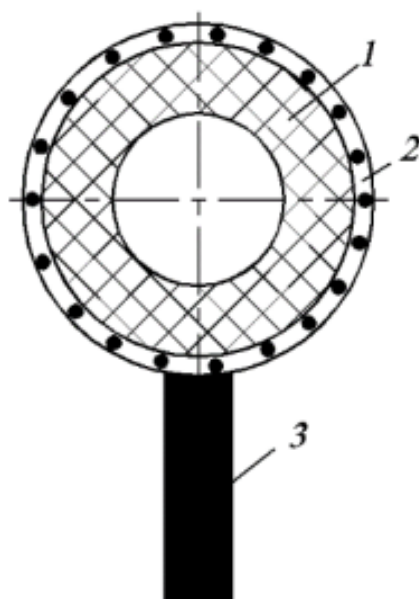


Рисунок 1.6 – Схема антидифрактора [2]:

1 – ЗПМ; 2 – перфорированный цилиндр; 3 – АЭ

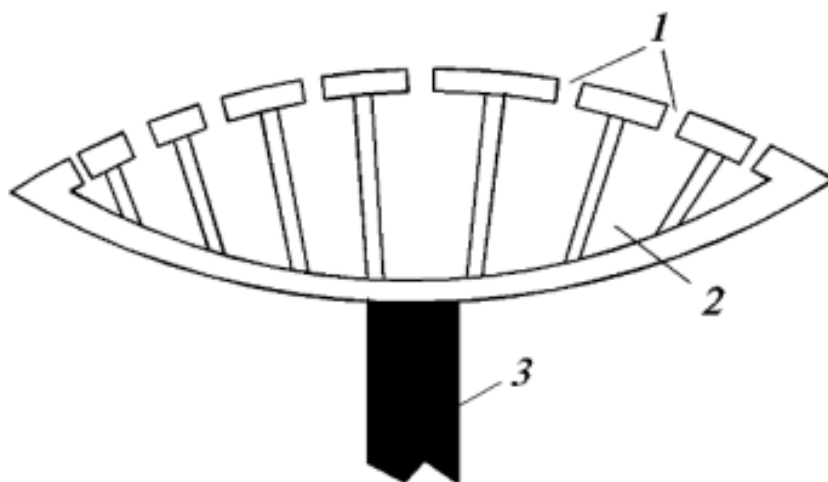


Рисунок 1.7 – Схема резонаторов, устанавливаемых на свободном ребре АЭ [2]

1 – горло резонатора; 2 – объем; 3 – АЭ

Усложнения надстроек представляется неперспективным для АЭ в помещении, достаточно лишь изменить их форму (как например, указано на рисунке 1.8).

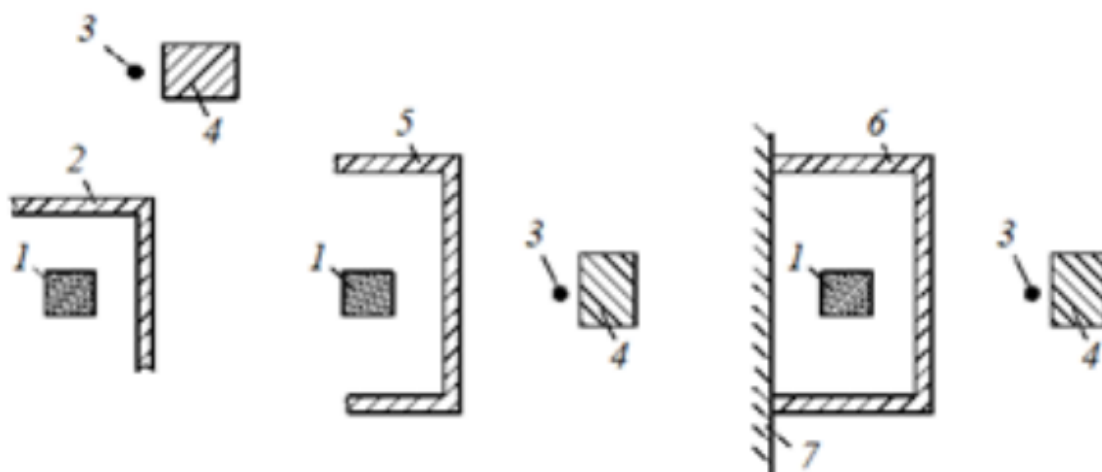


Рисунок 1.8 — Схемы технологических экранов [93]:

- 1 — источник шума; 2 — Г-образный АЭ; 3 — точка измерений;
 4 — защищаемое от шума здание; 5 — П-образный АЭ;
 6 — замкнутый П-образный АЭ, примыкающий к стене; 7 — стена

А.Е. Шашуриным [94] и В.В. Светловым [93] были исследованы технологические АЭ различной формы (при этом точка измерений находилась на расстоянии 25 м от АЭ). Ими были получены экспериментальные результаты, показавшие, что в зависимости от формы эффективность АЭ может возрасти от 3 до 9 дБА. Для АЭ в помещении, где точки измерений, выбираемые в зависимости от условий (глубокая акустическая тень, область граничного радиуса) и составляет от 0,5 до 2 м от АЭ, поэтому необходимо выполнить отдельные независимые исследования. Также эффективность АЭ увеличивается на 2,5-3 дБА при наличии звукопоглощения [59]. Этот вопрос для АЭ в помещении требует также дополнительного изучения.

Таким образом можно перечислить намечаемые этапы экспериментальных исследований АЭ в зависимости от их конструктивного исполнения:

- зависимость от размеров;
- зависимость от формы АЭ;
- зависимость от звукопоглощения АЭ.

И, наконец, остается последний вопрос: связь акустической эффективности АЭ, установленных в помещении, со звукопоглощением помещения. Звукопоглощение – основной метод уменьшения звука в замкнутых объемах [2, 3], в т.ч. и в помещениях. Обычно эта мера используется как самодостаточная для снижения шума на рабочих местах в помещениях, а также для улучшения акустических качеств помещения [95-100]. В ряде работ можно найти данные об эффективности этой меры. В частности, в [2] приведены данные измерений УЗД в цехе до и после применения ЗПМ. Получено снижение шума в цехе на 3-10 дБ в диапазоне частот 500 – 8000 Гц. При применении АЭ в помещении эта мера является дополнительной к установленному АЭ, но вопрос влияния звукопоглощения на эффективность АЭ в помещении не изучен.

1.8 Задачи исследования

Таким образом, на основании анализа литературы сформулированы следующие задачи исследования:

1. Выявить характеристики шума на рабочих местах и в рабочих зонах исследуемых промышленных предприятий и определить требования к его снижению.

2. Изучить механизмы формирования звуковых полей в производственных помещениях, акустические свойства производственных помещений исследуемых предприятий путём измерений времени реверберации и вычисления среднего коэффициента звукопоглощения и граничного радиуса помещений, разработать классификацию производственных помещений в зависимости от значений этих параметров.

3. Выполнить расчёт акустической эффективности АЭ в помещении по стандартной методике и сравнить с данными экспериментов, с целью оценки пригодности оптико-дифракционной теории для определения акустической эффективности АЭ.

4. Получить формулы расчета акустической эффективности АЭ с использованием метода последовательного преобразования звуковых полей: при расположении РТ за АЭ в области прямого звука — в условиях свободного звукового поля с экспериментальной поправкой на акустические свойства помещения; при расположении в пределах граничного радиуса — с использованием теоретических акустических характеристик помещения. Выполнить расчеты акустической эффективности АЭ по предложенным формулам и сравнить с данными экспериментов.

5. Создать опытный стенд и разработать методики испытаний АЭ в свободном звуковом поле и в помещении.

6. Провести испытания АЭ в свободном звуковом поле с целью установления влияния основных конструктивных параметров АЭ (размеры, форма и др.) на акустическую эффективность.

7. Провести испытания АЭ в помещениях с различными акустическими характеристиками с целью изучения влияния акустических свойств помещений на эффективность АЭ и получения экспериментальных поправок, показывающих влияние акустических свойств помещения, для использования их в полученной формуле расчёта акустической эффективности АЭ.

8. Разработать рекомендации по применению АЭ для снижения шума в производственных помещениях.

9. Выполнить апробацию предложенных решений в условиях производства.

ГЛАВА II. ХАРАКТЕРИСТИКА ШУМА И АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

2.1. Краткое описание объектов исследования

В качестве объектов изучения были выбраны производственные цеха и участки предприятий (фабрик) бумагопечатного и пр. производств. Измерения шума на рабочих местах и в рабочих зонах в сравнении с нормами [1] проводились на четырёх производствах, расположенных в городах Москве, Санкт-Петербурге и Перми. На каждой фабрике производились измерения характеристик шума во всех основных цехах и производственных участках, а для дальнейшего изучения выбирались помещения с наиболее высокими уровнями звука на работающих местах и в рабочих зонах, где расположение обслуживающего персонала не локализовано.

Помимо вышеуказанного, изучались акустические свойства помещений. Исследования помещений проводились на трех фабриках в тех же городах.

2.2. Методики измерений

2.2.1. Измерение шума на рабочих местах и в рабочих зонах

Измерение выполнялись в соответствии с нормативно-технической документацией (ГОСТ ИСО 9612-2016 и др. [100]). Измеряемые характеристики: уровни звукового давления (УЗД) и уровни звука (УЗ) — для постоянного шума, эквивалентные уровни звука и максимальные уровни звука — для непостоянного шума. Уровни звукового давления измерялись в октавных полосах со средней геометрическими частотами: 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

При измерениях микрофон располагался на высоте 1,5 м над уровнем пола при выполнении работ стоя или в рабочих зонах и на высоте уха, работающего, при выполнении работ сидя. В рабочих зонах измерения производились в точках наиболее частого пребывания работающих. Измерение УЗД и УЗ проводились в

каждой точке не менее трёх раз. При всех измерениях временная характеристика шумомера устанавливается в положение «медленно». Обработка результатов измерений проводилась в соответствии с [2].

2.2.2. Измерение времени реверберации в помещениях

Время реверберации является исходной измеряемой характеристикой для определения акустических качеств помещений. В отличие от свободного звукового поля, где звук в точке наблюдения определяется дивергенцией (при небольших расстояниях), звук в помещении претерпевает значительные изменения, определяемые, помимо дивергенции, отражениями звука от поверхностей помещения. Мерой отражений в помещении служит время реверберации. Время реверберации — время, в течение которого уровни звукового давления в помещении снижаются на 60 дБ после прекращения действия стандартного искусственного источника звука. Чем больше отражений, тем больше время реверберации (гулкие помещения). В гулких помещениях отраженный звук ухудшает характеристики шума на рабочих местах, а также снижает эффективность некоторых шумозащитных конструкций (например, акустических экранов).

Измерение времени реверберации проводилось в соответствии с ГОСТ Р ИСО 3382-2-2013 «Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 2. Время реверберации обычных помещений» [101]. Измерения проводились с помощью измерительного тракта в составе: ненаправленного источника излучения шума (ИШ), шумомеров. Перед измерениями все работающее оборудование выключалось, соблюдался режим тишины, затем включался искусственный ИШ, после выключения которого фиксировалось время реверберации (T , с) в трех точках помещения одновременно, обработка результатов среднеарифметическая. На рисунке 2.1 показано расположение источника шума (ИШ) и точек измерения времени реверберации на граверном участке фабрики в г. Санкт-Петербурге.

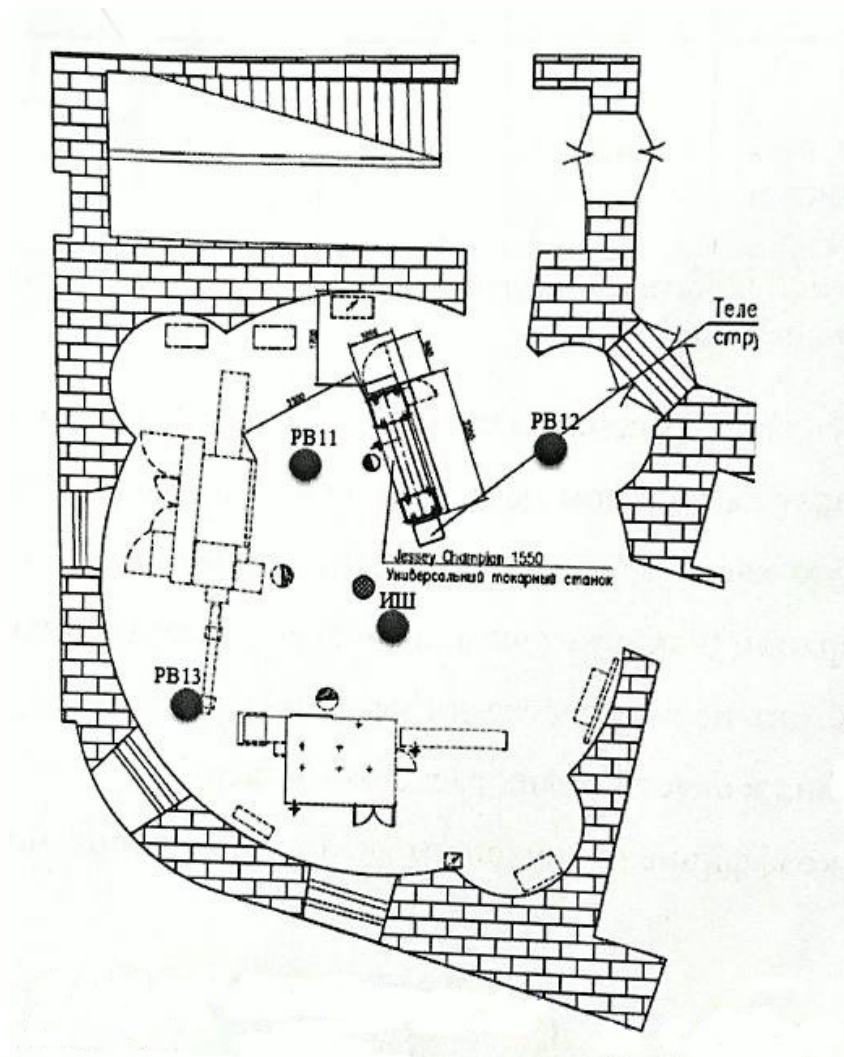


Рисунок 2.1 — Пример схемы размещения ИШ и точек измерения времени реверберации (PB)

PB11, PB12, PB13 — точка измерения времени реверберации,
ИШ — расположение источника шума

2.3. Шум на рабочих местах и в рабочих зонах исследуемых предприятий

2.3.1. Фабрика в г. Санкт-Петербурге

Выполнены измерения в 33 точках на рабочих местах и в рабочих зонах в цехе производства монетно-медально-орденской продукции на участках: плавно-прокатный, чеканки и граверный; полученные результаты приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Результаты измерений шума на рабочих местах и в рабочих зонах (фабрика г. Санкт-Петербург)

Наименование участка (профессии)	№ ТИ	УЗ _{экв} , дБА	Превышение УЗ _{экв} , дБА	УЗ _{макс} , дБА
1	2	3	4	5
Плавильно-прокатный (вальцовщики холодного металла и др.)	1	76	-	87
	2	86	6	93
	3	87	7	95
	4	98	18	105
Участок чеканки (оператор автоматических станков и установок)	5	87	7	97
	6	80	-	88
	7	89	9	91
	8	89	9	89
	9	85	5	86
	10	81	1	85
	11	86	6	90
	12	93	13	96
	13	93	13	96
	14	95	15	98
	15	89	9	95
	16	89	9	98
Плавильно-прокатный (наладчики)	17	94	14	107
	18	93	13	106
	19	92	12	105
	20	88	8	96
Плавильно-прокатный (резчики металла)	21	84	4	98
	22	85	5	89
	23	94	14	98

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5
Граверный (операторы станков с ЧПУ)	24	80	-	96
	25	80	-	94
	26	81	1	98
	27	80	-	96
	28	81	1	96
	29	81	1	97
	30	87	7	98
	31	84	4	97
	32	88	8	99
	33	81	1	84

Выполнен анализ данных, приведенных в таблице 2.1 Из 33 рабочих мест и рабочих зон зафиксированы нормативные эквивалентные УЗ (и незначительные превышения на 1 дБА) всего в 10 измерительных точках. В 4 точках измерений превышение не выше 4-5 дБА, а в остальных 19 точках измерений превышение эквивалентных УЗ от 6 до 15 дБА. Превышения максимальных УЗ примерно аналогичные. Таким образом, шум в норме примерно только на 30% рабочих мест и в рабочих зонах, в остальных случаях превышения от 2 до 18 дБА. Заметим, что максимальные УЗ находятся в диапазоне 84-107 дБА, превышения носят аналогичный характер.

2.3.2 Фабрика №1 в г. Москве

Измерения проводились в печатных цехах. Всего были проведены измерения в 105 точках. В таблице 2.2 приведены данные измерений в 53 точках, наиболее характерных для данного вида производств. Данные по максимальным УЗ не приводятся, т.к. характер превышения аналогичен.

Таблица 2.2 — Результаты выборочных измерений шума на рабочих местах и в рабочих зонах (фабрика №1, г. Москва)

Наименование цеха, производственного участка	№ ТИ	УЗ _{ЭКВ} , дБА	Превышение УЗ _{ЭКВ} , дБА
1	2	3	4
Печатный цех, участок персонификации	1	87	7
	2	83	3
	3	85	5
	4	84	4
	5	100	20
	6	91	11
	7	89	9
	8	91	11
	9	92	12
	10	86	6
	11	85	5
Печатный цех 1	12	85	5
	13	88	8
	14	87	7
	15	86	6
	16	82	2
	17	85	5
	18	90	10
	19	88	8
	20	92	12
	21	86	6
	22	89	9
	23	94	14
	24	93	13
	25	87	7

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4
	26	90	10
Печатный цех 2	27	96	16
	28	97	17
	29	100	20
	30	97	17
	31	102	22
Печатный цех 3	32	84	4
	33	81	1
	34	80	-
Цех металло-графический печати	35	86	6
	36	87	7
	37	90	10
	38	84	4
	39	88	8
	40	89	9
	41	91	11
	42	94	14
	43	90	10
	44	92	12
Цех по изготовлению документов	45	81	1
	46	95	15
	47	88	8
	48	87	7
	49	85	5
	50	90	10

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4
Цех печати, участок гравировки	51	83	3
	52	95	15
	53	90	10

Анализ данных, приведенных в таблице 2.2, показывает, что только в 3-х точках шум в норме (или превышает на 1 дБА). В основном зарегистрированы превышения на 5-10 дБА, но на некоторых рабочих местах и в рабочих зонах превышения от 11 до 20 дБА, т.е. примерно в 66% случаев превышения до 10 дБА, а примерно в 30% более 10 дБА.

2.3.3 Фабрика №2 в г. Москве

Измерения шума проводились в медально-монетном цехе на различных производственных участках и в рабочих зонах. Всего были проведены измерения в 45 точках, результаты по 29 точкам приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3 — Результаты выборочных измерений шума на рабочих местах и в рабочих зонах

Наименование производственных участков (рабочих мест)	№ ТИ	УЗ _{экв} , дБА	Превышение УЗ _{экв} , дБА	УЗ _{макс} , дБА
1	2	3	4	5
Рабочая зона наладчиков	1	82	2	84
	2	83	3	86
	3	91	11	96
	4	88	8	95
	5	85	5	88
	6	87	7	90
	7	86	6	91
Рабочая зона вальцовщиков	8	93	13	98
	9	87	7	90
	10	88	8	95
	11	96	16	100

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4	5
	12	97	17	101
	13	89	9	93
	14	87	7	93
	16	86	6	89
Рабочие места токарей	17	84	4	90
	18	83	3	89
	19	86	6	90
	20	81	1	86
Рабочие зоны слесарей-ремонтников	21	93	13	100
	22	90	10	95
	23	86	6	91
	24	80	-	89
Рабочие места резчиков металла (на ножницах и прессах)	25	86	6	95
	26	97	17	107
	27	102	22	113
	28	97	17	107
	29	102	22	113

Анализ результатов измерений шума на основных рабочих местах и в рабочих зонах показывает, что в незначительном числе (4) точек измерений (ТИ) отмечены превышения эквивалентных УЗ в пределах 3 дБА, превышения до 10 дБА зафиксированы в 16 ТИ, в остальных превышения составили от 11 до 22 дБА. Особенно большие превышения получены на участках резки металла (от 6 до 22 дБА).

2.3.4 Фабрика в г. Пермь

Измерения шума были выполнены в 158 измерительных точках на производственных участках в цехах: книжно-бланочного и пластикового производства (цех 21), зоне печатного производства (цех 31), банкнотного производства (цех 23). Результаты выборочных измерений по 70 точкам представлены в табл. 2.4.

Таблица 2.4 — Результаты выборочных измерений шума на рабочих местах и в рабочих зонах (фабрика, г. Пермь)

Наименование цеха, производственного участка	№ ТИ	УЗ _{экв} , дБА	Превышение УЗ _{экв} , дБА	УЗ _{макс} , дБА
1	2	3	4	5
Участок 1	1	84	4	89
	2	85	5	90
	3	87	7	101
	4	84	4	98
	5	86	6	102
	6	87	7	102
	7	84	4	100
	8	85	5	98
	9	92	12	96
	10	82	2	89
Участок 2	11	84	4	87
	12	85	5	90
	13	83	3	87
	14	85	5	89
	15	87	7	98
	16	84	4	89
Участок 3	17	90	10	97
	18	91	11	96
	19	97	17	100
	20	94	14	99
	21	93	13	97

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5
Участок 4	22	84	4	87
	23	85	5	89
	24	87	7	91
	25	87	7	90
	26	88	8	95
	27	86	6	91
	28	88	8	90
Участок 5	29	80	-	87
	30	81	1	85
	31	87	7	90
	32	84	4	88
	33	87	7	91
	34	83	3	88
	35	93	13	99
	36	86	6	90
Участок 6	37	85	5	102
	38	80	-	98
	39	88	8	93
	40	89	9	97
Участок 7	41	90	10	95
	42	97	17	100
	43	95	15	95
	44	98	18	103
Участок 8	45	84	4	88
	46	80	-	85
	47	84	4	86
	48	86	6	90
	49	83	3	85
	50	81	1	85

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5
Участок 9	51	83	3	86
	52	85	5	90
	53	91	11	95
	54	93	13	96
	55	88	8	95
	56	97	17	99
Участок 10	57	89	9	99
	58	88	8	91
	59	87	7	90
	60	85	5	91
	61	93	13	96
	62	89	9	93
Участок 11	63	81	1	85
	64	87	7	90
	65	83	3	87
	66	82	2	85
	67	84	4	88
	68	87	7	91
	69	94	14	100
Участок 12	70	86	6	90
	71	84	4	89
	72	80	-	85
	73	82	2	85
	74	85	5	90
	75	93	13	95
	76	91	11	99

Анализируя результаты измерений, отметим, что нормы шума превышены в преобладающем числе случаев, но превышения до 10 дБА составляют абсолютное

большинство из общего числа измеренных точек, только примерно в 20% точек превышения составляют от 11 до 18 дБА. Обобщая результаты измерений по всем обследованным фабрикам, сделаем общий вывод: из 435 точек измерений только в 10% эквивалентные УЗ находились в норме, в 70% отмечены превышения от 1 до 10 дБА, а в 20% - превышения составили от 11 до 22 дБА. Таким образом проблема защиты от шума исследованных производств является актуальной.

2.4 Измерения, расчеты и анализ акустических свойств производственных помещений

2.4.1 Общие сведения

Любое помещение обладает набором собственных частот колебаний. При выключении источника звука некоторое время происходят затухающие колебания звука на собственных частотах. На этом эффекте основано определение времени реверберации. Время реверберации — это измеряемый показатель акустического качества помещения. Чем больше время реверберации, тем более гулкое помещения. Снижение времени реверберации в помещении, а значит улучшение его акустических качеств с точки зрения шумозащиты, достигается размещением в помещении звукопоглощающих конструкций или предметов.

Для полной оценки акустических свойств производственных помещений одного времени реверберации недостаточно. Так, например, значение граничного радиуса — величины, показывающей на каком расстоянии от источника шума вклад прямого и отраженного звука приблизительно одинаков, возможно определить зная или время реверберации (T , с.), или эквивалентную площадь звукопоглощения (A , m^2), или акустическую постоянную помещения (B , m^2). Время реверберации является исходной величиной для определения не только акустической постоянной помещения и эквивалентной площади звукопоглощения, но и очень важный и практически реализуемой характеристикой акустических качеств помещений — среднего коэффициента звукопоглощения помещения ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}$), который, как и все вышеперечисленные параметры, имеет частотно-зависимый характер.

Значение среднего коэффициента звукопоглощения из формулы Сэбина [2]:

$$\bar{\alpha}_{\text{пом}} = \frac{0,16V_{\text{пом}}}{S_{\text{пом}}T_{\text{пом}}}, \quad (2.1)$$

где $V_{\text{пом}}$ — объем помещения, м^3 ;

$S_{\text{пом}}$ — площадь отражающих (поглощающих) поверхностей помещения, м^2 ;

$T_{\text{пом}}$ — измеренные значения времени реверберации, с.

Акустическая постоянная:

$$B_{\text{пом}} = \frac{A_{\text{пом}}}{(1-\bar{\alpha}_{\text{пом}})}, \quad (2.2)$$

где $A_{\text{пом}}$ — эквивалентная площадь звукопоглощения помещения, м^2 .

Граничный радиус (радиус реверберации) вычисляется по следующей формуле [87]:

$$r_{\text{гр}} = \sqrt{\frac{A_{\text{пом}}}{16\pi}} = 0,057 \sqrt{\frac{V_{\text{пом}}}{T_{\text{пом}}}}, \quad (2.3)$$

Объективными показателями акустических качеств производственных помещений, определяемыми в данном исследовании, являются $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$, $r_{\text{гр}}$.

Исходя из требований НТД [101], измерения времени реверберации и расчет других параметров осуществлялся с октавной полосы со среднегеометрическим значением частоты 125 Гц.

2.4.2 Измерения и расчеты акустических параметров производственных помещений

Всего было выполнено 3 серии измерений по одной в каждой из исследованных фабрик (на фабрике №2 в г. Москве измерения не проводились) в следующих городах: Санкт-Петербург, Москва, Пермь.

Фабрика г. Санкт-Петербург. В первой серии измерений было обследовано 5 производственных помещений, геометрические параметры которых приведены в таблице 2.5. Указанные в таблице параметры рассчитаны без учета смежных помещений, прилегающих к рассматриваемым.

Таблица 2.5 — Геометрические характеристики помещений

№ помещения	Помещение, рабочее место	Объем помещения, м ³	Общая площадь внутренних поверхностей, м ²
1	Цех 1, плавно-прокатный участок	1841	1151
2	Цех 2, автоматические и полуавтоматические линии станков и установок	143	194
3	Цех 3	154	136
4	Цех 4, резка металла на ножницах и прессах	297	278
5	Цех 5, станки с числовым программным управлением	101	152

Данные усредненных значений времени реверберации, измеренных в производственных помещениях, приведены в таблице 2.6

Таблица 2.6 — Измеренные усредненные значения времени реверберации в производственных помещениях

№ помещений	Измеренные усредненные значения времени реверберации, с в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	1,77	1,71	1,65	1,54	1,45	1,26	1,08
2	0,91	0,82	0,75	0,71	0,69	0,61	0,57
3	1,66	1,47	1,21	1,11	1,04	0,87	0,71
4	1,34	1,12	1,07	1,02	0,99	0,92	0,81
5	1,22	1,13	1,11	1,09	1,01	0,95	0,88

Вычисленные значения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ и $r_{\text{гр}}$ производственных помещениях приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 — Вычисленные значения среднего коэффициента звукопоглощения и граничного радиуса

№ помещений	Вычисляемые параметры	Рассчитанные значения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ и $r_{\text{гр}}$, м, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,11
	$r_{\text{гр}}$	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,45	1,6
2	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,19	0,2
	$r_{\text{гр}}$	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0
3	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,08	0,1	0,12	0,13	0,14	0,16	0,17
	$r_{\text{гр}}$	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8
4	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,13	0,15	0,15	0,16	0,16	0,18	0,2
	$r_{\text{гр}}$	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1
5	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,08	0,09	0,09	0,1	0,1	0,11	0,12
	$r_{\text{гр}}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6

Практически все обследованные помещения имеют очень низкие звукопоглощающие свойства. Характерным для всех помещений являются увеличение среднего коэффициента звукопоглощения с увеличением частоты. Например, в первом помещении от 0,07 до 0,11, в третьем от 0,08 до 0,17. Главный вывод, связанный с разработкой шумозащиты в цехах, состоит в том, что выявлены чрезвычайно низкие значения среднего коэффициента звукопоглощения в помещениях (на высоких частотах значение $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ составляют от 0,07 до 0,2). В связи с этим получены и невысокие значения граничного радиуса (за исключением первого помещения) составляющие

от 0,5 до 1 м. Исследованные помещения имеют низкие акустические качества, что затрудняет разработку отдельных средств шумозащиты, а также является одной из причин повышенного шума на рабочих местах и в рабочих зонах. Обобщая анализ, отметим, что на частоте 1000 Гц средний коэффициент звукопоглощения для всех помещений менее 0,2 ($\bar{\alpha}_{1000}^{\text{пом}} \leq 2$).

Фабрика г. Москва. Во второй серии измерений было обследовано 7 производственных помещений, геометрические параметры которых приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 — Геометрические характеристики обследованных помещений (фабрика г. Москва)

№ помещения	Помещение, рабочее место	Объем помещения, м ³	Общая площадь внутренних поверхностей, м ²
1	Цех с ротационной печатной машиной	1219,9	946,9
2	Упаковочный участок	767,5	618,8
3	Печатный цех	169,9	189,5
4	Участок термоструйных принтеров	518,4	437,4
5	Граверный участок	274,6	263,8
6	Цех с приклеечным оборудованием и прессами	1481,4	1027,0
7	Цех металлографской печати	936,6	620,8

Данные усредненных значений времени реверберации, полученные на основании результатов измерений в производственных помещениях, приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 — Усредненные значения времени реверберации в производственных помещениях

№ помещения	Измеренные усредненные значения времени реверберации, с в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	1,36	1,26	1,20	1,18	1,0	0,95	0,89
2	1,28	1,11	1,02	0,88	0,81	0,80	0,77
3	1,17	1,06	1,00	0,98	0,95	0,84	0,73
4	1,32	1,20	1,09	1,00	0,93	0,83	0,78
5	1,86	1,63	1,36	1,25	1,17	1,11	1,11
6	2,17	2,20	2,08	2,01	1,88	1,58	1,32
7	1,44	1,39	1,28	1,19	1,16	1,06	1,03

Вычисленные значения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ и $r_{\text{гр}}$ в производственных помещениях приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 — Вычисленные значения среднего коэффициента звукопоглощения и граничного радиуса

№ помещений	Вычисляемые параметры	Рассчитанные значения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ и $r_{\text{гр}}$, м, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,15	0,16	0,16	0,17	0,20	0,21	0,23
	$r_{\text{гр}}$	1,7	1,8	1,8	1,8	2,0	2,0	2,0
2	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,15	0,19	0,20	0,20	0,22	0,22	0,23
	$r_{\text{гр}}$	1,4	1,5	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8

Продолжение таблицы 2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,12	0,16	0,16	0,16	0,17	0,19	0,20
	$r_{\text{гр}}$	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0
4	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,15	0,16	0,19	0,20	0,21	0,24	0,26
	$r_{\text{гр}}$	1,4	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,8
5	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15
	$r_{\text{гр}}$	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
6	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17
	$r_{\text{гр}}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9
7	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23	0,23
	$r_{\text{гр}}$	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,7	1,7

Также отметим низкие акустические качества исследованных помещений, значение $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ составило около 0,2.

Фабрика, г. Пермь. В третьей серии измерений было обследовано 10 производственных помещений, геометрические параметры которых приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 — Геометрические характеристики помещений (Фабрика г. Пермь)

№ помещения	Помещение, рабочее место	Объем помещения, м ³	Общая площадь внутренних поверхностей, м ²
1	2	3	4
1	Производственное помещение 1	1369	799,6
2	Производственное помещение 2	1169	704,4

Продолжение таблицы 2.11

1	2	3	4
3	Производственное помещение 3	482	402,3
4	Производственное помещение 4	1264	793,8
5	Производственное помещение 5	990	637,0
6	Производственное помещение 6	1836,7	1539,9
7	Производственное помещение 7	160	179,9
8	Производственное помещение 8	939	592,0
9	Производственное помещение 9	371	280,8
10	Производственное помещение 10	811	606,0

Данные усредненных значений времени реверберации, полученные на основании результатов измерений в производственных помещениях, приведены в таблице 2.12. Вычисленные значения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ и $T_{\text{гр}}$ в производственных помещениях приведены в таблице 2.13.

Таблица 2.12 — Измеренные усредненные значения времени реверберации в производственных помещениях

№ помещений	Измеренные усредненные значения времени реверберации, с в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,61	1,54	1,45	1,36	1,31	1,28	1,08

Продолжение таблицы 2.12

1	2	3	4	5	6	7	8
2	2,32	2,29	2,21	2,02	1,94	1,81	1,63
3	1,34	1,26	1,19	1,16	1,1	1,06	1,0
4	1,51	1,49	1,41	1,32	1,16	1,09	1,02
5	1,42	1,35	1,32	1,20	1,11	1,03	0,95
6	1,47	1,36	1,32	1,30	1,20	1,08	0,94
7	1,41	1,35	1,30	1,19	1,07	0,95	0,81
8	1,91	1,85	1,79	1,78	1,69	1,64	1,60
9	1,37	1,29	1,11	1,06	1,0	0,97	0,85
10	1,28	1,21	1,11	1,05	1,0	0,95	0,85

Таблица 2.13 — Вычисленные значения среднего коэффициента звукопоглощения и граничного радиуса

№ помещений	Вычисляемые параметры	Рассчитанные значения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ и $r_{\text{гр}}$, м, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,15	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,2
	$r_{\text{гр}}$	1,5	1,5	1,5	1,7	1,7	1,8	1,9
2	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,16
	$r_{\text{гр}}$	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,45	1,5
3	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
	$r_{\text{гр}}$	1,0	1,0	1,1	1,15	1,15	1,2	1,2
4	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,25
	$r_{\text{гр}}$	1,2	1,2	1,4	1,7	1,8	1,9	2,0
5	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,25	0,25

Продолжение таблицы 2.13

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$r_{гр}$	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8
6	$\overline{\alpha}_{пом}$	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,18	0,20
	$r_{гр}$	2,0	2,1	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
7	$\overline{\alpha}_{пом}$	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16
	$r_{гр}$	0,6	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8
8	$\overline{\alpha}_{пом}$	0,11	0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16
	$r_{гр}$	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5
9	$\overline{\alpha}_{пом}$	0,15	0,16	0,18	0,2	0,21	0,22	0,24
	$r_{гр}$	0,5	0,9	1,0	1,05	1,1	1,2	1,2
10	$\overline{\alpha}_{пом}$	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,17
	$r_{гр}$	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,7	1,8

Заметим, что полученные данные акустических свойств исследованных помещений подтверждают вышесказанное: $\overline{\alpha}_{пом}^{1000} \leq 0,2$.

2.4.3 Анализ акустических свойств производственных помещений

Всего было обследовано 22 производственных помещения различных объемов и размеров. Полученные измерениями спектры максимальных и минимальных значений времени реверберации в производственных помещениях показаны на рисунке 2.2.

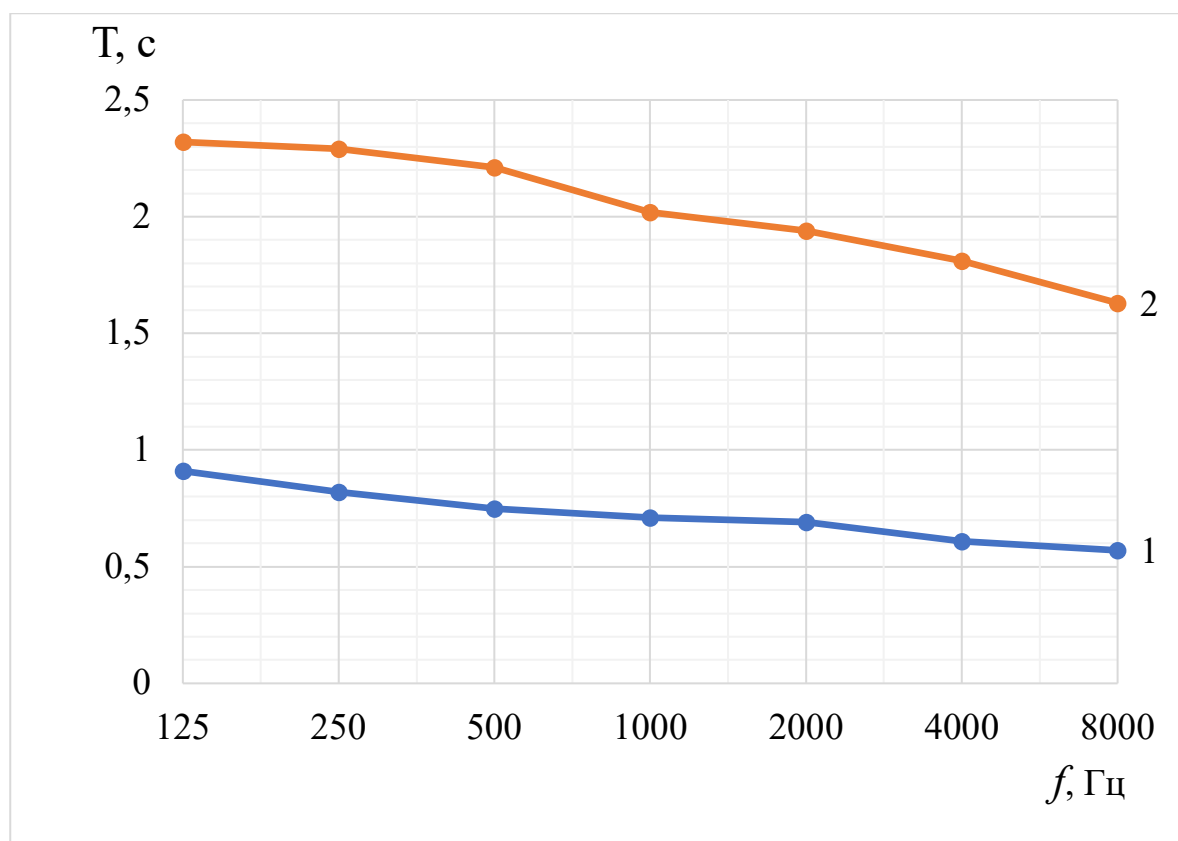


Рисунок 2.2 — Значения времени реверберации, полученные экспериментальным путем в производственных помещениях 3-х фабрик:

1 — минимальные, 2 — максимальные спектры

Спектры имеют частотнозависимый характер (спад с ростом частоты, в пределах 0,6 – 2,3 с.). Разброс полученных значений T связан с разбросом объемов измеренных помещений.

На рисунке 2.3 представлено несколько вычисленных спектров значений средних коэффициентов звукопоглощения, в том числе, полученные минимальный и максимальный спектры. Можно убедиться, что у подавляющего большинства спектров, во всем частотном диапазоне значение среднего коэффициента звукопоглощения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ находится в пределах 0,1-0,2, то есть все без исключения исследованные помещения имеют с точки зрения шумозащиты очень низкие акустические качества.

Для того, чтобы можно было сравнивать производственные помещения друг с другом по акустическим качествам, нами выбрано значение коэффициента звукопоглощения на частоте 1000 Гц в качестве оценочного критерия. Оценивая

исследованные помещения с помощью предложенного критерия, отметим, что $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ находится в пределах 0,15-0,2. Звуковое поле при $\bar{\alpha}_{\text{пом}} = 0,2$ считается диффузным и при расчетах поправка на отклонение от этого допущения принимается равной 0 (при увеличении значений $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ вводятся поправки, начиная от $\bar{\alpha}_{\text{пом}} = 0,3$).

Чем меньше $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$, тем больше влияние отраженного звука, а тем самым меньше эффективность средств шумозащиты, в частности АЭ. Улучшение акустических качеств помещений достигается внесением в помещение звукопоглощающих материалов и конструкций.

Учитывая большую выборку объектов измерений, можно утверждать, что акустически необработанные производственные помещения характеризуются параметрами $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} \leq 0,2$.

Граничный радиус является вспомогательной акустической характеристикой производственного помещения, связанной с размещением акустических экранов, установленных в помещении. Вычисленные значения граничного радиуса, на примере четырех помещений различных предприятий показаны на рисунке 2.4.

Отметим слабо выраженный частотный характер полученных спектров. Величина граничного радиуса связана не только с акустическими свойствами помещений, но и с их объемом. При увеличении объема помещения граничный радиус существенно возрастает.

Величина граничного радиуса для обследованных помещений колеблется в пределах от 0,5-0,7 м до 2,0-2,3 м. Это показывает, что в акустически необработанных небольших помещениях установка АЭ может быть затруднена, т.к. при небольших значениях $r_{\text{гр}}$ УЗД в разных точках за АЭ могут быть примерно одинаковыми из-за влияния отраженного звука. В то же время в помещениях больших размеров установка АЭ в области прямого звука не вызывают затруднений. Таким образом, наряду с определением $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$, необходимо знать величину $r_{\text{гр}}$ и пользоваться этим на практике.

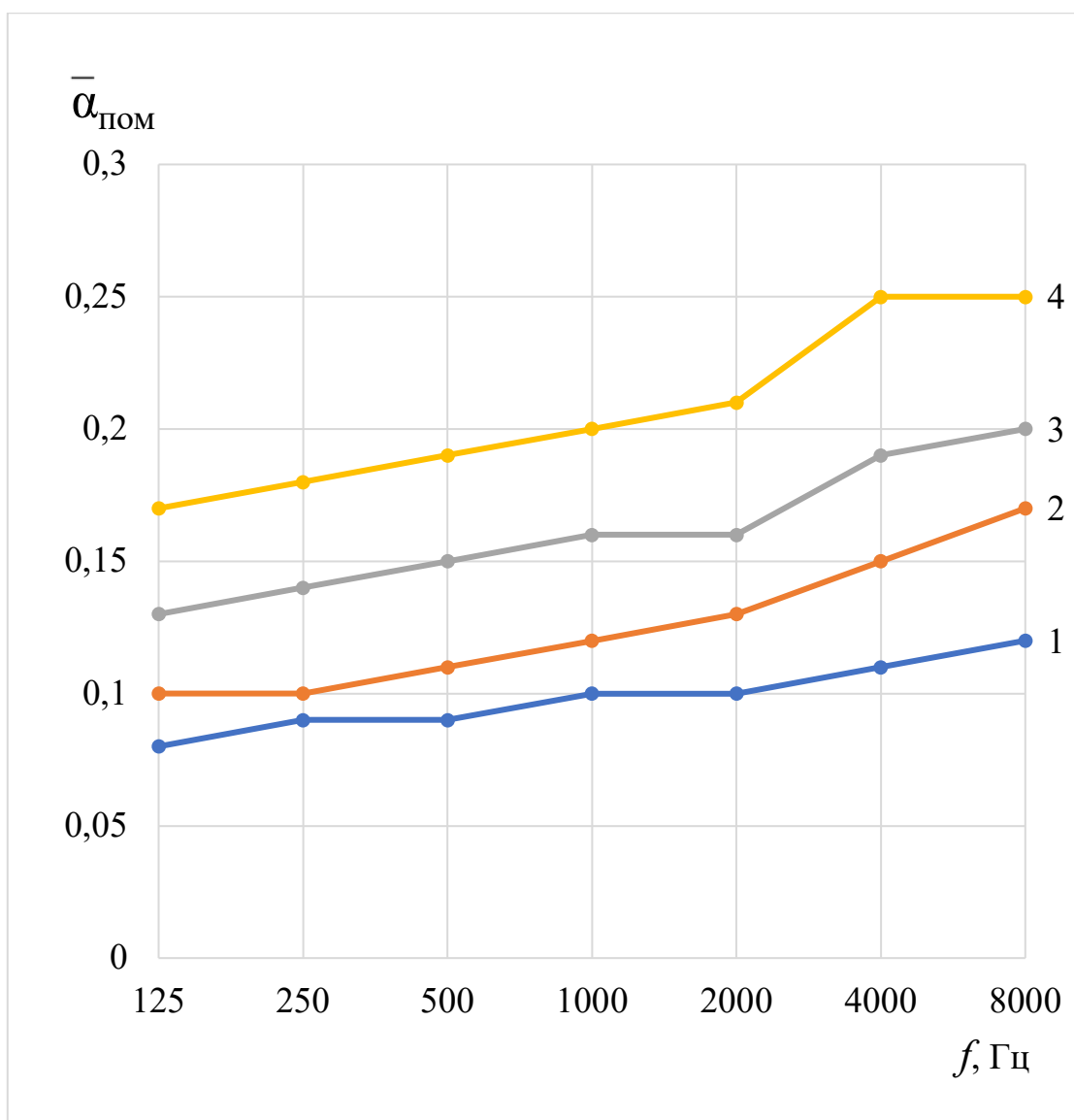


Рисунок 2.3 — Рассчитанные спектры среднего коэффициента звукопоглощения в отдельных производственных помещениях фабрик:

1 — помещение №5 (фабрика г. Санкт-Петербург), 2 — помещение №6 (фабрика г. Москва), 3 — помещение №2 (фабрика г. Санкт-Петербург), 4 — помещение №5 (фабрика г. Пермь)

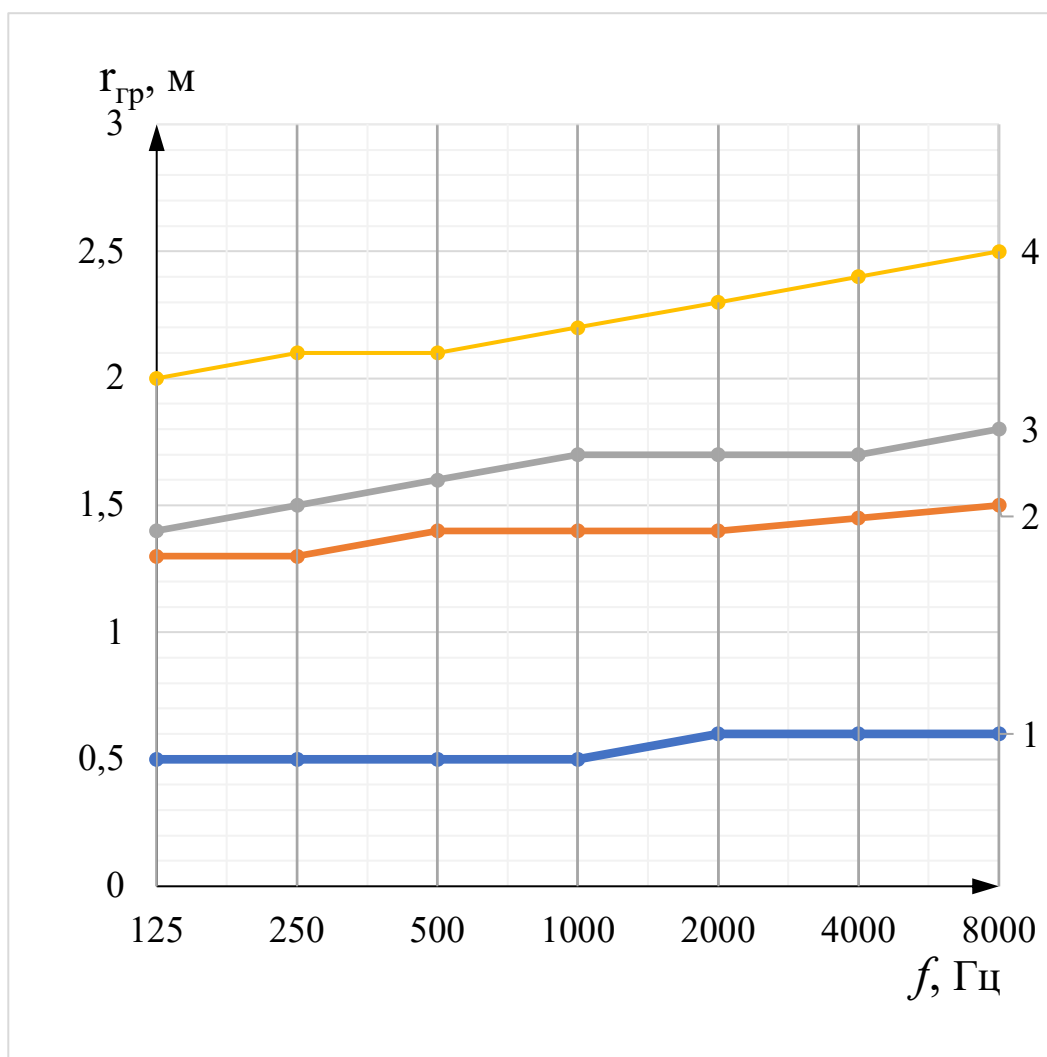


Рисунок 2.4 — Вычисленные значения граничного радиуса ($r_{гр}$) в отдельных производственных помещениях:

- 1 — помещение №5 (фабрика г. Санкт-Петербург); 2 — помещение №2 (фабрика г. Пермь); 3 — помещение №4 (фабрика г. Москва);
4 — помещение №6 (фабрика г. Пермь)

2.5 Классификация производственных помещений по их акустическим свойствам

Если использовать для оценки акустических свойств производственных помещений предложенный критерий $\overline{\alpha}_{пом}^{1000}$, то производственные помещения можно классифицировать и разбить на четыре класса (табл. 2.14).

Таблица 2.14 — Классификация производственных помещений по их акустическим качествам (свойствам)

Класс помещения	Характер звукового поля	Значение выбранного критерия $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$	Акустические характеристики помещения
I	диффузное	0,2	Гулкое, не имеет акустической обработки
II	квазидиффузное	0,3	Незначительная акустическая обработка
III	квазидиффузное	0,4	Заметная акустическая обработка
IV	слабодиффузное	0,5	Максимально возможная на практике акустическая обработка

Таким образом, пользуясь предложенной классификацией, можно разрабатывать средства звукопоглощения. Исследования эффективности АЭ в помещениях выполнялись автором в соответствии с предложенной классификацией.

Выводы по главе

1. Измерения шума (эквивалентные и максимальные уровни звука, дБА) были проведены на рабочих местах и в рабочих зонах четырех производственных предприятий в следующих городах: Санкт-Петербург, Москва, Пермь. Всего было обследовано почти 50 производственных цехов, производственных участков и производственных линий, измерения проведены в 435 измерительных точках (ТИ).

2. При анализе было установлено, что уровни звука не превышают норму примерно на 10% рабочих мест и в рабочих зонах, в 70% превышения шума до 10 дБА, а в 20% зарегистрированы существенные превышения от 11 до

22 дБА. Таким образом, проблема защиты от шума на предприятиях этой отрасли является актуальной.

3. Акустические свойства помещений промышленных предприятий были изучены на основании экспериментальных исследований 22 помещений (цехов и производственных участков), для каждого из которых были выполнены измерения времени реверберации, а затем выполнены вычисления среднего коэффициента звукопоглощения (основной показатель) и граничного радиуса (вспомогательный показатель, связанный с размещением акустических экранов в помещении) в октавных полосах в диапазоне частот 125-8000 Гц. Оба расчетных параметра имеют частотно-зависимый характер — увеличение значений при увеличении частоты. Исходной характеристикой для расчётов являлись измеренные значения времени реверберации, которые составили от 0,8-0,5 до 2,3-1,3 с. Вычисленные значения среднего коэффициента звукопоглощения находятся в диапазоне 0,1-0,2 (за исключением небольшого числа спектров, где эти значения составили 0,21-0,23 в частотном диапазоне 2000-8000 Гц). В качестве оценочного критерия акустических качеств производственных помещений предложено использовать значение среднего коэффициента звукопоглощения на частоте 1000 Гц ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$). Отмечено, что исследуемые производственные помещения имеют низкие акустические качества ($\bar{\alpha}_{\text{пом}} \leq 0,2$), что снижает эффективность средств шумозащиты, устанавливаемых на пути распространения звука от ИШ до рабочего места или рабочей зоны, в частности, акустических экранов.

4. Предложена классификация акустических свойств производственных помещений в зависимости от значения предложенного критерия и характера звукового поля в помещении:

- I класс: ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} \leq 0.2$), звуковое поле диффузное, помещение гулкое, какое-либо звукопоглощение отсутствует;
- II класс: ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0.3$), звуковое поле квазидиффузное, помещение обладает слабым звукопоглощением;

- III класс: ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0.4$), звуковое поле квазидиффузное, помещение обладает заметным звукопоглощением;

- IV класс: ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0.5$), звуковое поле слабодиффузное, помещение обладает максимально возможным звукопоглощением.

Использование предложенной классификации позволяет не только систематизировать акустические качества производственных помещений, но упрощает и упорядочивает выбор шумозащиты, устанавливаемой на пути распространения звука от ИШ до защищаемого объекта, в частности, АЭ.

Глава III. РАСЧЕТ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭ, УСТАНОВЛЕННЫХ В ПОМЕЩЕНИИ И В СВОБОДНОМ ЗВУКОВОМ ПОЛЕ

3.1. Расчёт снижения УЗД в помещении АЭ согласно ГОСТ 31287-2005 (ИСО 17624-2004)

В рассматриваемом документе [87] в основу расчёта положено положение о наличии в помещении прямого звука от ИШ и отражённого, образованного многократными отражениями от поверхностей помещения. Схема расположения акустического экрана в помещении, отражений звука, а также, обозначения, необходимые для выполнения расчётов, показаны на рисунке 3.1.

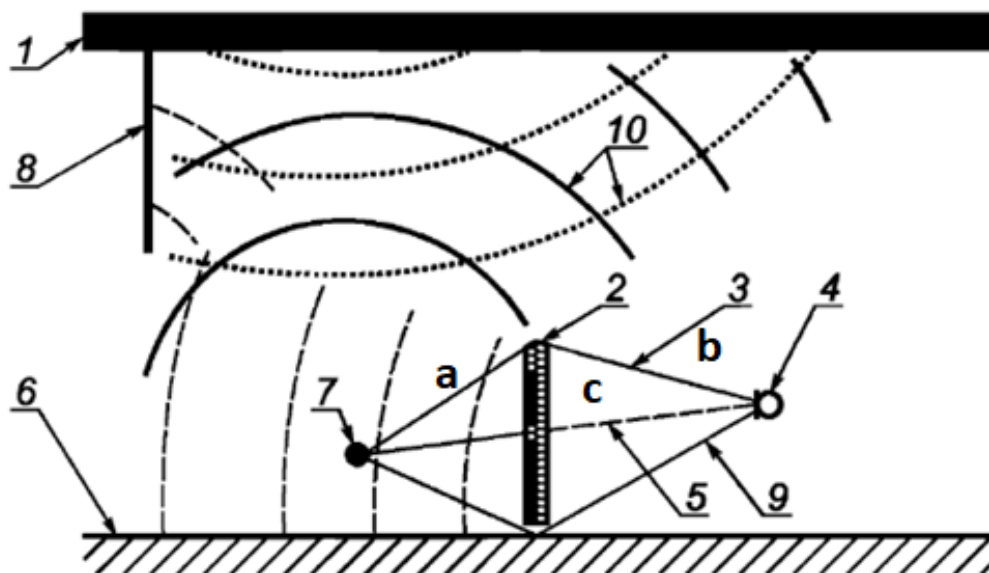


Рисунок 3.1 — Схема распространения звука в помещении при установленном экране:

- 1 — потолок; 2 — акустический экран; 3 — дифрагирующий звук; 4 — микрофон;
5 — прямой звук; 6 — пол; 7 — источник шума;
8 — акустическая преграда; 9 — отраженный от пола звук;
10 — отраженный и рассеянный звук

В зоне прямого звука (предлагается эту часть пространства рассматривать как свободное звуковое поле) эффективность АЭ высчитывается по формуле:

$$\Delta L_{\text{экp}}^{\text{пр}} = 10 \lg \left(3 + 40 \frac{z}{\lambda} \right), \text{дБ} \quad (3.1)$$

где λ — длина звуковой волны, м.

z — разность хода звуковых лучей, м:

$$z = a + b - c, \quad (3.2)$$

где a, b, c — расстояния (см. рис. 3.1)

Снижение звука АЭ с учётом отражения звука в пределах радиуса реверберации (или граничного радиуса):

$$\Delta L_{\text{экp}}^{\text{отp}} = 10 \lg \left(1 + 20 \frac{z}{\lambda} \right), \text{дБ} \quad (3.3)$$

Значение радиуса реверберации (граничного радиуса) определяется:

$$r_{\text{гр}} = \sqrt{\frac{A}{16\pi}} = 0,057 \sqrt{\frac{V}{T}}, \text{м} \quad (3.4)$$

где A — эквивалентная площадь звукопоглощения помещения, м^2 ;

V — объем помещения, м^3 ;

T — время реверберации в помещении, с.

Результаты расчётов для АЭ размером 2х2 м., а также сравнение с экспериментом приведены в таблице 3.1. Для понимания полученных в формулах расчета значений z необходимые обозначения приведены на рис 3.2 и рис 3.3. Рисунки отличаются лишь расположением РТ. На рис 3.2 РТ расположена в зоне прямого звука на расстоянии 0,5 от АЭ и на высотах от пола 1 м. вторая точка (рис 3.3.) расположена в пределах граничного радиуса на такой же высоте, но на

расстоянии 2 м от АЭ, как для расчетов, так и для экспериментов, выбран АЭ 2х2м, высота АЭ $h_{\text{экp}} = 2$ м.

Результаты расчетов сравнивались с экспериментальными данными эффективности АЭ в помещении с различными акустическими свойствами в соответствии с предложенным значением $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ (0,2, 0,3, 0,4, 0,5). Не комментируя данные экспериментов, лишь отметим большую разницу расчетных и экспериментальных данных, достигающую даже для $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$ значений 4,5 – 5 дБ. Для помещений с худшими акустическими свойствами эта разница может достигать десятков дБ. Общий вывод: предложенные в ГОСТ 31287-2005 (ИСО 17624-2004) формулы непригодны для расчета эффективности АЭ в помещениях.

Таблица 3.1 — Результаты расчётов АЭ размером 2х2 в сравнении с данными экспериментов (см. табл. 4.7)

Параметр, формула	Численные значения параметров, эффективность АЭ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\lambda = \frac{c}{f}, \text{ м.}$ $c = 340 \text{ м/с}$	2,7	1,36	0,68	0,34	0,17	0,08	0,04
$\Delta L_{\text{экp}}^{\text{пр}} = 10 \lg \left(3 + 40 \frac{z}{\lambda} \right), \text{ дБ}$	14	16	20	22	25	28	31
$\Delta L_{\text{экp}}^{\text{отp}} = 10 \lg \left(1 + 20 \frac{z}{\lambda} \right), \text{ дБ}$	10	13	16	19	22	25	28
Данные экспериментов АЭ 2х2 в помещении (см. табл. 4.7) , дБ							
$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$	1,5	2	2	3	5	5,5	4,0
$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,3$	2,5	4	5	6,5	8	10,5	11
$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4$	3,5	5,5	8,5	10	13	15	16
$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$	4,5	8	11	13	17,5	19	20

Сравнение экспериментальных и расчётных данных показала неприменимость использования оптико-дифракционной теории для расчётов АЭ в помещениях. В то же время, идея определять акустическую эффективность АЭ с учетом радиуса реверберации является плодотворной. Анализ экспериментальных данных также показывает: идея разработчиков ИСО 17624-2004 считать, что, если АЭ в помещении находится в зоне прямого звука, то он находится в свободном звуковом поле, некорректна. Даже в зоне прямого звука обязательно присутствуют определённый вклад отражённого звука, что будет заметно влиять на эффективность АЭ в помещении. Для упрощения расчётов можно использовать идею расположения АЭ в свободном звуковом поле (область прямого звука), но

вносить в эти результаты поправки на влияние отражённого звука (например, из данных экспериментов, в соответствии с предложенной классификацией помещений).

3.2. Расчёт АЭ в свободном звуковом поле с использованием метода последовательного преобразования звуковых полей

Суть метода последовательного преобразования звуковых полей изложена в [2, 3]. Первой этот метод для расчёта АЭ (в свободном звуковом поле и в помещении) использовала Н.В. Тюрина, [51, 52]

Предлагается, с использованием указанного метода, получить формулу для расчёта АЭ в свободном звуковом поле, полагая, что расчётная точка (РТ) расположена на расстояниях от АЭ меньше граничного радиуса, а влияние помещения учитывать экспериментальной поправкой (в зависимости от класса помещения).

Эффективность АЭ определяется в виде [2]:

$$\Delta L_{\text{экp}} = 10 \lg \frac{I_{\text{PT}}^{6/3}}{I_{\text{PT}}^{c/3}}, \text{ дБ} \quad (3.5)$$

где $I_{\text{PT}}^{6/3}$ — интенсивность звука в РТ без АЭ, Вт/м²;

$I_{\text{PT}}^{c/3}$ — интенсивность звука в РТ с установленным АЭ, Вт/м².

Расчётная схема показана на рисунке 3.2.

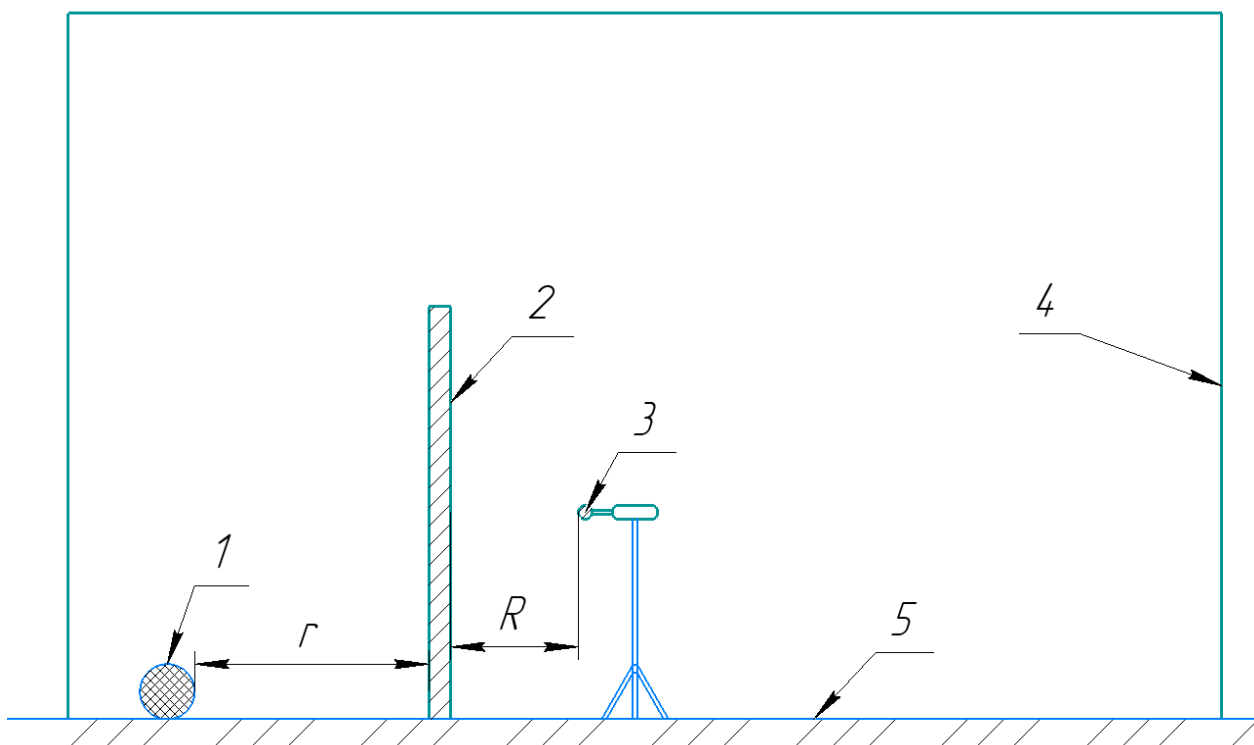


Рисунок 3.2 — Расчетная схема АЭ:

1 — источник шума (ИШ), 2 — акустический экран (АЭ),
3 — расчётная точка (РТ), 4 — помещение, 5 — опорная поверхность.

При выводе формулы приняты допущения:

- звукопоглощение опорной поверхности между ИШ и РТ не учитывается;
- звук проходит через одно верхнее свободное ребро АЭ;
- свободное ребро является вторичным линейным ИШ;
- источник шума (ИШ) точечный;
- АЭ расположен в зоне прямого звука $r \leq r_{гр}$;
- АЭ принят звуконепроницаемой конструкцией, т. е. $ЗИ_{экр}$ - звукоизоляция экрана выше, чем его эффективность - $\Delta L_{экр}$ ($ЗИ_{экр} > \Delta L_{экр}$).

Определим числитель в формуле (3.6):

$$I_{PT}^{б/э} = \frac{W_{ист}}{2\pi(r+R)^2}, \text{Вт/м}^2 \quad (3.6)$$

где $W_{ист}$ — акустическая мощность ИШ, Вт;

r — расстояние от ИШ до АЭ, м;

R — расстояние от АЭ до РТ, м.

Выполним определение знаменателя в формуле (3.7), используя метод последовательного преобразования звуковых полей.

Интенсивность звука, падающего в нижнюю часть АЭ:

$$I_{пад} = \frac{W_{ист}}{2\pi r^2}, \text{Вт/м}^2 \quad (3.7)$$

Акустическая мощность, излучаемая в нижней части АЭ вторичным условным ИШ шириной 1 м.

$$W_n = I_{пад} l_{экр} \cdot 1, \text{Вт} \quad (3.8)$$

где $l_{экр}$ — длина АЭ, м.

Интенсивность АЭ в верхней части АЭ (на свободном ребре):

$$I_p = \frac{W_n(1-\alpha_{экр})}{\pi h_{экр} l_{экр}} \cdot \arctg \frac{l_{экр}}{2h_{экр}}, \text{Вт/м}^2 \quad (3.9)$$

где $\alpha_{экр}$ — частотно-зависимый коэффициент звукопоглощения АЭ;

$h_{экр}$ — высота АЭ, м.

Мощность звука, дифрагировавшего через АЭ:

$$W_{экр} = I_p l_{экр} \lambda \beta_{дифр}^{экр}, \text{Вт} \quad (3.10)$$

где λ — длина звуковой волны, м.;

$\beta_{дифр}^{экр}$ — коэффициент дифракции АЭ.

Интенсивность звука в РТ с АЭ:

$$I_{\text{РТ}}^{c/\text{э}} = \frac{W_{\text{экp}}}{\pi l_{\text{экp}} R} \cdot \arctg \frac{l_{\text{экp}}}{2R}, \text{ Вт/м}^2 \quad (3.11)$$

Подставим (3.7) - (3.10) в формулу (3.11):

$$I_{\text{РТ}}^{c/\text{э}} = \frac{W_{\text{ист}} l_{\text{экp}} \cdot 1(1 - \alpha_{\text{экp}}) l_{\text{экp}} \lambda \beta_{\text{дифр}}^{\text{экp}}}{2\pi r^2 \cdot \pi h_{\text{экp}} l_{\text{экp}} \cdot \pi l_{\text{экp}} R} \cdot \arctg \frac{l_{\text{экp}}}{2h_{\text{экp}}} \cdot \arctg \frac{l_{\text{экp}}}{2R}, \text{ Вт/м}^2 \quad (3.12)$$

После упрощений (3.12) подставим (3.6) и (3.12) в (3.13):

$$\Delta L_{\text{экp}} = 10 \lg \frac{W_{\text{ист}} 2\pi r^2 2\pi h_{\text{экp}} \pi R}{2\pi(r+R)^2 W_{\text{ист}} (1 - \alpha_{\text{экp}}) \lambda \beta_{\text{дифр}}^{\text{экp}} \cdot \arctg \frac{l_{\text{экp}}}{2h_{\text{экp}}} \cdot \arctg \frac{l_{\text{экp}}}{2R}} \text{ дБ} \quad (3.13)$$

Выполняем преобразование (3.14):

$$\begin{aligned} \Delta L_{\text{экp}} = & 10 \lg \frac{r^2 R}{(r+R)^2 r_0} + 10 \lg \frac{h_{\text{экp}}}{\lambda} - 10 \lg(1 - \alpha_{\text{экp}}) + 10 \lg \beta_{\text{дифр}}^{\text{экp}} - \\ & - 10 \lg \left(\arctg \frac{l_{\text{экp}}}{2h_{\text{экp}}} \right) - 10 \lg \left(\arctg \frac{l_{\text{экp}}}{2R} \right) + 10 \lg 2\pi^2 - \Delta L_{\text{пом}}^f + \Delta L_{\text{ф}}^f, \text{ дБ} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Где $r_0 = 1 \text{ м}$.

В полученную формулу введены поправки $\Delta L_{\text{пом}}^f$ на влияние отраженного звука в помещении, $\Delta L_{\text{ф}}^f$ - влияние формы АЭ на эффективность. Отрицательная частотно-зависимая поправка ($\Delta L_{\text{пом}}^f$) будет получена для четырех классов помещений (см. табл. 4.8 глава 4). Положительная частотно-зависимая поправка ($\Delta L_{\text{ф}}^f$) получена для трех типов АЭ (см. табл. 4.8 глава 4). Результаты расчётов АЭ в свободном звуковом поле в сравнении с данными экспериментов на опытном стенде (см. Главу 4) приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Расчёт АЭ в свободном звуковом поле

Параметр, формула	Параметры, разность УЗД, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\lambda = \frac{c}{f}$, м.	2,7	1,36	0,68	0,34	0,17	0,08	0,04
$10 \lg \frac{r^2 R}{(r + R)^2 r_0}$ $r = 1 \text{ м.}$ $R = 0,5 \text{ м.}$	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
$10 \lg \frac{h_{\text{экp}}}{\lambda}$ $h_{\text{экp}} = 2 \text{ м.}$	-1	2	5	8	11	14	17
$\alpha_{\text{экp}}$ (паспорт)	0,5	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
$10 \lg(1 - \alpha_{\text{экp}})$	3	5	7	7	7	7	5
$10 \lg \left(\arctg \frac{l_{\text{экp}}}{2h_{\text{экp}}} \right)$	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
$10 \lg \left(\arctg \frac{l_{\text{экp}}}{2R} \right)$	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
$10 \lg 2\pi^2$	13	13	13	13	13	13	13
$10 \lg \beta_{\text{дифр}}^{\text{экp}}$ $\beta = \frac{1}{\pi}$	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
$\Delta L_{\text{экp}}$, дБ (расчет)	3	7	12	15	18	21	22
$\Delta L_{\text{экp}}$ 2x2 м. (эксперимент), дБ	6	10	14	16	20	22	23
Отклонение данных, дБ	3	3	2	1	2	1	1

Сравнительный анализ данных расчётов и экспериментов показал, что отклонение во всём частотном диапазоне не превышает 1–3 дБ, что можно признать удовлетворительным.

3.3 Расчет АЭ в пределах граничного радиуса

Ослабление шума (или акустическую эффективность) АЭ в пределах граничного радиуса определим тем же методом с учётом отражения звука (акустических свойств помещения). Известно, что в этом случае звук в РТ определяется наличием двух составляющих, представляющих сумму прямого и отражённого звука. Расчётная схема показана на рис 3.3.

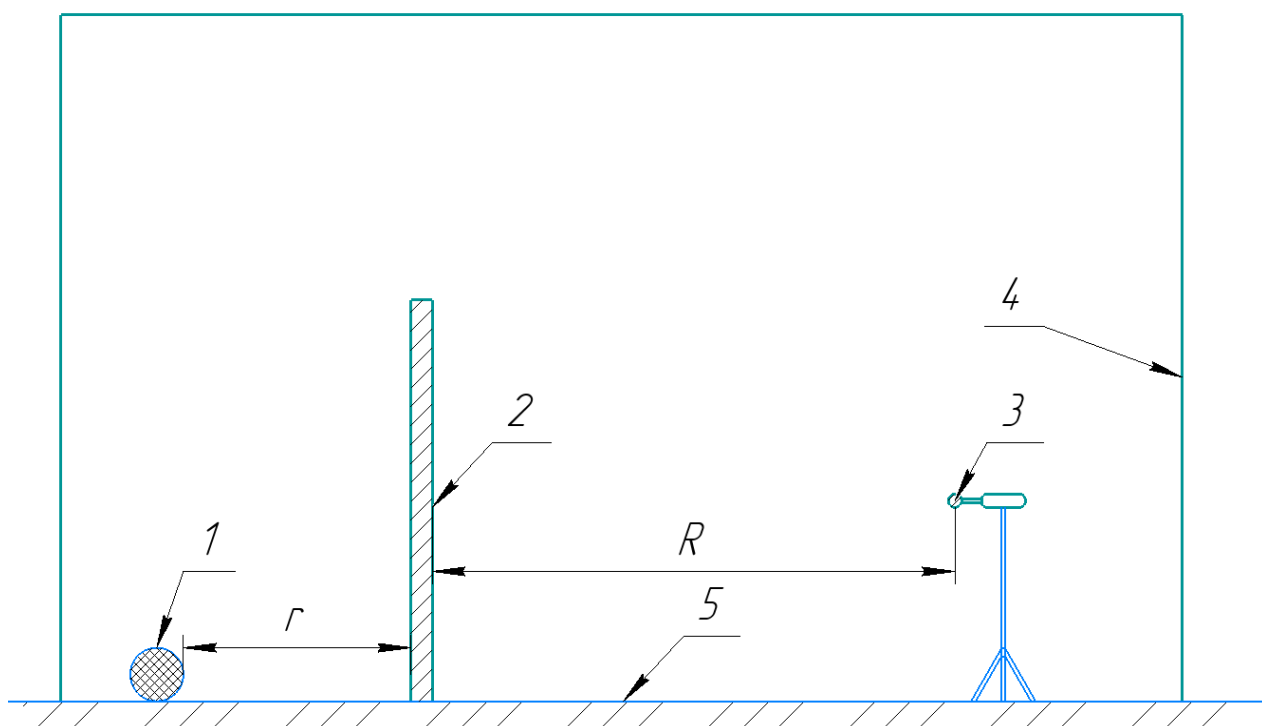


Рисунок 3.3 — Расчетная схема АЭ:

1 — источник шума (ИШ), 2 — акустический экран (АЭ), 3 — расчётная точка (РТ), 4 — помещение, 5 — опорная поверхность.

При выводе формулы приняты допущения:

- $r + R \geq 2r_{\text{гр}}$;
- АЭ звуконепроницаемый ($\text{ЗИ}_{\text{экp}} > \Delta L_{\text{экp}}$).

Для случая отсутствия АЭ:

$$I_{PT(пом)}^{6/3} = W_{ист} \left[\frac{1}{2\pi(r+R)^2} + \frac{4(1-\bar{\alpha}_{пом})}{\psi_{пом} A_{пом}} \right], \text{ Вт/м}^2, \quad (3.15)$$

где $\bar{\alpha}_{пом}$ — частотно-зависимый средний коэффициент звукопоглощения помещения;

$A_{пом}$ — эквивалентная площадь звукопоглощения помещения, м²;

$\psi_{пом}$ — коэффициент, показывающий степень отклонения характера звукового поля от идеального диффузного в зависимости от $\bar{\alpha}_{пом}$ (таблица 3.3).

Таблица 3.3 — Значения поправки $\psi_{пом}$ [2]

$\bar{\alpha}_{пом}$	$\psi_{пом}$	$10\lg\psi$, дБ
0,2	1,25	1
0,4	1,6	2
0,5	2,0	3
0,6	2,5	4

Для получения аналогичного выражения при наличии АЭ воспользуемся преобразованным выражением (3.12).

Тогда

$$I_{PT(пом)}^{6/3} = W_{ист} \left[\frac{(1-\alpha_{экр})\lambda\beta_{дифр}^{экр} \cdot \arctg \frac{l_{экр}}{2h_{экр}} \cdot \arctg \frac{l_{экр}}{2R}}{2\pi r^2 \cdot \pi h_{экр} \cdot \pi R} + \frac{4(1-\bar{\alpha}_{пом})}{\psi_{пом} A_{пом}} \right], \text{ Вт/м}^2 \quad (3.16)$$

Подставим (3.15) и (3.16) в (3.5) получим формулу для расчёта эффективности АЭ в помещении в пределах граничного радиуса (радиуса реверберации):

$$\Delta L_{\text{экp}}^{\text{пом}} = 10 \lg \left[\frac{1 \cdot r_0^2}{2\pi(r+R)^2} + \frac{4(1-\bar{\alpha}_{\text{пом}})A_0}{\psi_{\text{пом}} A_{\text{пом}}} \right] -$$

$$- 10 \lg \left[\frac{(1-\alpha_{\text{экp}}) \lambda \beta_{\text{дифр}}^{\text{экp}} \cdot \arctg \frac{l_{\text{экp}}}{2h_{\text{экp}}} \cdot \arctg \frac{l_{\text{экp}}}{2R} r_0^3}{2\pi^3 r^2 \cdot h_{\text{экp}} \cdot R} + \frac{4(1-\bar{\alpha}_{\text{пом}}'')A_0}{\psi_{\text{пом}}'' A_{\text{пом}}''} \right], \text{ дБ}, \quad (3.17)$$

где $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ — средний коэффициент звукопоглощения после установки в помещении АЭ, обладающего звукопоглощающими свойствами;

$\bar{\psi}_{\text{пом}}$ — коэффициент, показывающий отклонение звукового поля от диффузного;

$\bar{A}_{\text{пом}}$ — эквивалентная площадь звукопоглощения в помещении после установки в помещении АЭ, обладающего звукопоглощающими свойствами;

$$r_0 = 1 \text{ м};$$

$$A_0 = 1 \text{ м}^2.$$

В таблице 3.4 дан пример расчёта эффективности АЭ в помещении в пределах граничного радиуса, величина которого составляет 2 м. Акустический экран, который устанавливается в помещении, с двух сторон облицован звукопоглощающим материалом.

Таблица 3.4 — Результаты расчётов акустической эффективности АЭ в помещении в пределах граничного радиуса (формула 3.17)

Параметр, формула	Вычисленные значения в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\frac{1}{2\pi(r+R)^2}$ $r = 1\text{м.}$ $R = 0,5\text{м.}$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
$\frac{4(1 - \bar{\alpha}_{\text{пом}})}{\psi_{\text{пом}} A_{\text{пом}}}$ $\psi_{\text{пом}} = 1$ $A_{\text{пом}} = 160\text{м.}$	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,14	0,14	0,16	0,2	0,2	0,31	0,3
$10\lg \left[\frac{1 \cdot r_0^2}{2\pi(r+R)^2} + \frac{4(1-\bar{\alpha}_{\text{пом}})A_0}{\psi_{\text{пом}} A_{\text{пом}}} \right]$	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
$10\lg \left[\frac{(1-\alpha_{\text{экр}})\lambda\beta_{\text{дифр}}^{\text{экр}} \cdot \arctg \frac{l_{\text{экр}}}{2h_{\text{экр}}} \cdot \arctg \frac{l_{\text{экр}}}{2R} r_0^3}{2\pi^3 r^2 \cdot h_{\text{экр}} \cdot R} + \frac{4(1-\bar{\alpha}_{\text{пом}})A_0}{\psi_{\text{пом}} A_{\text{пом}}} \right]$	7	8	9	9	9	9	8
$\Delta L_{\text{экр}}$ (расчет), дБ	1	2	3	3	3	3	2
Экран 2х2 м. (эксперимент), дБ	0	1,5	2	2	2	3	1,5
Разница данных, дБ	1	0,5	1	1	1	0	0,5

Сравнительный анализ данных расчётов и экспериментов показал хорошее (в пределах 0,5-1дБ) совпадение результатов, отклонение 0,5-1 дБ.

Выводы по главе:

1. Расчёт по формулам, представленным в основном нормативном документе, показал неприемлемое отклонение расчётных данных от данных экспериментов, то есть представленные в НТД формулы практически не

работают. В основу этих формул положена оптико-дифракционная теория, базирующаяся на разности хода звуковых лучей в присутствии экрана, определяемая числом Френеля.

2. Тем не менее в рассмотренном нормативном документе содержится рабочая идея, которая была положена нами в основу расчётов АЭ, находящихся в зоне прямого звука. В НТД предложено звуковое поле за АЭ в расчетной точке (РТ), находящейся в зоне глубокой акустической тени, т.е. до границы звуковых полей (до граничного радиуса) рассматривать как свободное звуковое поле, т.е. свободное от влияния отражений в области до граничного радиуса. Нами эта идея использована, но отраженный звук предложено учитывать поправкой в РТ по результатам экспериментальных исследований, посвященных влиянию отраженного звука в помещениях, согласно предложенной классификации. Расчёт в пределах граничного радиуса предложено выполнять, основываясь на значениях эквивалентной площади звукопоглощения до и после установки АЭ.

3. Основываясь на методе последовательного преобразования звуковых полей, была получена формула для расчётов АЭ в свободном звуковом поле. Эффективность АЭ зависит от расположения его в пространстве, высоты АЭ, его поглощающих свойств и коэффициента дифракции. Экспериментальные поправки на влияние помещения и форму АЭ будут получены и изложены в следующей главе. Для звукового поля в пределах граничного радиуса получена формула для расчётов АЭ, в которой, помимо вышеуказанных параметров, также включены параметры, показывающие поглощающие (отражающие) свойства помещений (средний коэффициент звукопоглощения, эквивалентная площадь звукопоглощения и коэффициент диффузности звукового поля), как до, так и после установки АЭ. Экспериментальная проверка показала приемлемую точность результатов, полученных расчётом по двум предложенным формулам.

Глава IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЭ В СВОБОДНОМ ЗВУКОВОМ ПОЛЕ И В ПОМЕЩЕНИИ, РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ

4.1 Краткое описание опытного стенда

Стенд представлял собой набор деревянных АЭ трех типоразмеров, а также набор приборов и аппаратуры: шумомеры, искусственный ненаправленный источник звука. Испытания проводились на двух испытательных площадках: на открытом воздухе, где испытательная площадка была свободна от каких-либо отражающих (поглощающих) предметов и сооружений в радиусе 30 м от ее центра (в условиях свободного звукового поля), и в испытательном помещении. Испытываемые конструкции и аппаратуры располагались в центре испытательной площадки или помещения.

Испытательное помещение имело следующие размеры: высота — 3,6 м, длина — 6,4 м, ширина — 5,6 м, площадью — 159 м² и объемом — 130 м³. Стены помещения, потолок и пол исходно бетонные последовательно (в 4 этапа) облицовывались ЗПМ различной площади. Акустические характеристики помещения приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 — Акустические характеристики испытательного помещения

№ этапов	Обозначение измеренных (Т, с) и вычисленных параметров ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}$)	Измеренные (Т, с) и вычисленные ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}$, $r_{\text{гр}}$, м) параметры в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
Этап I	Т, с *	0,92	0,80	0,55	0,55	0,54	0,43	0,40
	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ **	0,14	0,16	0,2	0,2	0,24	0,31	0,30
	$r_{\text{гр}}$ ***	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0
Этап II	Т, с	0,63	0,60	0,59	0,40	0,40	0,36	0,31
	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,21	0,21	0,22	0,33	0,33	0,37	0,40
	$r_{\text{гр}}$	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	1,2
Этап III	Т, с	0,55	0,53	0,40	0,30	0,28	0,23	0,21
	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,24	0,25	0,33	0,43	0,47	0,58	0,6
	$r_{\text{гр}}$	0,9	0,9	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4
Этап IV	Т, с	0,35	0,29	0,27	0,25	0,23	0,19	0,18
	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}$	0,36	0,46	0,48	0,51	0,57	0,68	0,70
	$r_{\text{гр}}$	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,5	1,5

* Т, с — время реверберации

** $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ — усредненный коэффициент звукопоглощения

*** $r_{гр}$, м — граничный радиус

Характеристики звукопоглощения испытательного помещения изменились в соответствии с предложенным критерием $\bar{\alpha}_{пом}^{1000}$ поэтапно (путем увеличения площади звукопоглощения). По выбранному критерию $\bar{\alpha}_{пом}^{1000}$ соответствовали (округленно): этап I – 0,2, этап II – 0,3, этап III – 0,4, этап IV – 0,5. Значения граничного радиуса $r_{гр}$ с увеличением $\bar{\alpha}_{пом}^{1000}$ увеличивались: этап I – 0,8 м, этап II – 1,0 м, этап III – 1,2, этап IV – 1,3.

В качестве материала для выполнения акустической обработки помещения использовалась шлаковата.

Заметим, что полученные значения T и $\bar{\alpha}_{пом}$ на I этапе близки к значениям, полученным при изучении акустических свойств производственных помещений (смотри 2 главу).

4.2 Методика проведения испытаний АЭ в свободном звуковом поле

4.2.1 Опытные акустические экраны

На обеих площадках были испытаны экраны следующих типоразмеров: 1х1 м, 1,5х1,5 м и 2х2 м двух модификаций — с облицовкой ЗПМ по всей плоскости и без облицовки; на открытой площадке были испытаны АЭ различной формы: плоские, Г-образные, П-образные и полузамкнутые.

Внешний вид опытных АЭ различной формы и схемы приведены на рисунках 4.1—4.7. Перечень измерений и сведения об опытных образцах приведены в таблице 4.2.

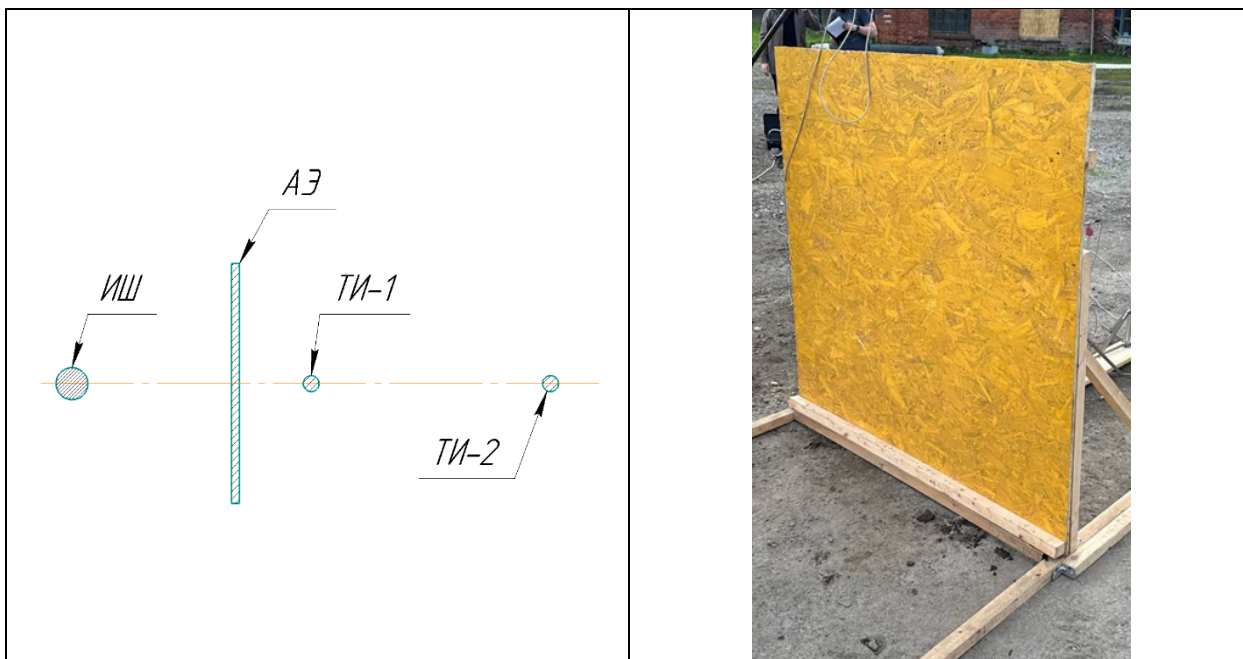


Рисунок 4.1 – Плоский АЭ: ИШ – искусственный ненаправленный источник шума;

АЭ – испытываемый акустический экран, ТИ-1, ТИ-2 – точки измерений, где располагались шумомеры

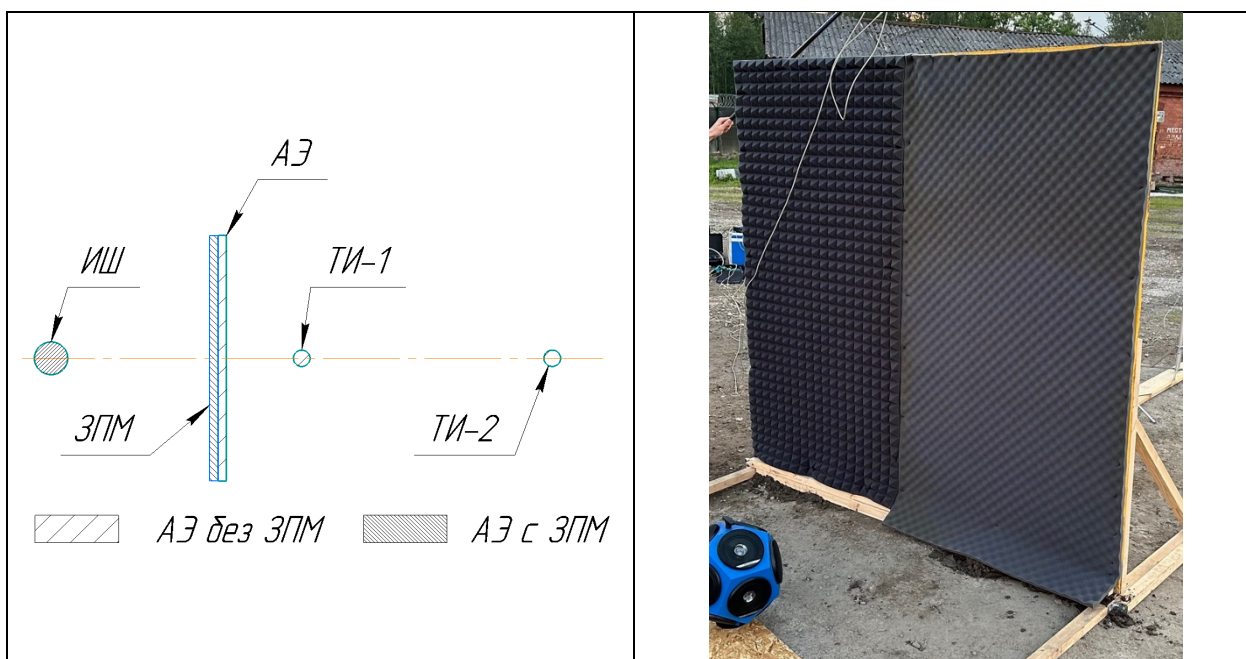


Рисунок 4.2 – Плоский АЭ с ЗПМ: ИШ – искусственный ненаправленный источник шума;

АЭ – испытываемый акустический экран, ТИ-1, ТИ-2 – точки измерений, где располагались шумомеры

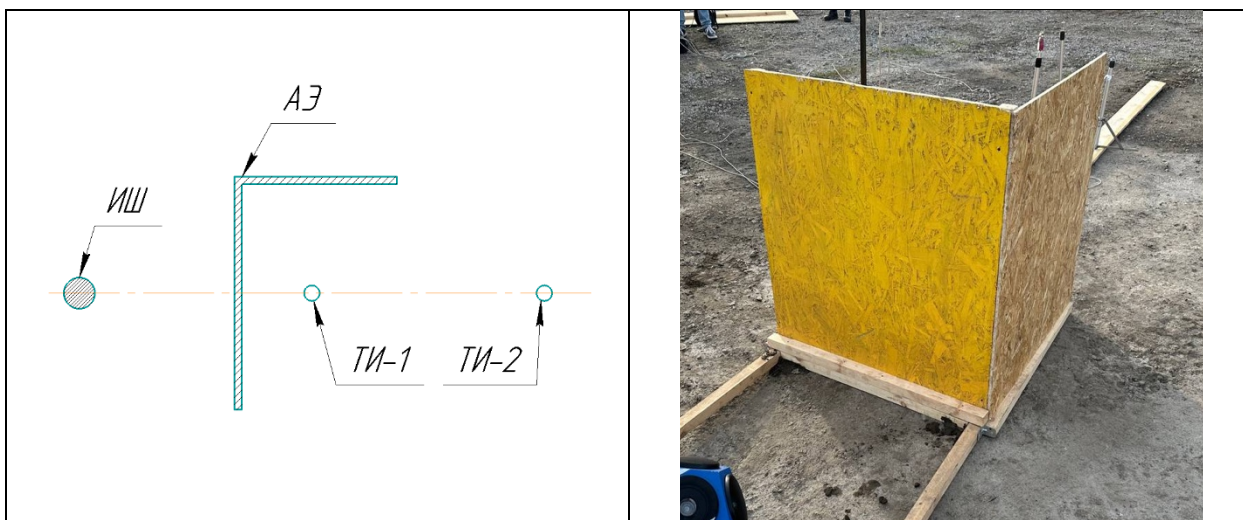


Рисунок 4.3 – Г-образный АЭ: ИШ – искусственный ненаправленный источник шума;

АЭ – испытываемый акустический экран, ТИ-1, ТИ-2 – точки измерений, где располагались шумомеры

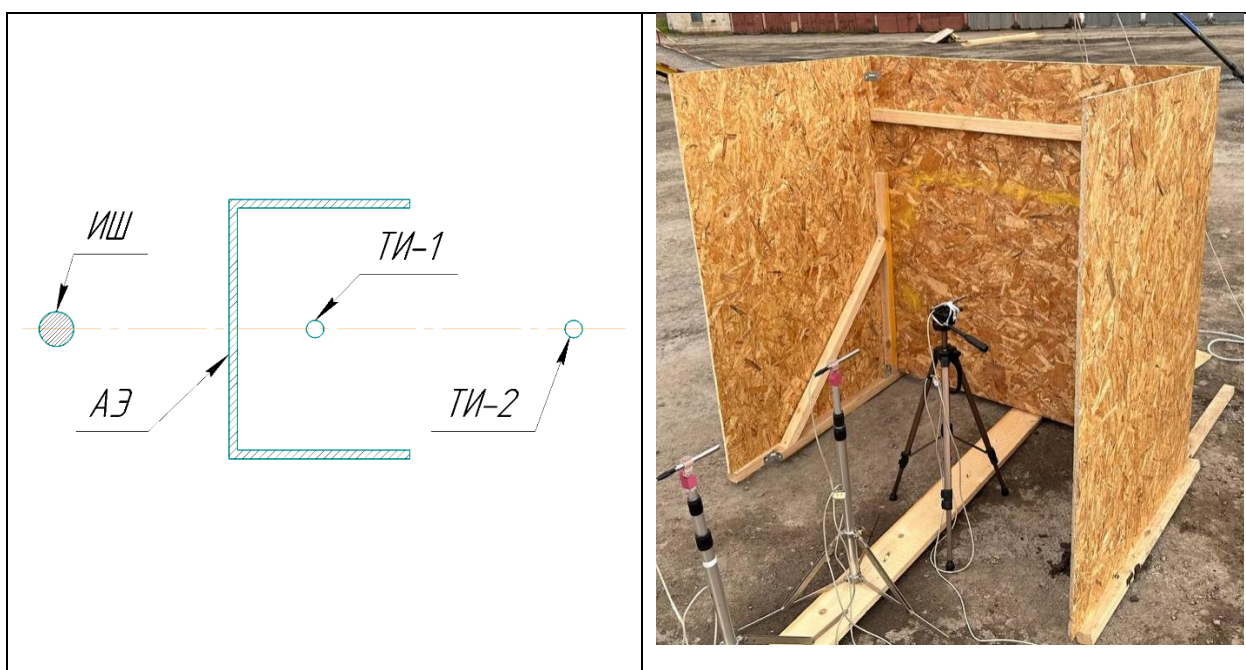


Рисунок 4.4 – П-образный АЭ: ИШ – искусственный ненаправленный источник шума;

АЭ – испытываемый акустический экран, ТИ-1, ТИ-2 – точки измерений, где располагались шумомеры

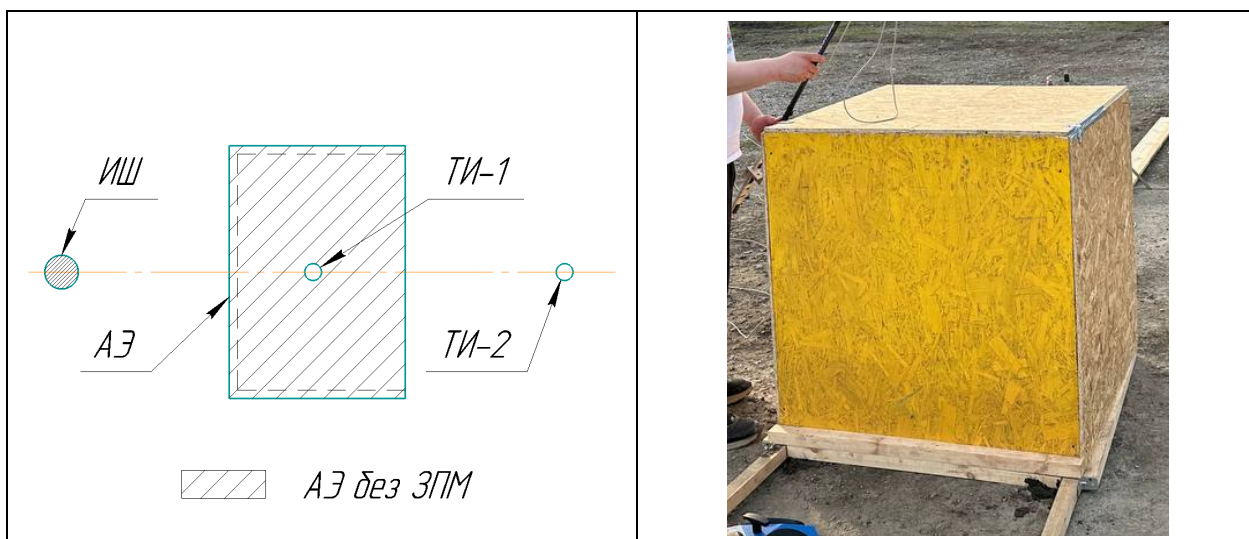


Рисунок 4.5 — Полузамкнутый АЭ: ИШ — искусственный ненаправленный источник шума; АЭ — испытываемый акустический экран, ТИ-1, ТИ-2 — точки измерений, где располагались шумомеры

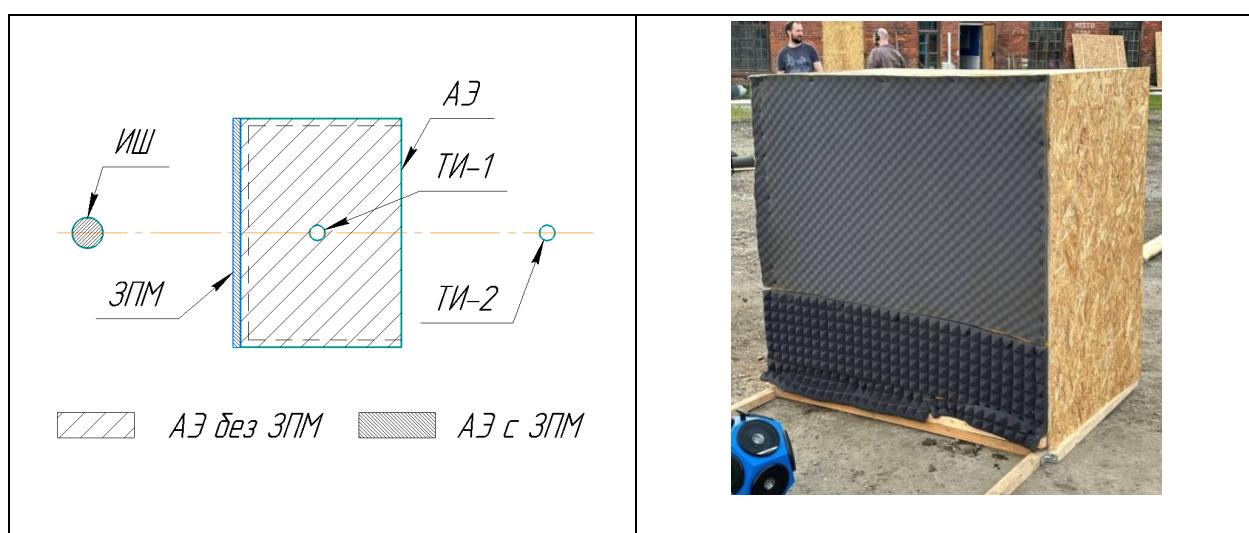


Рисунок 4.6 — Полузамкнутый АЭ с ЗПМ на лицевой стороне

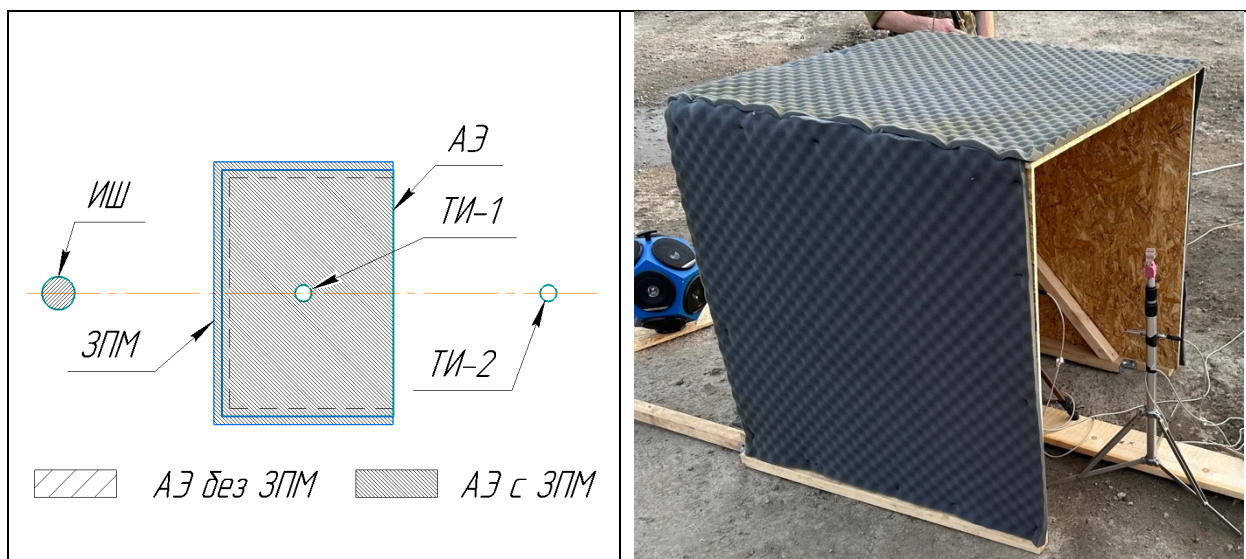


Рисунок 4.7 — Полузамкнутый АЭ с ЗПМ на внешнем контуре

Таблица 4.2 — Перечень измерений и сведения об опытных образцах АЭ

№ п/п	Размер АЭ, м	Высота ТИ, м	Форма АЭ
1	1 x 1	0,5	Плоский
			Г-образный
			П-образный
			П-образный, полузамкнутый
			П-образный, полузамкнутый с ЗПМ на внешнем контуре
2	1,5 x 1,5	0,75	Плоский
			Г-образный
			П-образный
			П-образный, полузамкнутый
			Плоский с ЗПМ (лицевая сторона)
			П-образный, полузамкнутый с ЗПМ на лицевой стороне
3	2 x 2	1,0	Плоский
			Г-образный
			П-образный
			П-образный, полузамкнутый
			Плоский с ЗПМ (лицевая сторона)
			П-образный, полузамкнутый с ЗПМ на лицевой стороне

4.2.2 Методика измерений

Испытания проводились ненаправленным искусственным источником звука постоянной звуковой мощности. Для измерений использовались прецизионные шумомеры, устанавливаемые в точках измерений. Более подробные сведения об аппаратуре и других устройствах приведены в разделе 4.2.3.

Измерения проводились в трёх измерительных точках (рисунок 4.8), в том числе в контрольной точке, количество замеров в каждой точке измерения — 3. Оценка погрешности измерений выполнялась в соответствии с [2]. В каждой измерительной точке измерялись уровни звукового давления (УЗД), дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц, а также уровни звука (УЗ, дБА). Акустическая эффективность опытных экранов определялась как разность уровней звуковых давлений (УЗД) и УЗ в точке измерений без акустического экрана и с акустическим экраном.

Все результаты измерений обрабатывались по данным, полученным в ТИ за АЭ, данные в ТИ над АЭ использовались для контроля.

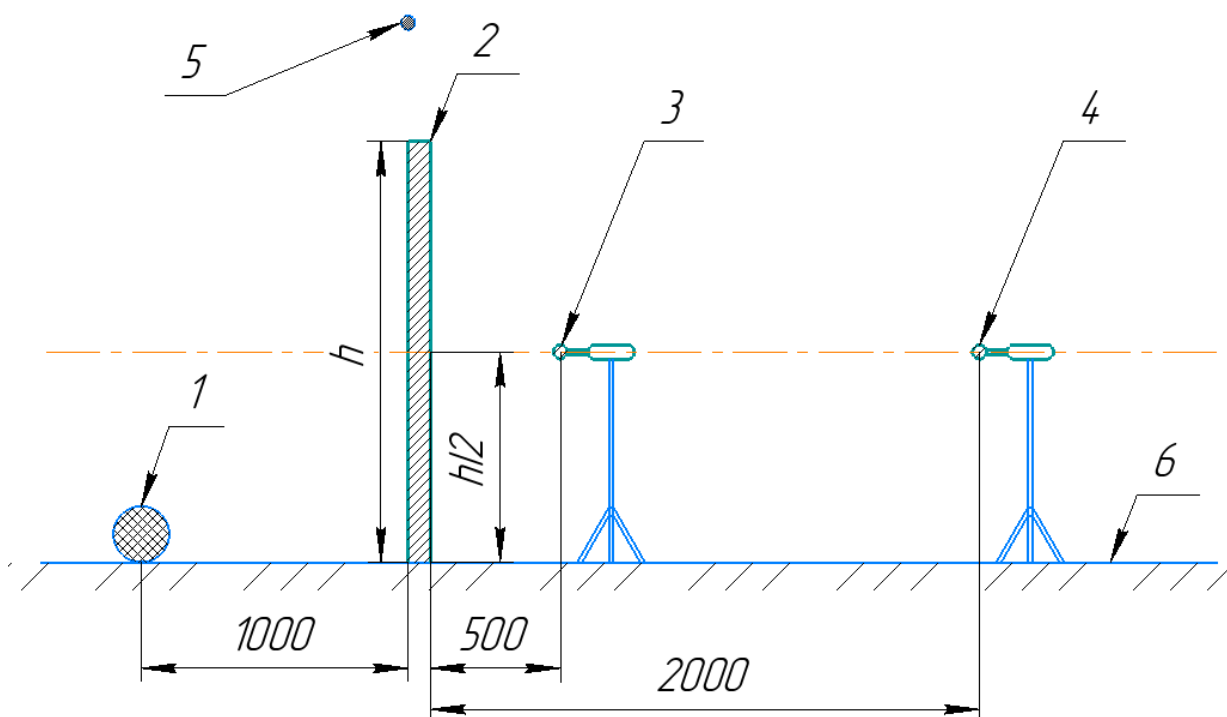


Рисунок 4.8 — Схема расположения точек измерения для определения акустической эффективности АЭ (с установленным АЭ):

1 — расположение ИШ, 2 — расположение АЭ, 3 — ТИ-1 (за АЭ), 4 — ТИ-2 (за АЭ), 5 — контрольная точка (над АЭ), 6 — опорная поверхность

4.2.3 Измерительная аппаратура и устройства

1. Шумомер-виброметр, анализатор спектра ЭКОФИЗИКА-110А (далее — прибор) предназначен для измерения среднеквадратичных, эквивалентных и пиковых уровней звука, скорректированных уровней виброускорения, октавных, 1/3-октавных, 1/12-октавных и узкополосных спектров, для анализа сигналов различных первичных преобразователей для регистрации временных форм сигналов с целью оценки влияния звука, инфра- и ультразвука, вибрации и иных динамических физических процессов на человека на производстве, в жилых и общественных зданиях, определения виброакустических характеристик механизмов и машин, а также для научных исследований.

2. Прибор состоит из интерфейсного блока (ИБ) ЭКОФИЗИКА-D, измерительного модуля (ИМ) HF или 110А и первичных преобразователей. Виды

комплектации прибора для работы в режиме шумомера, виброметра или анализатора спектра приведены в разделе «Технические характеристики».

3. Измерительный модуль осуществляет прием аналоговых сигналов от первичных преобразователей, усиление, нормализацию и цифровое преобразование сигналов, расчёт измеряемых величин, а также обеспечивают питание и первичных преобразователей.

4. ИБ ЭКОФИЗИКА-D осуществляет управление и питание измерительных модулей, индикацию результатов измерений и их запись в собственной энергонезависимой памяти, передачу результатов измерений на внешние устройства.

1. Калибратор акустический АК-1000 (далее — «калибратор») предназначен для создания звукового поля с уровнями 94 дБ и 114 дБ (относительно 20 мкПа) на частоте 1000 Гц, воздействующего на диафрагму микрофонов, оснащенных защитной сеткой и применяемых в составе шумомеров 1 или 2 класса по ГОСТ 17187-2010, ГОСТ Р 53188.1-2019, МЭК 61672-1.

5. Всенаправленный источник звука (додекаэдр) OED-SP360. Соответствует нормативам — ГОСТ 27296-2012 «Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций», — ГОСТ Р ИСО 10140-2-2012 «Акустика. Лабораторные измерения звукоизоляции элементов зданий. Часть 2. Измерение звукоизоляции воздушного шума»; — ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013 «Акустика. Измерение акустических параметров помещений»; — ГОСТ Р ИСО 3382-2-2013 «Акустика. Время реверберации обычных помещений».

4.3 Анализ данных измерений АЭ в свободном звуковом поле

4.3.1 Зависимость эффективности АЭ от размеров.

Были выполнены испытания трёх образцов плоских АЭ размерами: 1,0х1,0 м., 1,5х1,5 м., 2,0х2,0 м. Усреднённые данные измерений приведены в таблице 4.3 и показаны на рисунках 4.9–4.10.

Таблица 4.3 — Эффективность АЭ при измерениях в свободном звуковом поле в зависимости от размеров экрана (экран плоский, вертикальный)

Размеры АЭ и высота ТИ, м	Расстояние от АЭ до ТИ, м	Эффективность АЭ, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							Эффективность, дБА
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1x1 * $h_{\text{ТИ}} = 0,5$	0,5	3	5	7,0	9,0	12,0	15,0	17,0	8,0
	2,0	2,5	4	4,0	7,0	10,0	12,0	14,0	6,0
1,5x1,5 $h_{\text{ТИ}} = 0,75$	0,5	4,5	8,0	10,0	13,0	17,0	19,0	20,0	12,0
	2,0	3,0	6,0	9,0	11,5	14,0	16,0	17,0	10,0
2x2 $h_{\text{ТИ}} = 1,0$	0,5	6,0	10,0	14,0	16,0	20,0	22,0	23,0	15,0
	2,0	5,0	8,0	11,0	14,0	17,5	20,0	21,0	13,0

* $h_{\text{ТИ}}$ — высота расположения микрофона (ТИ) над опорной поверхностью

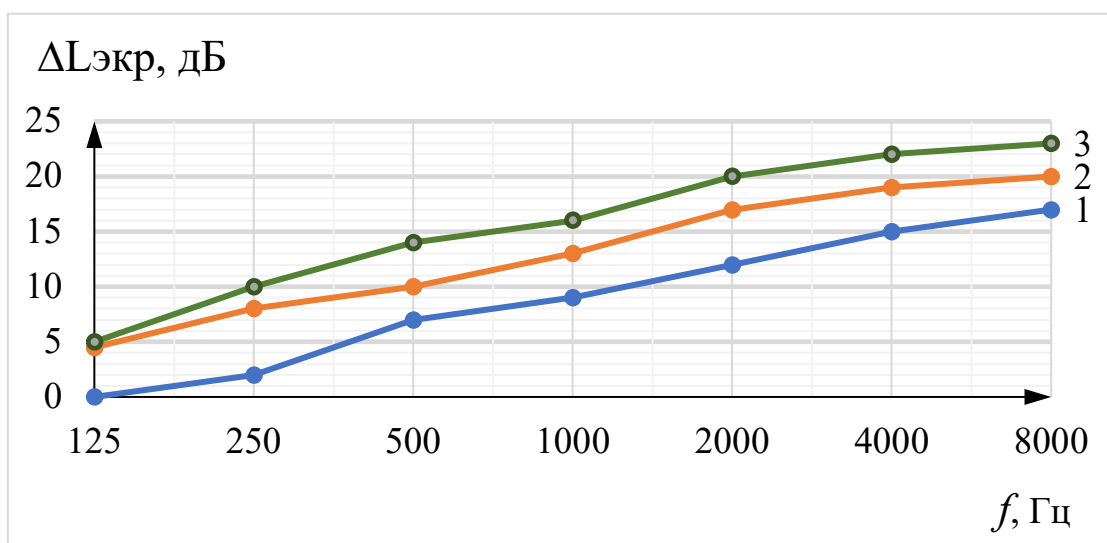


Рисунок 4.9 — Измеренные значения акустической эффективности АЭ различных размеров в ТИ-1 на расстоянии 0,5 м от АЭ:

1 — АЭ 1x1 м, 2 — АЭ 1,5x1,5 м; 3 — АЭ 2x2 м

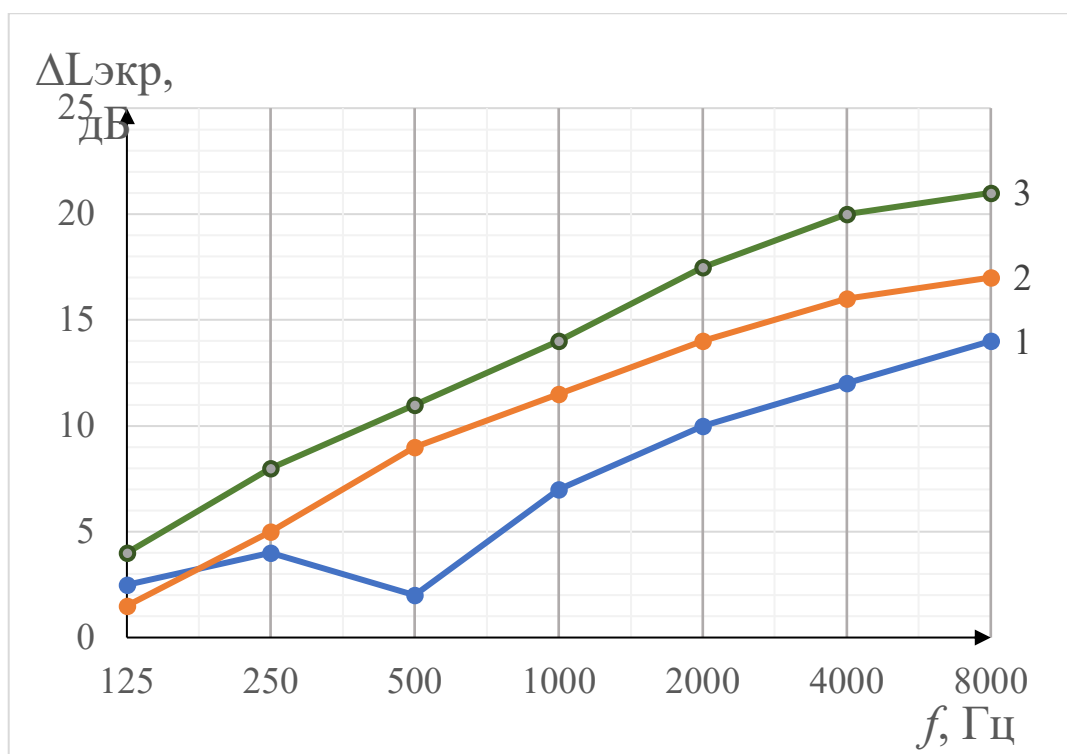


Рисунок 4.10 — Зависимость акустической эффективности АЭ разных размеров в свободном звуковом поле на расстоянии от АЭ до ТИ-2 — 2,0 м:

1 — АЭ 1х1 м; 2 — АЭ 1,5х1,5 м; 3 — АЭ 2х2 м

Так как АЭ имеет три свободных ребра, то рассмотрено увеличение (удвоение) площади опытного экрана. Отметим, что каждое удвоение площади увеличивает эффективность АЭ на 3 дБА. В частотном диапазоне разница в основном составляет 3-4 дБ. Спектральные составляющие эффективности имеют ярко выраженный подъём в сторону высоких частот с наклоном 2 — 2,5 дБ на октаву. Данные в ТИ-1 на 1–3 дБ выше, чем в ТИ-2, то есть эффективность АЭ заметно убывает при увеличении расстояния от АЭ до расчётной точки (в связи с уменьшением угла дифракции). Полученные данные могут быть использованы при проектировании АЭ.

4.3.2 Зависимость эффективности акустического экрана от формы экрана

Были выполнены испытания различных АЭ: плоского, Г-образного, П-образного и полузамкнутого типа, то есть П-образного с полкой на верхнем свободном ребре АЭ. Испытания проводились на АЭ трёх типоразмеров, но, так

как полученные данные идентичны, приводятся результаты испытаний для АЭ размером 1х1 м. Данные испытаний приведены в таблице 4.4 и показаны на рисунке 4.11.

Таблица 4.4 — Эффективность АЭ в свободном звуковом поле в зависимости от формы экрана

Форма АЭ	Расстояние от АЭ до ТИ, м.	Эффективность АЭ, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							Эффективность, дБА
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Плоский	0,5	1,0	2,0	7,0	9,0	12,0	15,0	17,0	8,0
	2,0	0,0	1,0	5,0	7,0	10,0	12,0	14,0	6,0
Г-образный	0,5	2,0	4,0	9,0	11,0	14,0	17,0	19,0	9,0
	2,0	1,0	2,0	6,0	8,0	11,0	14,0	17,0	7,0
П-образный	0,5	3,0	6,0	11,0	13,0	16,0	19,0	21,0	11,0
	2,0	1,0	3,0	8,0	10,0	12,0	15,0	17,0	8,0
Полузамкнутый	0,5	5,0	8,0	13,0	15,0	18,0	21,0	22,0	14,0
	2,0	3,0	5,0	10,0	13,0	14,0	17,0	18,0	11,0

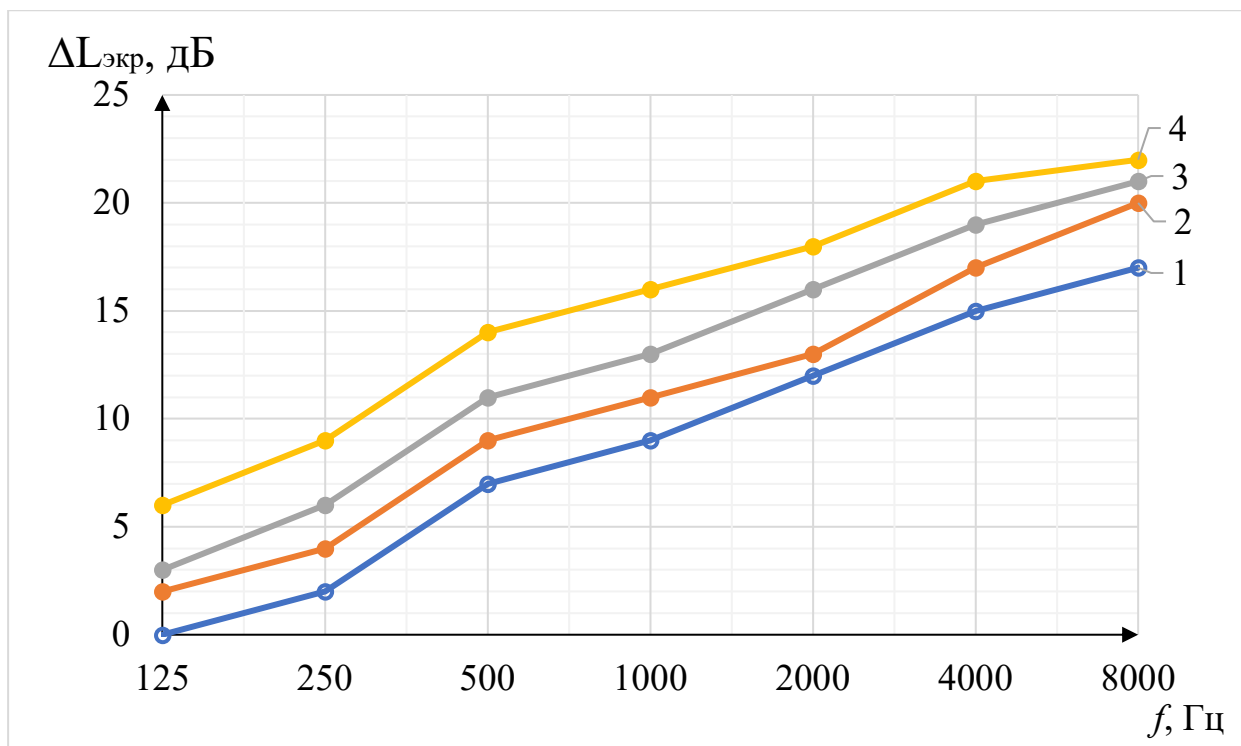


Рисунок 4.11 — Сравнительная эффективность АЭ размером 1х1 м. в точке 1 различной формы АЭ

1 — плоский АЭ; 2 — Г-образный АЭ; 3 — П-образный АЭ;
4 — полузамкнутый АЭ

Изменение формы акустического экрана заметно сказывается на его эффективности. Г-образный акустический экран эффективнее плоского на 1–2 дБ (2 дБА), П-образный акустический экран заметно эффективнее плоского, в рассматриваемом частотном диапазоне на 3–4 дБ (3 дБА). Максимальная насыщенность экрана надстройками на свободных рёбрах дополнительно увеличивает его эффективность на 5–7 дБ (6 дБА), то есть если плоский акустический экран обеспечивает снижение УЗД на 2–17 дБ (6 дБА), то полузамкнутый на 6–22 дБ (14 дБА), разница 8 дБА.

В табл. 4.5 приведена положительная поправка в формулу (3.14), показывающая увеличение эффективности АЭ при усложнении его формы.

Таблица 4.5 — Поправка в формулу (3.14) при изменении формы АЭ

Форма АЭ	Поправка Δ , дБ, показывающая изменение эффективности АЭ при изменении формы, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Г-образный	1	2	2	2	2	2	2
П-образный	2	4	4	4	4	4	4
Полузамкнутый	4	6	6	6	6	6	6

4.3.3 Влияние звукопоглощения на эффективность акустического экрана

Испытывались акустические экраны со звукопоглощающим материалом, нанесённым со стороны искусственного источника звука по всей площади опытного акустического экрана и для всех типа размеров. Результаты усреднённых измерений в виде разницы между УЗД для плоского акустического экрана приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 — Усреднённые значения (по всем акустическим экранам и по всем измерительным точкам) эффективности звукопоглощения (плоский АЭ - 2х2 м).

Способ получения данных	Эффективность ЗПМ, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эксперимент, дБ	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
$\alpha_{\text{экр}}$ — пересчет экспериментальных данных по формуле (4.1)	0,2	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$\alpha_{\text{экр}}$ — измеренный в реверберационной камере	0,5	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
Расчёт по формуле (4.1), дБ	3,0	5,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0

Расчёты увеличения эффективности акустического экрана за счёт нанесения ЗПМ выполнялся по формуле [2]:

$$\Delta L_{\text{ЗПМ}}^{\text{экр}} = 10 \lg(1 - \alpha_{\text{экр}}), \text{ дБ} \quad (4.1)$$

где $\alpha_{\text{экр}}$ взято из паспорта АЭ (или получен экспериментально).

Отметим, что экспериментально установлено: эффективность экрана увеличивается на 1–3 дБ в рассматриваемом частотном диапазоне за счёт нанесения на поверхность акустического крана звукопоглощающего материала (ЗПМ). Это неплохой результат, но полученные данные на 2–4 дБ (то есть фактически вдвое) ниже полученных экспериментом в акустической камере

(паспортные данные). Разница объясняется тем, что коэффициент звукопоглощения для получения паспортных данных определялся при испытаниях панели акустического экрана в реверберационной камере, то есть почти в идеальном диффузном звуковом поле. На практике имеет место направленное падение звука на акустические экраны, при этом значение коэффициента звукопоглощения акустического экрана почти в два раза ниже реверберационных значений. Это обстоятельство следует учитывать при проектировании акустических экранов, установленных в помещениях.

4.4 Измерения АЭ в помещении

Было изучено, как влияет изменение акустических свойств помещения на изменение эффективности АЭ. С этой целью путём поэтапного внесения ЗПМ в опытное помещение его акустические свойства поэтапно изменялись. Здесь за оценочный показатель (критерий) было принято вычисленное (по результатам измерений в помещении времени реверберации) значение среднего коэффициента звукопоглощения на частоте 1000 Гц ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$). Всего выполнено 4 этапа измерений (на плоских АЭ):

$$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2;$$

$$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,3;$$

$$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4;$$

$$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5.$$

Заметим, что значение 0,2 было выбрано в соответствии с результатами исследований акустических свойств производственных помещений (см. Главу 2), а значение 0,5 было выбранное из понимания того обстоятельства, что после обработки производственных помещений ЗПМ, с целью снижения интенсивности отраженного звука, это значение является максимально достижимым на практике. Эти исследования состояли из двух частей: в начале определялось, как поэтапное

изменение $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ влияет на относительную эффективность АЭ, а затем рассматривалась их акустическая эффективность при разных значениях $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$.

Исходные результаты измерений УЗД и УЗ в измерительных точках за экранами трёх типоразмеров при поэтапном изменении акустических свойств помещения приведены в приложении Б, а обработанные результаты сравнительного увеличения акустической эффективности АЭ при поэтапном увеличении $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ приведены в таблице 4.7.

Относительное увеличение эффективности АЭ размером 2х2 м при поэтапном увеличении $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ приведено на рисунке 4.12.

Анализ данных в таблице 4.6 и на рисунке 4.12 показывает, что увеличение $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$, т.е. улучшение акустических свойств помещения за счёт снижения отраженного звука, заметно сказывается на эффективности АЭ. Так, для АЭ размером 2х2 м увеличение $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ от 0,2 до 0,5 увеличивает эффективность АЭ на 8-10 дБ в диапазоне частот 125-8000 Гц (до 10 дБА). Ориентировочная величина увеличения по этапам составила: $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2-2$ дБА, $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,3-4$ дБА, $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4-8$ дБА, $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5-10$ дБА. Заметим, что для каждого из других рассмотренных типоразмеров АЭ полученные значения эффективности на 1-2 дБ ниже, чем для АЭ размером 2х2 м.

Таблица 4.7 — Результаты сравнительного увеличения акустической эффективности АЭ при увеличении $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$.

Размеры АЭ, м	Значения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$	№ ТИ	Разница измеренных УЗД, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							Разница УЗ, дБА
			125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1х1	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		2	0	0	0	0	0	0	0	0
	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,3$	1	1,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,0	2,5
		2	0,8	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	2,0

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4$	1	3,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	6,0	5,0
		2	3,0	4,5	4,5	5,0	6,0	5,0	5,0	4,5
	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$	1	4,0	6,0	6,0	7,0	8,0	7,5	7,5	7,0
		2	3,5	5,5	5,0	6,0	6,5	6,5	6,5	6,0
1,5x1,5	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$	1	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		2	0,5	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,3$	1	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5	3,5	3,0	3,5
		2	2,0	2,0	2,0	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0
	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4$	1	3,0	6,0	7,0	7,0	6,5	6,5	6,5	6,0
		2	3,0	5,0	0,5	6,0	6,0	6,0	6,5	5,5
	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$	1	6,4	7,0	8,5	8,5	8,5	8,0	7,0	8,0
		2	5,4	6,5	8,0	8,0	8,0	7,0	6,5	7,0
2x2	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$	1	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
		2	0,5	1,0	1,0	1,5	1,5	2,5	2,0	1,5
	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,3$	1	2,5	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,5	4,0
		2	1,5	2,5	3,0	3,0	3,0	3,5	3,0	3,5
	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4$	1	4,0	5,0	6,5	8,0	8,0	8,0	7,5	8,0
		2	3,0	4,0	6,0	7,0	7,5	7,5	7,0	7,0
	$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$	1	5,5	8,0	9,5	10	9,5	9,5	8,0	10
		2	4,5	8,5	8,5	8,5	9,0	9,0	7,5	9,0

За относительную эффективность, равную 0, принята для АЭ размером 1x1 м при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$. Таким образом, разница для АЭ размером 2x2 м $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$ составила 1-2 дБ в рассматриваемом частотном диапазоне. Далее все рассуждения ведутся для АЭ 2x2 м (рис. 4.12). При небольшом увеличении $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,3$ дополнительная эффективность АЭ составила 2,5-4 дБ (4 дБА), при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4$ соответственно 4-7 дБ (7 дБА) и, наконец, при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$ соответственно 6,5-9 дБ (9 дБА). Таким образом, улучшение акустических свойств помещения путем увеличения среднего коэффициента звукопоглощения от $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$ до $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$ увеличивает эффективность АЭ в помещении минимум на 7 дБА.

Рассмотрим абсолютные значения акустической эффективности АЭ при изменении акустических свойств помещения. В таблице 4.8 приведены

результаты исследований АЭ в помещении с различными значениями $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$, а на рисунке 4.15 показаны результаты испытаний АЭ размером 2х2 м. Результаты этих экспериментов подтверждают чрезвычайно высокое влияние изменения акустических свойств помещений на акустическую эффективность АЭ. Так для АЭ 2х2 м акустическая эффективность составила в частотном диапазоне 125–8000 Гц, дБ и в дБА: 1,5–6 дБ (5 дБА) при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}=0,2$; 2,5–11 (7,5 дБА) при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}=0,3$; 3,5–16 (10 дБА) при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}=0,4$; 4,5–20 (12,5 дБА) при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}=0,5$.

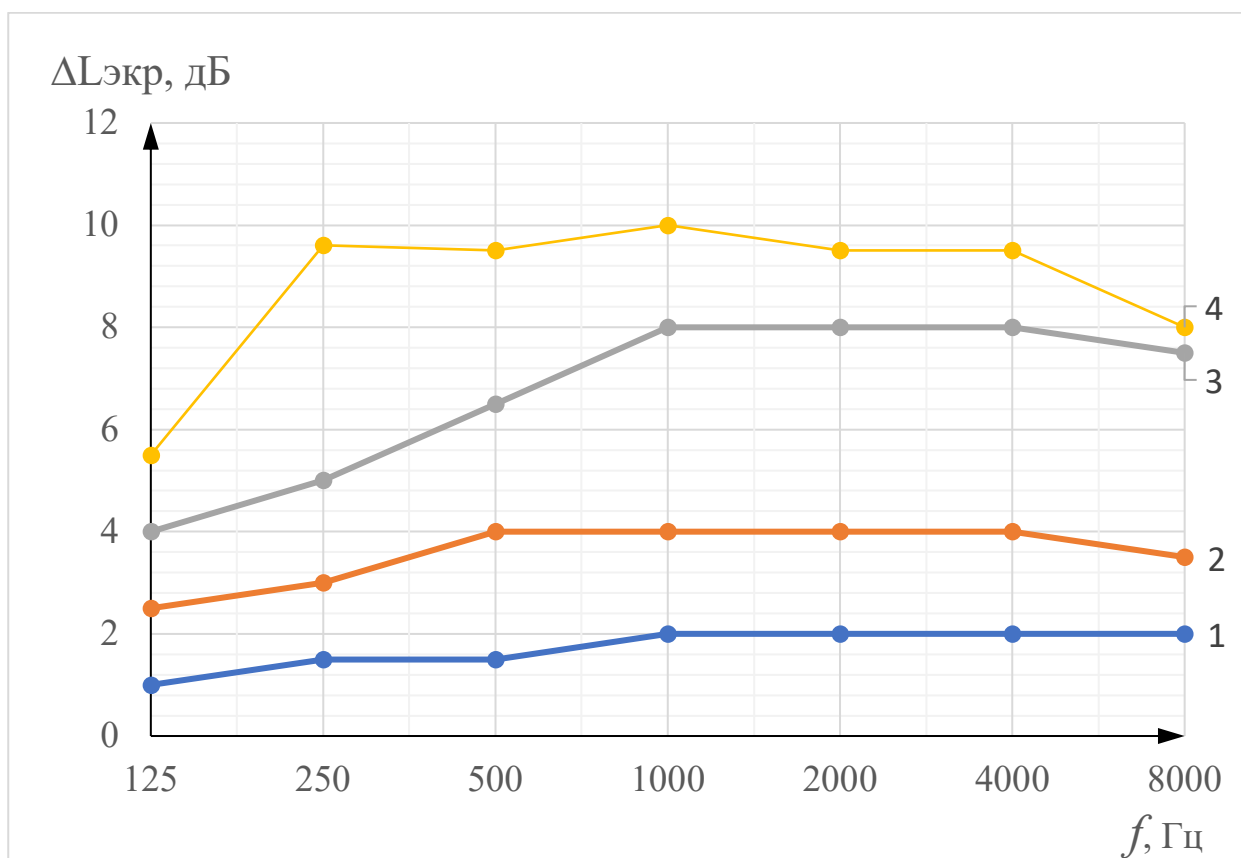


Рисунок 4.12 — Увеличение акустической эффективности АЭ размером 2х2 м в точке 1 при увеличении $\alpha_{\text{пом}}$:

$$1 — \bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2; 2 — \bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,3; 3 — \bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4; 5 — \bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$$

В таблице 4.8 приведены абсолютные значения эффективности АЭ при изменении $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$, а на рис. 4.13 даны такие же данные в сравнении с полученными данными эффективности АЭ в свободном звуковом поле (Таблица 4.3).

Таблица 4.8 — Акустическая эффективность АЭ в помещении при изменении $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$ и размеров АЭ

Размеры АЭ, м	Значение $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$	№ ТИ	Акустическая эффективность АЭ, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							Эффективность, дБА
			125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1×1	0,2	1	0,5	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0	1,5	2,0
		2	0,5	0,5	1,0	1,0	2,0	1,5	1,0	2,5
	0,3	1	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,0	3,0
		2	1,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,5
	0,4	1	2,0	3,5	4,5	5,0	7,0	9,0	12,0	5,0
		2	1,5	3,0	4,0	4,0	6,0	8,0	11,0	4,0
	0,5	1	2,5	4,5	6,0	7,0	10,0	12,5	14,0	7,0
		2	2,0	4,0	5,0	6,0	6,0	11,0	13,0	6,0
1,5×1,5	0,2	1	1,5	2,5	3,0	4,0	5,5	6,0	7,0	3,0
		2	1,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,0	6,0	2,0
	0,3	1	2,0	3,0	3,5	5,0	6,5	10,0	10,0	5,0
		2	1,5	2,0	2,5	4,0	5,5	8,0	9,0	4,0
	0,4	1	3,0	5,0	7,0	9,0	11,0	12,0	15,0	7,0
		2	2,5	4,5	6,0	8,0	10,0	11,0	12,0	6,0
	0,5	1	4,0	7,0	9,0	11,5	14,5	17,0	18,0	10,0
		2	4,5	6,0	8,0	10,5	13,0	16,0	17,0	9,0
2×2	0,2	1	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	5,0	5,0
		2	1	1,5	2,0	2,0	3,0	5,0	5,5	4,0
	0,3	1	2,5	4,0	5,0	6,5	8,0	10,5	11,0	7,5
		2	2,0	3,0	5,0	6,0	7,0	9,0	10,0	7,0
	0,4	1	3,5	5,5	8,5	10,0	13,0	15,0	16,0	10,0
		2	2,5	6,0	8,0	9,0	12,0	15,0	18,0	9,0

Продолжение таблицы 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0,5	1	4,5	8,0	11,0	13,0	17,5	19,0	20,0	12,5
		2	4,0	7,0	10,0	12,0	17,0	18,0	19,0	11,0

Нетрудно убедиться, что даже при $\bar{\alpha}_{\text{пом}} = 0,5$ акустическая эффективность АЭ в помещении остается (в диапазоне частот 250–8000 Гц) практически на 3-4 дБ ниже, чем эффективность АЭ в свободном звуковом поле. Ещё раз обратим внимание, что при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$ акустическая характеристика соответствует условиям производственных помещений и эффективность АЭ составляет 1,5-5 дБ (5 дБА), что очень невелико. При $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,3$ эффективность АЭ 2,5-11 дБ (7,5 дБА), при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4$ эффективность АЭ 3,5-16 дБ (10 дБА), а при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$ эффективность АЭ 4,5-20 дБ (12,5 дБА), то есть при увеличении $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ на каждые 0,1 эффективность АЭ возрастает на 2,5 дБА.

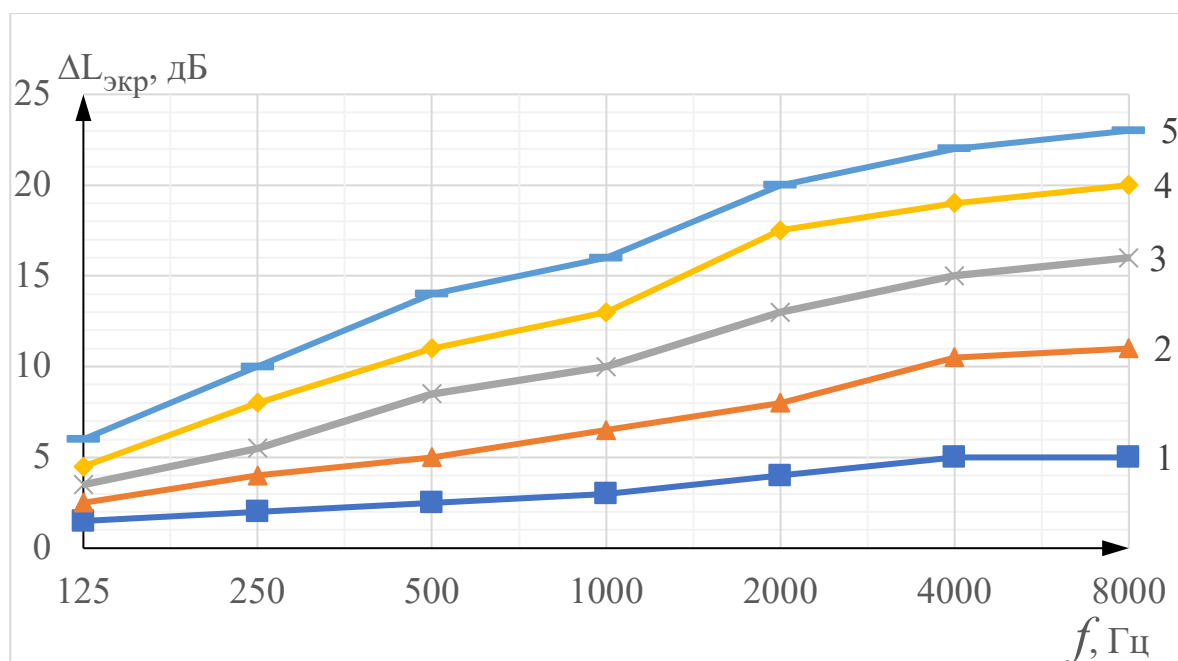


Рисунок 4.13 — Акустическая эффективность АЭ 2x2 м в опытном помещении с различными акустическими свойствами (1-4) и в свободном звуковом поле (5):

1 — $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$; 2 — $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,3$; 3 — $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4$; 4 — $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$;

5 — свободное звуковое поле

4.5 Значения экспериментальных поправок в расчёты АЭ в помещениях

На основании результатов экспериментов получены значения экспериментальных поправок в формулу (3.14) расчёта акустической эффективности АЭ для помещений с различной степенью акустической обработки ЗПМ (таблица 4.9). Эти обобщенные значения получены для расчётных точек (точка 1), в области прямого звука. При этом обращено внимание на результаты экспериментов: для АЭ, установленных в помещении, разница между результатами, полученными в точках 1 и 2, всегда меньше, чем в результатах, полученных в свободном звуковом поле (влияние отраженного звука). Поэтому с точностью до $\pm 0,5$ дБ можно для точек 2 принять для всех значений в таблице 4.9 поправку равную - 1 дБ (дБА). Ещё раз обратим внимание, что точка 2 находится в границах радиуса реверберации.

Таблица 4.9 — Значение усредненных экспериментальных поправок в расчёты акустической эффективности АЭ в помещениях (формула (3.14))

Размеры АЭ, м	Акустические свойства помещения $\alpha_{\text{пом}}^{1000}$	Поправка, дБ, в значения акустической эффективности АЭ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							Поправка, дБА
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1x1	0,2	2,5	4,0	5,5	7,5	10,0	13,0	13,5	6,0
	0,3	1,0	3,0	5,0	6,0	9,0	9,5	11,0	5,0
	0,4	1,0	1,5	2,5	4,0	5,0	6,0	5,0	3,0
	0,5	0,5	1,0	1,0	2,0	2,0	2,5	3,0	2,5
1,5x1,5	0,2	3,0	5,5	7,0	9,0	11,5	13,0	13,0	9,0
	0,3	2,5	5,0	6,5	8,0	10,5	10	10	7,0
	0,4	1,5	3,0	3,0	4,0	5,0	7,0	7,0	5,0
	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	2,5	2,0	2,0	2,0

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2x2	0,2	3,0	6,0	9,0	11,0	16,0	16,0	17,0	10,0
	0,3	3,0	5,0	6,0	6,0	12,0	12,0	12,0	7,5
	0,4	2,5	3,5	3,5	3,5	7,0	7,0	7,0	5,0
	0,5	1,5	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,5

Таким образом, поправки в расчёты АЭ могут составить, например, для АЭ размерами 2x2 м:

при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$ от 3,0 до 16 дБ в рассматриваемом частотном диапазоне (10 дБА); при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,3$ от 3,0 до 12 дБ (7,5 дБА); при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4$ от 2,5 до 7 дБ (5 дБА); при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$ от 1,5 до 3 дБ (2,5 дБА).

Таким образом в расчётах АЭ обязательно должны учитываться акустические свойства помещений, а АЭ, устанавливаемые в акустически необработанных помещениях, имеют эффективность в несколько раз меньшую, чем АЭ, расположенные в свободном звуковом поле.

4.6 Рекомендации по проектированию и установке АЭ в производственных помещениях

На основании выполненных исследований АЭ в свободном звуковом поле и в помещении с различными акустическими свойствами можно предложить следующие рекомендации:

1. Акустическая обработка производственных помещений. Устанавливать АЭ, предназначенные для снижения шума на рабочих местах и в рабочих зонах, в помещениях, предварительно подвергшихся акустической обработке путем внесения в помещение звукопоглощающих материалов. Критерием для оценки акустических качеств помещения является $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$. Учитывая, что акустически необработанные производственные помещения в основном характеризуются $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$, рекомендуется доводить средний

коэффициент помещений до $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4$. В акустически необработанных производственных помещениях ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$) акустическая эффективность АЭ (например, размерами 2х2 м) в зоне прямого звука (защищаемый объект находится условно в геометрическом центре АЭ на расстоянии (R) от последнего $R \leq 0,5$ м) может составлять всего 1,5-5 дБ в частотном диапазоне 125-8000 Гц (5 дБА). При увеличении $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ до 0,4 акустическая эффективность АЭ возрастает до 3,5-16 дБ (10 дБА), т.е. практически вдвое. Тем не менее, акустическая эффективность АЭ в помещении всегда ниже, чем та же в свободном звуковом поле. Даже, если $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$ (практически максимально достижимая величина на практике), аналогичный рассматриваемому АЭ имеет значение акустической эффективности на 2-4 дБ (3 дБА) ниже.

2. **Расположение АЭ в помещении.** Так как в любой точке помещения имеются составляющие как прямого звука ИШ, так и отраженного от поверхностей помещения, важной характеристикой является граничный радиус или радиус реверберации — условная граница, где вклад прямого и отраженного звука приблизительно одинаков. Экран работает в зоне прямого звука, поэтому необходимо стремиться располагать АЭ, а также локацию точки расположения объекта защиты от шума на расстояниях от ИШ, которые меньше величины граничного радиуса. В случае расположения объекта защиты в области граничного радиуса эффективность АЭ снижается не менее чем на 2-4 дБА.,

3. **Проектирование АЭ.** Эффективность АЭ возрастает с увеличением размеров. Так возрастание площади АЭ вдвое не менее чем на 3-4 дБА увеличивает его акустическую эффективность. Обычно АЭ, установленный на опорной поверхности, имеет 3 свободных ребра. Усложнение формы АЭ путем применения, например, надстройки на свободном ребре, также увеличивает его эффективность. Эффективность Г-образного АЭ на 1 дБА выше плоского П-образного на 3 дБА, а полузамкнутого на 6 дБА, Применение звукопоглощения в конструкции АЭ (ЗПМ расположен по всей плоскости АЭ) увеличивает его акустическую эффективность до 2 дБА,

4.8 Апробация предложенных решений на практике

Учитывая вышесказанное, для снижения шума в цехе металлообработки на рабочем месте слесаря механосборочных работ были выполнены следующие мероприятия:

- установка АЭ на рабочем месте так, чтобы голова работающего в положении «стоя» находилась приблизительно в центре АЭ;
- установка по всей площади потолка штучных (функциональных) звукопоглотителей (рис. 4.14) общим числом – 200 шт.

АЭ размером 2х4 м установлен на полу цеха, имеет 3 свободных ребра. Общий вид АЭ показан на рисунке 4.15. Заметим, что акустическая эффективность АЭ размером 2х4 м выше АЭ размером 2х2 м на 1-2 дБ (2 дБА) во всем частотном диапазоне.



Рисунок 4.14 — Вид штучного (функционального) звукопоглотителя

Измерения шума проводились на рабочем месте слесаря механосборочных работ, как до установки, так и после установки АЭ. Измерения проводились в цеху в следующих условиях: цех не имел акустической обработки и $\overline{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ составило 0,2. После акустической обработки цеха значение $\overline{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ составило 0,4.

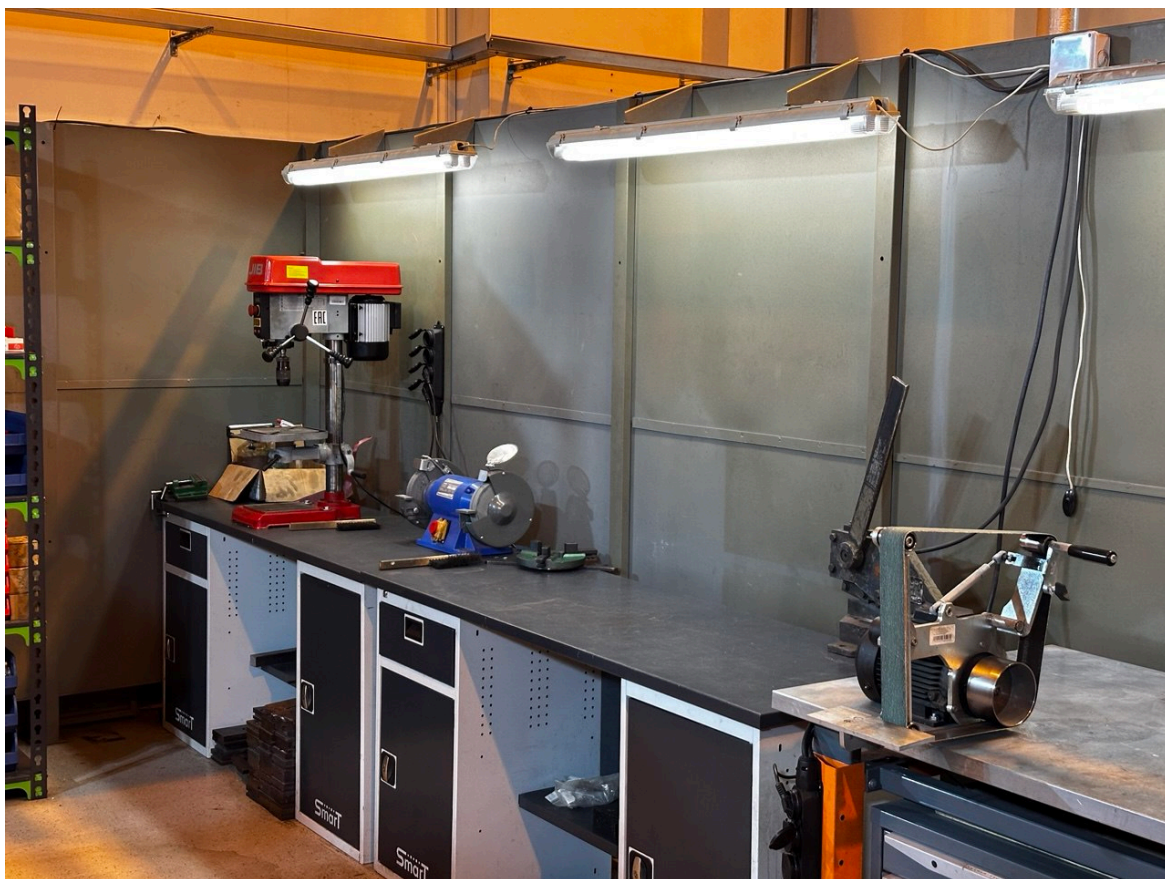


Рисунок 4.15 — Общий вид АЭ установленного в цехе металлообработки на рабочем месте слесаря механосборочных работ

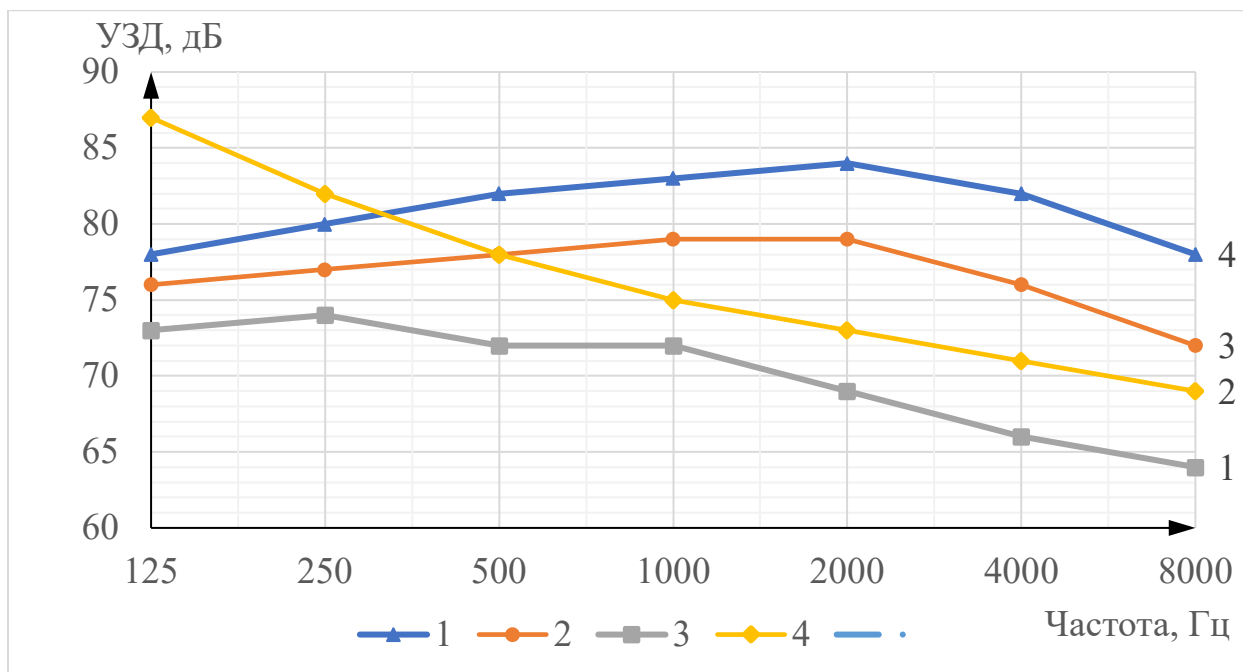


Рисунок 4.16 — Спектры шума на рабочем месте токаря до установки АЭ размером 2х4 м (4) и после (2,3):

1 — спектр шума на рабочем месте, АЭ установлен, выполнена акустическая обработка цеха ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}=0,4$), 2 — норма шума [1], 3 — установлен АЭ, акустическая обработка не выполнена ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}=0,2$), 4 — спектр шума на рабочем месте без АЭ

Значения полученных уровней звукового давления в сравнении с действующими нормами [1] приведены в таблице 4.10 и показаны на рисунке 4.16, а в таблице 4.11 даны значения превышения норм для различных условий.

Таблица 4.10 — Измеренные спектры шума на рабочем месте специалиста ОТК в сравнении с нормами без АЭ и с АЭ

№	Применяемые средства защиты от шума	УЗД, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								УЗ, дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Средства защиты от шума отсутствуют	74	78	80	82	83	84	82	78	91

Продолжение таблицы 4.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	Установлен АЭ, акустическая обработка отсутствует ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}=0,2$)	-	76	77	78	79	79	76	72	85
3	Установлен АЭ, выполнена акустическая обработка помещений ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}=0,4$)	-	73	74	72	72	69	66	64	76
4	Нормы шума	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Таблица 4.11 — Значения превышения норм при различных вариантах установки шумозащиты

№	Применяемые средства защиты от шума	Превышения норм, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Превышение, дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Средства защиты от шума отсутствуют	-	-	-	4	8	11	11	9	11
2	Установлен АЭ, акустическая обработка отсутствует ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}=0,2$)	-	-	-	0	4	4	5	6	5
3	Установлен АЭ, выполнена акустическая обработка помещений $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = (0,4)$	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таким образом, отметим, что характер измеренного на рабочем месте спектра шума — высокочастотный. Превышение УЗД над нормами, при отсутствии шумозащиты, составило 4-11 дБ в диапазоне частот 500-8000 Гц (11 дБА), т.е. более чем в 2 раза по субъективным ощущениям громкости. При установке АЭ в акустически необработанном помещении ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}=0,2$) шум на рабочем месте снизился на 2-6 дБ в диапазоне частот 125-8000 Гц и на 6 (дБА), но продолжал превышать норму на 4-6 дБ (5 дБА) в частотном диапазоне 1000-8000 Гц. После проведения акустической обработки помещения ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}=0,4$) при том же АЭ дополнительное снижение УЗД составила 3-10 дБ (9 дБА). Таким образом АЭ в акустически обработанном помещении снизил УЗД на 5-16 дБ, а УЗ на 15 дБА. Шум снижен до нормы.

Выводы по главе

1. Для проведения испытаний был создан опытный стенд, состоящий из набора АЭ различных по площади, форме и пр. в совокупности с искусственным ненаправленным источником звука постоянной звуковой мощности и аппаратурой для измерений значений УЗД, УЗ и времени реверберации в помещениях. Испытания проводились в свободном звуковом поле и в опытном помещении с различными задаваемыми акустическими характеристиками

2. На основании действующей нормативно-технической документации была разработана методика испытаний АЭ в свободном звуковом поле и в помещении, содержащая расположение измерительных точек и АЭ (точка 1- на расстоянии 0,5 м в середине АЭ — прямой звук и точки 2 на расстоянии 2м от АЭ в районе граничного радиуса (радиуса реверберации)). Испытывались АЭ трех типоразмеров (1x1; 1,5x1,5; 2x2), плоские, Г-образные, П-образные и полузамкнутые с нанесенным по площади АЭ ЗПМ и без ЗПМ. Все измерения в точках 1 и 2 проводились как с установленным АЭ, так и без него. Указанный перечень объектов испытаний был использован при испытаниях в свободном звуковом поле, в опытном помещении испытывались плоские АЭ. Акустические свойства опытного помещения определялись расчётом на основании результатов

измерений времени реверберации при различной эквивалентной площади и площади звукопоглощения, материал для акустической обработки помещений — шлаковата. В качестве критерия звукопоглощающих свойств опытного помещения использовался средний коэффициент звукопоглощения в помещении ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$) на частоте 1000 Гц. Этапы акустической обработки (изменение $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$): этап 1 — 0,2, этап 2 — 0,3, этап 3 — 0,4 и этап 4 — 0,5.

3. Результаты испытаний АЭ в свободном звуковом поле показали следующее. Для АЭ различных размеров в точке 1 получено: для АЭ 1х1м эффективность 3-17 дБ, в диапазоне частот — 125-8000 Гц (8 дБА); 1,5х1,5м эффективность 4,5-20дБ (12 дБА); 2х2 эффективность 6-23 дБ (15 дБА); отмечена закономерность — при каждом удвоении площади АЭ эффективность возрастает на 3 дБА. Значение эффективности АЭ в точке 2 на 2 дБ (дБА) ниже из-за увеличения угла дифракции. Следующим по значимости фактором, влияющим на эффективность АЭ — его форма. Эффективность Г-образных АЭ на 1-2 дБ (1дБА) выше, чем плоских П-образных, выше на 2-4 дБ (3 дБА), а полузамкнутых выше на 5-7 дБ (6дБА). И, наконец, при нанесении на плоскость АЭ звукопоглощающих материалов (ЗПМ) его эффективность возрастает на 1-3 дБ (2 дБА)

4. 4. Если АЭ расположен в помещении, то его акустическую эффективность, в первую очередь, зависят от акустических свойств помещения, определяемых выбранным критерием значения среднего коэффициента звукопоглощения ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$). Были выполнены исследования эффективности АЭ при постоянном изменении последних в пределах от 0,2 до 0,5 для трех типоразмеров АЭ. Так для АЭ с размером 2х2 м при увеличении от 0,2 до 0,3 эффективность АЭ увеличивается на 1,5-2,5 дБ (2дБА), при увеличении $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ до 0,4 на 3,5-5,5 дБ (5дБА); при увеличении до 0,5 на 5-8 дБ (9 дБА). Абсолютные значения акустической эффективности АЭ 2х2 м при различных $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ составили: при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$ эффективность 1,5-6 дБ (5 дБА); при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,3$ эффективность 2,5-11 дБ (7,5 дБА); при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4$ эффективность 3,5-16 дБ (10 дБА); при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$ эффективность 4,5-20 дБ (12 дБА). Таким образом при каждом увеличении $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$

на 0,1 эффективность АЭ возрастала на 2-2,5 дБА. На основании выполненных экспериментов для всех типоразмеров АЭ получены значения поправок в формулу расчёта эффективности АЭ в зависимости от $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$.

5. Разработаны рекомендации по проектированию и установке АЭ в производственных помещениях, включающие: обязательную акустическую обработку помещений, где располагаются АЭ, связь местоположения АЭ с величиной граничного радиуса (радиуса реверберации), а также применение в конструкции АЭ элементов, увеличивающих его эффективность (размеры, форма, ЗМП).

6. Выполнена апробация предложенных решений: АЭ размером 2х4 м установлен в цехе металлообработки на рабочем месте слесаря механосборочных работ. Без АЭ шум превышал нормы на 4-11 дБ (11 дБА), при установке АЭ в цехе без акустической обработки снижение шума на рабочем месте составляло 2-6 дБ (6 дБА) и шум превышал нормы на 4-6 дБА (5 дБА). При том же АЭ и акустической обработке помещения ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}=0,4$) уровни звукового давления дополнительно снижены на 3-10 дБ, а уровни звука на 9 дБА, шум в норме во всем частотном диапазоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Измерения шума (эквивалентные и максимальные уровни звука, дБА) были проведены на рабочих местах и в рабочих зонах четырех производственных предприятий в следующих городах: Санкт-Петербург, Москва, Пермь. Всего было обследовано почти 50 производственных цехов, производственных участков и производственных линий, измерения проведены в 435 измерительных точках (ТИ). При анализе было установлено, что уровни звука не превышают норму примерно на 10% рабочих мест и в рабочих зонах, в 70% превышения шума до 10 дБА, а в 20% зарегистрированы существенные превышения от 11 до 22 дБА. Таким образом, проблема защиты от шума на предприятиях этой отрасли является актуальной.

2. Акустические свойства помещений промышленных предприятий были изучены на основании экспериментальных исследований 22 помещений (цехов и производственных участков), для каждого из которых были выполнены измерения времени реверберации, а также вычисления среднего коэффициента звукопоглощения и граничного радиуса в октавных полосах частотного диапазона 125-8000 Гц. Измеренные значения времени реверберации составили от 0,8-0,5 до 2,3 – 1,3 с. Вычисленные значения среднего коэффициента звукопоглощения находится в диапазоне 0,1 – 0,2., что снижает эффективность средств шумозащиты, устанавливаемых на пути распространения звука от ИШ до рабочего места или рабочей зоны, в частности, акустических экранов.

3. Предложена классификация акустических свойств производственных помещений в зависимости от значения предложенного критерия $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ и характера звукового поля в помещении: I класс: ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} \leq 0,2$), звуковое поле диффузное, помещение гулкое, какое-либо звукопоглощение отсутствует; II класс: ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,3$), звуковое поле квазидиффузное, помещение обладает слабым звукопоглощением; III класс: ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4$), звуковое поле квазидиффузное, помещение оборудовано заметным звукопоглощением; IV класс: ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$),

звуковое поле слабодиффузное, помещение оборудовано максимально возможным звукопоглощением.

4. Расчёт по формулам, представленным в основном нормативном документе, показал неприемлемое отклонение расчётных данных от данных эксперимента. В основу этих расчетов положена оптико-дифракционная теория, базирующаяся на разности хода звуковых лучей в присутствии экрана, определяемых числом Френеля. Для расчётов АЭ, установленных в помещении, необходима другая теория. Нами предложено в области до граничного радиуса за АЭ, рассматривать АЭ в свободном звуковом поле, но вводить в эти результаты экспериментальную поправку на влияние отражений в помещениях, согласно предложенной классификации, а расчёт в пределах граничного радиуса выполнять теоретически.

5. Основываясь на методе последовательного преобразования звуковых полей, нами была получена формула для расчётов АЭ до граничного радиуса, где эффективность АЭ зависит от расположения его в пространстве, высоты АЭ, его поглощающих свойств, коэффициента дифракции $\beta_{\text{дифр}}^{\text{экр}}$ экспериментальной поправки на влияние отраженного звука в помещении. Для звукового поля в пределах граничного радиуса получена формула для расчётов АЭ, в которой, помимо вышеуказанных параметров, также включены параметры, показывающие поглощающие (отражающие) свойства помещений (средний коэффициент звукопоглощения, эквивалентная площадь звукопоглощения и коэффициент диффузности звукового поля, как до, так и после установки АЭ). Экспериментальная проверка показала приемлемую точность результатов, полученных расчётом по двум предложенным формулам.

6. Для проведения испытаний был создан опытный стенд, состоящий из набора АЭ различных по площади, форме и пр. в совокупности с искусственным ненаправленным источником звука постоянной звуковой мощности и аппаратурой для измерений значений УЗД, УЗ и времени реверберации в помещениях. Испытания проводились в свободном звуковом поле и в опытном помещении с различными задаваемыми акустическими характеристиками. На

основании действующей нормативно-технической документации была разработана методика испытаний АЭ в свободном звуковом поле и в помещении, содержащая расположение измерительных точек и АЭ (точка 1 – на расстоянии 0,5 м в середине АЭ — зона глубокой акустической тени и точки 2 на расстоянии 2м от АЭ в районе граничного радиуса (радиуса реверберации). Испытывались АЭ трех типоразмеров (1х1; 1,5х1,5; 2х2), плоские, Г-образные, П-образные и полузамкнутые с нанесенным по площади АЭ ЗПМ и без ЗПМ. В соответствии с предложенной классификацией акустическая обработка опытного помещения проводилась в 4 этапа: в зависимости от значения выбранного критерия $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$, до $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$.

7. Результаты испытаний АЭ в свободном звуковом поле показали следующее. Для АЭ различных размеров в точке 1 (зона глубокой акустической тени) получено: 1х1м – эффективность 3-17 дБ, в диапазоне частот — 125-8000 Гц (8 дБА); 1,5х1,5м – эффективность 4,5-20дБ (12 дБА); 2х2 – эффективность 6-23 дБ (15 дБА); отмечена закономерность — при каждом удвоении площади АЭ эффективность возрастает на 3-4 дБА. Значение эффективности в точке 2 стабильно на 2 дБ (дБА) ниже из-за увеличения угла дифракции. Эффективность Г-образных АЭ на 1-2 дБ (1дБА) выше, чем плоских П-образных, выше на 2-4 дБ (3 дБА), а полузамкнутых выше на 5-7 дБ (6дБА). И, наконец, при нанесении на плоскость АЭ звукопоглощающих материалов (ЗПМ) его эффективность возрастает на 2-3 дБ (2 дБА)

8. Если АЭ расположен в помещении, то его акустическую эффективность, в первую очередь, определяют акустические свойства помещения $\bar{\alpha}_{\text{пом}}$. Были выполнены исследования эффективности АЭ и степени влияния АЭ на эффективность акустических свойств помещения при поэтапном изменении последних. Так для АЭ с размером 2х2 м при увеличении $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ от 0,2 до 0,3 эффективность АЭ увеличивается на 1,5 – 2,5 дБ (2 дБА), при увеличении $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ до 0,4 на 3,5 – 5,5 дБ (5дБА); при увеличении $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ до 0,5 на 5 – 8 дБ (9 дБА). Абсолютные значения акустической эффективности АЭ 2х2 м при различных

$\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ составили: при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,2$ эффективность 1,5-6 дБ (5 дБА); при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,3$ эффективность 2,5 – 11 дБ (7,5 дБА); при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4$ эффективность 3,5 – 16 дБ (10 дБА); при $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,5$ эффективность 4,5 – 20 дБ (12 дБА). Таким образом при каждом увеличении $\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000}$ на 0,1 эффективность АЭ возрастала на 2-2,5 дБА. На основании выполненных экспериментов для всех типоразмеров АЭ получены значения поправок в предложенную формулу расчёта эффективности АЭ в помещении.

9. Разработаны рекомендации по проектированию и установке АЭ в производственных помещениях, включающие: обязательную акустическую обработку помещений, где располагаются АЭ; связь местоположения АЭ с величиной граничного радиуса (радиуса реверберации), а также применение в конструкции АЭ элементов, увеличивающих его эффективность (размеры, форма, ЗМП).

10. Выполнена апробация предложенных решений: АЭ размером 2х4 м установлен в механическом цехе на рабочем месте специалиста ОТК. Без АЭ шум превышал нормы на 4-11 дБ (11 дБА), при установке АЭ в цехе без акустической обработки снижение шума на рабочем месте составляло 2-6 дБ (6 дБА) и шум превышал нормы на 4-6 дБА (5 дБА). При том же АЭ и акустической обработке помещения ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}^{1000} = 0,4$) уровни звукового давления дополнительно снижены на 3-10 дБ, а уровни звука на 9 дБА, шум в норме во всем частотном диапазоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" : утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28.01.2021.
2. Иванов, Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом : учебник / Н. И. Иванов. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Логос, 2015. 432 с.
3. Буторина, М. В. Основы виброакустики. Теория и практика борьбы с шумом и вибрацией : учебник : в 2 т. / М. В. Буторина, Н. И. Иванов, А. Е. Шашурин. СПб. : Изд-во БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, 2024. Т. 1. 391 с. Т. 2. 380 с.
4. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2024 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2025. – 424 с.
5. Борьба с шумом на производстве : справочник / под общ. ред. Е. Я. Юдина. М. : Машиностроение, 1985. 400 с.
6. Иванов, Н. И. Защита от шума и вибрации : учеб. пособие / Н. И. Иванов, А. Е. Шашурин. 2-е изд., перераб. и доп. СПб. : Печатный Цех, 2019. 284 с.
7. Инженерная и санитарная акустика : сборник нормативно-методических документов : в 2 т. СПб. : Компания «Интеграл», 2008. Т. 1. 822 с. Т. 2. 821 с.
8. Колесников, А. Е. Шум и вибрация : учебник / А. Е. Колесников. Л. : Судостроение, 1988. 247 с.
9. Лагунов, Л. Ф. Борьба с шумом в машиностроении / Л. Ф. Лагунов, Г. Л. Осипов. М. : Машиностроение, 1980. 150 с.
10. Мышинский, Э. Л. Борьба с вибрацией и шумом в инженерной практике / Э. Л. Мышинский ; ЦНИИ им. А. Н. Крылова. СПб. : [б. и.], 2011. 240 с.

11. Справочник по технической акустике / под ред. М. Хекла, Х. А. Мюллера. Л. : Судостроение, 1980. 440 с.
12. Тупов, В. Б. Снижение шума от энергетического оборудования : учеб. пособие для вузов / В. Б. Тупов. М. : Изд-во МЭИ, 2005. 232 с.
13. Handbook of Noise and Vibration Control / Ed. Malcolm J. Crocker. N.Y.: John Wiley and Sons, 2007. 1569 p.
14. Engineering Acoustics: Noise and Vibration Control: Handbook / Malcolm J. Crocker, Jorge P. Arenas. John Wiley & Sons Ltd., 2021. 784 p.
15. Каталог шумовых характеристик технологического оборудования (к СНиП П-12-77) / НИИСФ Госстроя СССР ; Ленгипроинт ; ВЦНИИОТ ВЦСПС. М. : [б. и.], 1978.
16. Месхи, Б. Ч. Улучшение условий труда рабочих, занятых в обслуживании металло- и деревообрабатывающих станков прерывистого резания : специальность 05.26.01 "Охрана труда (по отраслям)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Месхи Бесарион Чохоевич. – Санкт-Петербург, 2004. – 39 с..
17. Крутова, В. А. Научное обоснование способов снижения виброакустических характеристик мостовых кранов при проектировании и эксплуатации : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Крутова Вероника Александровна, 2023. – 263 с..
18. Крутова, В. А. Практические рекомендации по снижению шума на рабочем месте машиниста вагона-электростанции восстановительного поезда / В. А. Крутова, Д. С. Фролова // Безопасность труда в промышленности. – 2024. – № 5. – С. 43-47. – DOI 10.24000/0409-2961-2024-5-43-47. .
19. Мусина С. А., Щелчкова А. И., Хасанова Л. Ф. Анализ опасных и вредных факторов и разработка мероприятий по снижению уровня шума на рабочем месте распиловщика мясoproдуктов мясopерерабатывающего цеха // Форум молодых ученых. 2018. №3 (19).
20. Терехов А. Л. Повышение безопасности труда на предприятиях ПАО «Газпром» (компрессорные станции) // Вести газовой науки. 2017. №1 (29).

21. Буторина М. В., Те Цзявей, Элькин Ю. И. Сравнение нормативов и методов снижения шума в Китае и России // Noise Theory and Practice. 2025. №1.
22. Готлиб Я. Г., Алимов Н. П., Азаров В. Н. Вопросы ограничения шума для оценки условий труда // АЭЭ. 2013. №13 (135).
23. Авиационная акустика : в 2 т. / под ред. А. Г. Мунина. М. : Машиностроение, 1986. Т. 1. 248 с. Т. 2. 255 с.
24. Аэрогидромеханический шум в технике / под ред. Р. Хиклинга. М. : Мир, 1980. 336 с.
25. Боголепов, И. И. Промышленная звукоизоляция / И. И. Боголепов. Л. : Судостроение, 1986. 368 с.
26. Градостроительные меры борьбы с шумом. М. : Стройиздат, 1975. 215 с.
27. Звукоизоляция и звукопоглощение : учеб. пособие / под ред. Г. Л. Осипова, В. Н. Бобылева. М. : АСТ, 2004. 336 с.
28. Ионов, А. В. Средства снижения вибрации и шума на судах / А. В. Ионов ; ЦНИИ им. А. Н. Крылова. СПб. : [б. и.], 2000. 262 с.
29. Клюкин, И. И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах / И. И. Клюкин. Л. : Судостроение, 1971. 416 с.
30. Никифоров, А. С. Акустическое проектирование судовых конструкций : справочник / А. С. Никифоров. Л. : Судостроение, 1990. 199 с.
31. Никифоров, А. С. Вибропоглощение на судах / А. С. Никифоров. Л. : Судостроение, 1979. 184 с.
32. Осипов, Г. Л. Защита зданий от шума / Г. Л. Осипов. М. : Изд-во литературы по строительству, 1972. 215 с.
33. Снижение шума в зданиях и жилых районах / под ред. Г. Л. Осипова, Е. Я. Юдина. М. : Стройиздат, 1987. 588 с.
34. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование : справочник / под ред. С. В. Белова. М. : Машиностроение, 1989.
35. Техническая акустика транспортных машин : справочник / под ред. Н. И. Иванова. СПб. : Политехника, 1992. 365 с.

36. Шум на транспорте / под ред. В. Е. Тольского, Г. В. Бутакова, Б. Н. Мельникова. М. : Транспорт, 1995. 368 с.
37. Щевьев, Ю. П. Аналитические методы расчета шумозащитных конструкций / Ю. П. Щевьев, А. А. Белоусов. СПб. : Политехника, 2002. 341 с.
38. ГОСТ 12.1.029-80. Система стандартов безопасности труда. Средства и методы защиты от шума. Классификация. Введ. 1982-01-01.
39. Шашурин А. Е., Курченко П. С., Гогоадзе М. Г., Разаков Ж. П. Расчёт шумозащитных ограждений для снижения шума операторов металлообрабатывающих станков // Noise Theory and Practice. 2021. №4 (26).
40. Шашурин, А. Е. Снижение внутреннего шума звукоизолирующими кабинами (на примере строительно-дорожных машин) : специальность 01.04.06 "Акустика" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шашурин Александр Евгеньевич. – Санкт-Петербург, 2010. – 24 с.
41. Терехов Алексей Леонидович Разработка методов снижения шума на газотранспортных предприятиях и внедрение полученных результатов // Вести газовой науки. 2024. №4 (60)..
42. Олейников, А. Ю. Акустическая защита на борту пилотируемых космических станций : специальность 01.04.06 "Акустика" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Олейников Алексей Юрьевич. – Санкт-Петербург, 2007. – 24 с.
43. Изак, Г. Д. Шум на судах и методы его уменьшения / Г. Д. Изак, Э. А. Гомзинов. М. : Транспорт, 1987. 303 с.
44. Пятачкова, Л. Н. Снижение шума на промышленных предприятиях методом экранирования / Л. Н. Пятачкова, А. С. Рыбак // Сборник докладов научно-практических конференции по борьбе с шумом и вибрацией на производстве. Л. : Судостроение, 1972. С. 39–43.
45. Пятачкова, Л. Н. Расчет эффективности плоских экранов конечных размеров / Л. Н. Пятачкова, С. А. Рыбак // Тезисы докладов конференции

«Безопасность труда и профилактика профессиональных заболеваний в судостроительной промышленности». Л. : Судостроение, 1969. 15 с.

46. Поболь, О. Н. Шум в текстильной промышленности и методы его снижения / О. Н. Поболь. М. : Легромбытиздат, 1987. 144 с.

47. Bento Coelho J.L., Serrano J.F.M.V., Fafaiol C.A. Noise in industry - a survey in Portugal // Proceedings of international conference Noise'93, May 31-June 3, 1993, St. Petersburg, Russia. Vol. 2. P. 91-96.

48. Maekawa Z. Environmental and architectural acoustics. London: E & FN Spon, 1994. 377 p.

49. Maekawa Z. Recent problems with noise barriers // Proceedings of international conference Noise'93, May 31-June 3, 1993, St. Petersburg, Russia. Vol. 4. P. 125-131.

50. Maekawa Z. Simple estimation methods for reduction by variously shaped barriers // Archives of Acoustics. 1985. Vol. 10, № 4. P. 369-382.

51. Зюзликова, Н. В. Снижение шума на рабочих местах в помещениях акустическими экранами / Н. В. Зюзликова.

52. Тюрина, Н. В. Решение проблемы снижения шума на селитебных территориях и рабочих местах в помещениях акустическими экранами : специальность 01.04.06 "Акустика" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Тюрина Наталья Васильевна. – Санкт-Петербург, 2014. – 22 с..

53. Кондратьев С.А., Иванов Н.И., Тюрина Н.В., Шашурин А.Е. / Расчет эффективности акустических экранов, установленных в помещении // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Защита от шума и вибрации», 1-3 октября 2025 года. - М., СПб.: 2025. - С. 246-252.

54. Тюрина, Н. В. Классификация акустических экранов / Н. В. Тюрина // Сборник трудов 2-ой Всероссийской школы-семинара «Новое в теоретической и прикладной акустике» / под ред. Н. И. Иванова. СПб., 2002. С. 115–122.

55. Тюрин, Н. В. Application of acoustical barriers for reduction of environmental noise emitted by ventilation systems / N. V. Tyurina // Proceedings of the Tenth International Congress on Sound and Vibration, Stockholm, Sweden, 7-10 July 2003. Vol. 5. P. 2781–2788.
56. Тюрин, Н. В. Noise barriers for St. Petersburg ring road: design features and parameters / N. V. Tyurina // Proceedings of the Eleventh International Congress on Sound and Vibration, 5-8 July 2004, St. Petersburg, Russia. Vol. 3. P. 1377–1382.
57. Тюрин, Н. В. Prediction and design of noise barriers for stationary noise sources / N. V. Tyurina // Proceedings of the International Congress on Sound and Vibration, Vienna, Austria, 2-6 July, 2006. CD-ROM.
58. Тюрин, Н. В. Акустические экраны для снижения шума в жилой застройке / Н. В. Тюрин, Н. И. Иванов, Н. Г. Семёнов // Безопасность жизнедеятельности. Приложение к журналу. 2012. № 4. С. 1–24.
59. Тюрин, Н. В. Снижение шума на селитебных территориях и рабочих местах в помещениях акустическими экранами / Н. В. Тюрин. СПб. : БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2014. 79 с.
60. Акустика : учебник для вузов / Ш. Я. Вахитов, Ю. А. Ковалгин, А. А. Фадеев, Ю. П. Щевьев ; под ред. Ю. А. Ковалгина. М. : Горячая линия – Телеком, 2009. 660 с.
61. Исакович, М. А. Общая акустика : учебное пособие / М. А. Исакович. М. : Наука, 1973. 495 с.
62. Рэлей (Стретт, Дж. В.). Теория звука : в 2 т. М. : Гостехиздат, 1955.
63. Скучик, Е. Основы акустики : в 2 т. М. : Мир, 1976. Т. 1. 557 с. Т. 2. 548 с.
64. Скучик, Е. Простые и сложные колебательные системы. М. : Мир, 1971. 557 с.
65. Тэйлор, Р. Шум / Р. Тэйлор ; под ред. М. А. Исаковича. М. : Мир, 1978. 308 с.
66. Кочнев, А. П. Акустика храмовых, театральных и спортивных сооружений : монография / А. П. Кочнев.

67. Щиржецкий Х. А., Сухов В. Н., Щиржецкий А. Х., Алёшкин В. М. К проблеме акустического проектирования современных залов многоцелевого назначения // Жилищное строительство. 2019. №7.
68. Шабарова А. В., Буторина М. В., Куклин Д. А. Влияние степени детализации модели офисного помещения на результаты компьютерного моделирования распространения шума // Noise Theory and Practice. 2021. №1 (23).
69. Борисов Лев Александрович, Щиржецкий Христофор Алексеевич, Насонова Елена Всеволодовна Акустика малых музыкальных помещений // Academia. Архитектура и строительство. 2010. №3.
70. Щевьев, Ю. П. Основы физической акустики : учебное пособие / Ю. П. Щевьев. СПб. : Лань, 2017. 364 с.
71. Борисов, Л. А. Акустические проблемы комфортной среды обитания человека / Л. А. Борисов, М. А. Пороженко, Х. А. Щиржецкий // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – № 5. – С. 65-67.
72. Косинова, В. Е. О расчете реверберации в закрытых помещениях / В. Е. Косинова, Н. Г. Сасковец.
73. Селиванов, М. В. Оценка акустики музыкальных залов амплитудно-частотной характеристике / М. В. Селиванов.
74. Щиржецкий, Х. А. Акустика большого концертного зала Дворца культуры и спорта им. В. И. Ленина в г. Таллине / Х. А. Щиржецкий, М. З. Малкович, Л. Мадалик.
75. Щиржецкий, Х. А. Обеспечение акустического комфорта в многоцелевых залах с помощью систем электроакустики / Х. А. Щиржецкий, М. З. Малкович.
76. Сергеев, М. В. Исследования применимости формулы Эйринга к описанию реверберации в несоразмерных помещениях / М. В. Сергеев, В. Е. Косинова.
77. Макриненко, Л. И. Применение импульсных методов при испытаниях систем озвучивания помещений / Л. И. Макриненко, В. М. Терехин, М. Ю. Ланэ.

78. Duhamel D. Efficient calculation of the three-dimensional sound pressure field around a noise barrier // Journal of sound and vibration. 1996. Vol. 197, № 5. P. 547-571.

79. Klimov B.I., Sizova N.V. Calculation of noise reduction provided by flexible screens (barriers) for printing machines // Proceedings of the Second International Congress on Recent Developments in Air- and Structure-borne Sound and Vibration, March 4-6, 1992, Auburn, USA. Vol. 3. P. 1449-1453.

80. Kurze U.J. Scattering of Sound in Industrial Spaces // Journal of Sound and Vibration. 1985. Vol. 98, № 3. P. 349-364.

81. Kuttruff, H. Room Acoustics. 3rd edition. London: Elsevier Applied Science, 1991.

82. Lam W., Roberts S.C. A simple method for accurate prediction of finite barrier insertion loss // The Journal of the Acoustical Society of America. 1993. Vol. 93, № 3. P. 1445-1452.

83. Van Leeuwen J.J. Noise prediction models to determine the effect of barriers placed alongside railway lines // Journal of sound and vibration. 1996. Vol. 193, № 1. P. 269-276.

84. Кондратьев, С. А. Исследование акустических свойств помещений промышленных предприятий / С. А. Кондратьев, Н. В. Тюрина, К. П. Фиев // Noise Theory and Practice. – 2025. – Т. 11, № 3(42). – С. 178-187

85. Рекомендации по выбору шумозащитных мероприятий для защиты от шума железной дороги / А. В. Шабарова, С. С. Борцова, М. В. Буторина, С. А. Кондратьев // Noise Theory and Practice. – 2023. – Т. 9, № 4(35). – С. 39-50.

86. ГОСТ 31287-2005 (ИСО 17624:2004). Шум. Руководство по снижению шума в рабочих помещениях акустическими экранами. Введ. 2007-01-01.

87. Бондаренко, В. А. Уточнение расчёта акустических экранов, устанавливаемых в производственном помещении / В. А. Бондаренко, И. В. Богуславский, С. С. Подуст.

88. Иванов Н. И., Тюрина Н. В., Шашурин А. Е., Курченко П. С. Использование метода преобразования звуковых полей для расчёта

эффективности шумозащитных конструкций // Noise Theory and Practice. 2020. №4 (22).

89. Кондратьев, С. А. Влияние формы и размеров акустического экрана на его эффективность / С. А. Кондратьев, Н. И. Иванов, Н. В. Тюрина // Noise Theory and Practice. – 2025. – Т. 11, № 3(42). – С. 121-132.

90. Приходько Алла Ивановна Акустические экраны. Конструкции и материалы // Холодная наука. 2024. №4.

91. Аистов В. А., Шубин И. Л. Исследования влияния формы шумозащитного экрана на его акустическую эффективность // Academia. Архитектура и строительство. 2009. №5.

92. Светлов, В. В. Оценка и снижение шума стационарных источников в жилой застройке / В. В. Светлов.

93. Шашурин, А. Е. Снижение внутреннего шума звукоизолирующими кабинами (на примере строительно-дорожных машин) / А. Е. Шашурин.

94. Чудинов, Ю. М. Оценка звукопоглощения системы акустических кулис в диффузном поле / Ю. М. Чудинов.

95. Гаспарян, Ю. А. Методика определения акустических характеристик конструкций с использованием рупорной приставки к трубе Кундта / Ю. А. Гаспарян, К. Г. Воронов.

96. Воронов, К. Г. Инженерный метод оценки снижения шума звукопоглощающими конструкциями в цехах производственных зданий большой площади / К. Г. Воронов.

97. Косинова, В. В. О расчете реверберации в несоразмерных помещениях / В. В. Косинова.

98. Шелухин, М. И. О приведенном коэффициенте звукопоглощения ограждающей поверхности помещения / М. И. Шелухин.

99. Шелухин, М. И. Учет поглощения звука в воздухе при расчете звукового поля помещения / М. И. Шелухин.

100. ГОСТ ИСО 9612-2016. Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Введ. 2017-07-01.

101. ГОСТ ИСО 3382-2-2013. Акустика. Измерение акустических параметров помещения. Часть 2. Время реверберации обычных помещений. Введ. 2015-01-01.

102. СП 254.1325800.2016 — свод правил «Здания и территории. Правила проектирования защиты от производственного шума»

Приложение А. Данные испытаний опытных АЭ в свободном звуковом поле.

№ измерения	Тип измерения	Микрофон №1 Над АЭ									
		1/1 октавы, Лэкв, 31.5, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 63.0, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 125, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 250, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 500, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 1.0к, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 2.0к, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 4.0к, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 8.0к, Канал Mic	УЗ
Измерение 1	АЭ 1м х 1м Левая сторона + Правая сторона высота микрофона = 0,5м	54,6	69,6	91,9	97,6	86,1	93,0	93,2	92,3	87,4	101,2
		57,6	69,6	91,8	97,7	86,0	93,0	93,2	92,4	87,2	101,2
		54,7	69,4	92,0	97,6	86,1	93,0	93,3	92,4	87,1	101,2
Измерение 2	АЭ 1м х 1м Левая сторона высота микрофона = 0,5м	55,8	70,3	91,7	97,6	85,6	93,2	93,4	92,5	87,3	101,2
		55,2	69,7	92,0	97,7	85,8	93,2	93,4	92,5	87,3	101,3
		57,1	69,5	91,9	97,6	85,6	93,2	93,4	92,5	87,2	101,3
Измерение 3	АЭ 1м х 1м Прямой экран высота микрофона = 0,5м	55,5	70,2	92,1	97,8	85,5	93,3	93,4	92,3	87,3	101,4
		53,7	70,6	92,1	97,7	85,6	93,3	93,4	92,4	87,1	101,3
		53,1	69,5	92,2	97,6	85,1	92,9	93,1	92,3	86,9	101,2

Измерение 4	Свободное поле. Высота микрофона = 0,5м	52,5	70,3	92,5	98,0	85,3	93,1	93,2	92,3	87,1	101,4
		53,0	69,4	91,7	97,4	84,6	92,8	92,9	92,2	87,0	101,0
		54,8	69,6	92,2	97,8	84,8	92,9	93,0	92,2	87,1	101,2
Измерение 5	АЭ 1м х 1м Полукапот высота микрофона = 0,5м	55,3	70,6	94,3	100,0	87,8	93,5	93,2	92,4	88,1	102,7
		53,9	70,1	93,8	99,7	87,5	93,4	93,0	92,2	88,1	102,4
		53,4	69,9	93,5	99,6	87,5	93,4	93,0	92,1	88,1	102,3
Измерение 6	АЭ 1м х 1м Полукапот с ЗПМ обшивкой (Полностью внешняя) высота микрофона = 0,5м	54,4	70,4	93,4	99,3	86,0	92,9	92,3	89,7	88,0	101,7
		55,3	69,5	92,7	98,7	85,3	92,3	91,9	89,4	88,0	101,2
		55,6	69,2	92,8	98,3	85,0	92,2	91,7	89,6	87,8	101,0
Измерение 7	АЭ 1,5м х 1,5м Прямой экран высота микрофона = 0,75м	53,1	68,5	91,8	97,0	85,6	91,0	91,0	85,5	83,9	99,7
		54,4	68,1	91,2	96,7	85,4	91,3	90,5	85,6	83,5	99,4
		56,0	68,6	91,1	96,3	85,2	91,3	90,2	85,8	84,2	99,2
Измерение 8	АЭ 1,5м х 1,5м Правая сторона	54,2	68,4	90,5	95,8	85,3	91,8	90,4	87,0	85,6	99,1

	высота микрофона = 0,75м	55,1	67,9	90,6	96,0	85,1	91,6	90,1	87,1	86,1	99,2
		55,1	68,4	90,3	95,8	84,7	91,5	90,2	86,9	86,1	99,0
Измерение 9	АЭ 1,5м х 1,5м Левая сторона + Правая сторона высота микрофона = 0,75м	53,4	68,0	90,6	96,3	86,1	92,1	90,6	86,8	85,8	99,5
		51,8	67,8	90,6	96,2	86,0	91,9	90,3	86,8	86,0	99,3
		51,1	67,4	89,9	96,1	85,8	91,8	90,4	86,8	85,7	99,2
Измерение 10	АЭ 1,5м х 1,5м Полукапот высота микрофона = 0,75м	54,4	68,3	92,0	97,0	85,3	91,6	90,1	86,8	86,0	99,8
		55,0	67,3	91,0	96,6	85,0	91,2	89,9	86,6	86,0	99,3
		52,6	68,0	91,1	96,4	84,9	91,0	90,0	86,6	86,1	99,3
Измерение 11	АЭ 1,5м х 1,5м Полукапот с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 0,75м	54,7	69,1	91,5	96,8	84,2	90,9	91,0	86,7	86,0	99,6
		55,9	68,2	91,8	96,3	83,9	90,5	90,9	87,0	86,1	99,4
		55,6	67,9	91,6	96,2	83,5	90,5	90,8	87,3	86,2	99,3
Измерение 12	АЭ 1,5м х 1,5м Прямой экран с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона =	59,8	69,7	91,6	96,1	84,3	91,0	90,8	86,3	85,9	99,3
		57,3	69,7	90,8	95,2	83,4	90,5	90,8	86,7	86,2	98,7

	0,75м	57,0	69,2	90,3	95,0	83,3	90,6	90,8	86,8	86,2	98,6
Измерение 13	Свободное поле. Высота микрофона = 0,75м	54,7	68,8	90,5	95,8	83,9	91,5	89,6	87,6	85,8	99,0
		54,4	68,1	90,2	95,5	83,6	91,0	89,3	87,3	85,4	98,6
		53,5	67,9	90,1	95,6	83,3	91,0	89,4	87,3	85,3	98,6
Измерение 14	АЭ 2м х 2м Прямой экран высота микрофона = 1м	53,9	67,3	89,5	94,3	84,5	90,4	88,9	83,4	81,3	97,6
		56,3	67,5	89,2	93,7	83,9	90,0	88,9	83,5	81,6	97,2
		55,2	67,2	89,6	93,9	83,9	90,2	88,8	83,9	81,5	97,4
Измерение 15	АЭ 2м х 2м Правая сторона высота микрофона = 1м	54,7	67,7	91,1	96,0	85,5	91,1	87,9	83,7	84,0	98,7
		56,2	69,4	90,4	95,5	84,9	90,8	87,6	83,7	83,6	98,3
		56,1	67,8	90,8	95,7	85,0	90,8	87,5	83,5	83,3	98,4
Измерение 16	АЭ 2м х 2м Правая сторона + Левая сторона высота микрофона = 1м	55,5	67,7	91,4	96,2	85,1	91,0	87,8	83,1	82,6	98,8
		55,2	67,5	91,0	96,1	84,8	90,8	87,5	83,0	82,6	98,6
		56,0	67,2	91,1	95,8	84,8	90,8	87,4	82,9	82,6	98,5

Измерение 17	АЭ 2м х 2м Полукапот высота микрофона = 1м	55,8	68,5	91,6	96,7	85,1	91,3	88,4	83,8	83,0	99,2
		56,6	67,6	91,3	96,7	84,8	90,9	88,1	84,0	83,4	99,0
		57,1	67,8	91,3	96,7	84,8	91,2	88,2	84,0	83,0	99,1
Измерение 18	АЭ 2м х 2м Полукапот с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 1м	51,8	67,6	91,3	96,1	83,4	89,0	88,5	82,8	82,0	98,4
		54,0	67,3	91,1	95,9	83,3	88,6	88,5	82,7	82,1	98,2
		54,0	67,3	91,1	95,7	83,3	88,5	88,4	83,6	81,7	98,1
Измерение 19	АЭ 2м х 2м Прямой экран с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 1м	54,5	67,7	90,4	94,4	83,8	89,1	88,9	83,8	81,7	97,6
		53,8	67,6	90,4	94,4	83,5	89,1	88,4	83,2	81,6	97,5
		53,5	67,5	90,4	94,7	83,5	89,2	88,6	83,1	81,7	97,7
Измерение 20	Свободное поле. Высота микрофона = 1м	53,0	67,2	88,7	93,4	84,6	89,0	89,5	83,1	81,8	97,0
		54,2	67,2	88,5	93,3	84,4	89,0	89,7	82,8	81,5	96,9
		57,8	67,5	88,4	93,3	83,8	88,7	89,6	82,5	80,9	96,7
№ измерения	Тип измерения	Микрофон №2 0,5м от АЭ									

		1/1 октавы, Лэкв, 31.5, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 63.0, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 125, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 250, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 500, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 1.0к, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 2.0к, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 4.0к, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 8.0к, Канал X	УЗ
Измерение 1	АЭ 1м х 1м Левая сторона + Правая сторона высота микрофона = 0,5м	55,4	72,7	85,3	87,9	80,3	78,4	77,6	74,3	69,2	90,8
		58,0	72,6	85,2	88,0	80,2	78,4	77,7	74,4	69,1	90,8
		55,4	72,5	85,3	87,9	80,3	78,4	77,6	74,5	69,2	90,8
Измерение 2	АЭ 1м х 1м Левая сторона высота микрофона = 0,5м	56,5	72,3	90,3	92,0	85,0	78,3	76,8	76,8	69,1	94,9
		55,9	71,7	90,6	92,1	85,1	78,1	76,8	77,0	69,0	95,1
		57,7	71,5	90,5	92,0	84,9	78,2	76,8	77,0	69,0	95,0
Измерение 3	АЭ 1м х 1м Прямой экран высота микрофона = 0,5м	56,2	71,8	94,2	98,7	87,2	78,3	77,0	78,0	69,1	99,9
		54,4	72,1	94,1	98,6	87,2	78,3	76,9	78,1	69,0	99,8
		53,8	71,1	94,2	98,5	86,8	77,8	76,7	77,9	68,7	99,8
Измерение 4	Свободное поле. Высота микрофона = 0,5м	53,4	71,8	94,2	101,0	96,1	89,3	93,0	94,1	88,1	103,7
		53,7	70,9	93,5	100,5	95,6	88,9	92,8	93,9	88,0	103,2

		55,4	71,1	93,9	100,8	95,6	89,1	92,8	93,9	87,8	103,4
Измерение 5	АЭ 1м х 1м Полукапот высота микрофона = 0,5м	56,7	72,7	81,8	84,5	83,0	77,1	79,1	73,1	68,3	89,0
		55,0	72,1	81,4	84,3	82,8	76,9	79,0	73,1	68,2	88,8
		54,9	72,1	81,1	84,0	82,7	76,9	78,7	73,0	68,2	88,5
Измерение 6	АЭ 1м х 1м Полукапот с ЗПМ обшивкой (Полностью внешняя) высота микрофона = 0,5м	56,2	72,9	81,6	84,5	83,1	78,7	78,1	73,4	67,4	89,0
		57,3	72,0	81,0	84,1	82,4	78,5	77,7	73,3	67,7	88,5
		56,6	71,8	81,2	84,1	82,4	77,1	77,4	72,8	67,3	88,4
Измерение 7	АЭ 1,5м х 1,5м Прямой экран высота микрофона = 0,75м	54,1	70,5	90,6	92,0	79,5	81,1	76,3	74,2	69,9	94,8
		55,6	70,1	90,2	92,0	79,4	81,2	76,3	73,6	70,5	94,5
		57,0	70,6	90,2	91,9	79,3	81,0	76,3	73,3	71,7	94,5
Измерение 8	АЭ 1,5м х 1,5м Правая сторона высота микрофона = 0,75м	56,0	70,5	84,7	85,1	76,5	80,1	78,0	72,4	68,7	89,4
		56,1	69,9	84,8	85,5	76,3	79,9	77,7	72,4	69,4	89,5
		56,3	70,5	84,7	85,6	76,1	79,8	77,8	72,7	69,2	89,5

Измерение 9	АЭ 1,5м х 1,5м Левая сторона + Правая сторона высота микрофона = 0,75м	54,9	69,5	83,2	87,2	77,2	79,7	79,2	77,3	68,3	89,9
		53,2	69,5	83,0	87,3	77,0	79,3	78,8	77,1	68,2	89,8
		53,0	68,9	82,5	87,2	77,0	79,3	79,1	77,0	68,5	89,6
Измерение 10	АЭ 1,5м х 1,5м Полукапот высота микрофона = 0,75м	56,3	67,8	78,5	92,0	83,1	81,1	80,3	77,1	69,4	92,6
		56,4	67,9	78,0	91,7	83,0	80,7	79,9	77,0	69,3	92,3
		54,5	67,6	78,1	91,5	83,0	80,6	79,8	77,1	69,1	92,2
Измерение 11	АЭ 1,5м х 1,5м Полукапот с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 0,75м	56,7	68,6	77,8	91,9	83,2	81,1	78,8	75,3	68,0	92,4
		57,6	67,6	78,0	90,8	82,6	80,8	78,7	75,3	67,9	91,6
		57,4	67,0	77,8	91,3	82,7	80,8	78,7	75,3	68,2	91,9
Измерение 12	АЭ 1,5м х 1,5м Прямой экран с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 0,75м	60,5	71,4	90,2	91,5	78,6	81,7	75,4	73,0	68,7	94,3
		58,0	71,6	89,9	91,4	78,5	81,4	75,1	72,7	68,1	94,1
		57,8	71,0	89,6	91,3	78,6	81,3	74,8	72,1	69,0	93,9
Измерение 13	Свободное поле. Высота микрофона =	55,3	71,6	93,7	100,3	94,4	88,7	95,1	93,4	88,4	103,2

	0,75м	54,7	71,0	93,3	100,0	94,1	88,5	94,8	93,2	88,4	102,9
		53,9	70,8	93,3	99,9	93,8	88,4	94,8	93,1	88,4	102,8
Измерение 14	АЭ 2м х 2м Прямой экран высота микрофона = 1м	56,8	68,4	84,5	84,4	82,7	77,7	74,4	69,9	67,9	89,4
		58,8	68,7	84,3	84,0	82,4	77,4	74,2	69,9	67,2	89,1
		58,0	68,3	84,6	84,1	82,4	77,4	74,3	70,0	67,2	89,2
Измерение 15	АЭ 2м х 2м Правая сторона высота микрофона = 1м	57,9	66,8	77,7	79,3	81,0	75,5	71,4	69,1	67,2	85,3
		59,8	69,9	77,2	78,8	80,7	75,2	71,3	68,9	67,2	85,0
		60,1	66,8	77,3	78,9	80,9	75,3	71,2	68,8	67,3	85,0
Измерение 16	АЭ 2м х 2м Правая сторона + Левая сторона высота микрофона = 1м	59,6	63,3	76,2	80,5	76,4	73,5	72,2	69,5	65,9	83,8
		59,4	63,9	76,2	81,1	76,9	74,2	72,8	70,2	66,5	84,2
		58,6	64,8	76,7	81,8	77,4	74,6	72,9	70,6	66,9	84,8
Измерение 17	АЭ 2м х 2м Полукапот высота микрофона = 1м	59,0	65,6	75,8	84,7	78,9	77,7	75,6	71,6	68,2	86,8
		59,3	66,6	76,2	84,8	78,5	77,2	75,3	71,3	68,1	86,7

		59,9	65,6	75,6	84,6	78,6	77,4	75,4	71,3	68,0	86,6
Измерение 18	АЭ 2м х 2м Полукапот с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 1м	53,8	63,3	76,1	85,2	78,9	77,0	75,1	69,6	65,0	86,9
		55,5	63,2	75,8	84,7	78,9	76,9	75,0	69,7	65,2	86,5
		55,5	63,8	75,8	84,4	78,9	76,8	74,8	69,7	65,2	86,3
Измерение 19	АЭ 2м х 2м Прямой экран с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 1м	55,0	68,4	84,4	84,0	82,8	74,6	73,1	69,2	67,6	89,1
		54,8	68,1	83,9	83,4	82,5	74,3	72,1	69,8	67,2	88,6
		54,1	68,0	83,8	83,4	82,4	74,4	72,0	69,7	67,1	88,5
Измерение 20	Свободное поле. Высота микрофона = 1м	53,8	70,6	92,5	99,3	91,8	91,6	93,2	88,6	86,8	101,8
		54,9	70,4	92,3	99,1	91,4	91,4	93,2	88,6	86,6	101,6
		58,7	70,7	92,3	99,1	91,6	91,4	93,1	88,7	86,4	101,6
№ измерения	Тип измерения	Микрофон №3 1м от АЭ									
		1/1 октавы, Лэкв, 31.5, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 63.0, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 125, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 250, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 500, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 1.0к, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 2.0к, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 4.0к, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 8.0к, Канал Y	УЗ

Измерение 1	АЭ 1м х 1м Левая сторона + Правая сторона высота микрофона = 0,5м	54,9	71,1	89,2	92,5	79,5	73,6	76,6	72,1	66,1	94,2
		57,4	71,1	89,1	92,5	79,5	73,5	76,6	72,2	66,2	94,1
		55,0	70,9	89,3	92,4	79,6	73,5	76,5	72,1	66,3	94,1
Измерение 2	АЭ 1м х 1м Левая сторона высота микрофона = 0,5м	56,0	70,8	91,4	94,5	80,3	74,2	76,1	72,3	67,4	96,2
		55,4	70,1	91,7	94,7	80,6	74,0	76,1	72,3	67,2	96,4
		57,2	70,1	91,6	94,5	80,4	74,2	76,2	72,4	67,4	96,2
Измерение 3	АЭ 1м х 1м Прямой экран высота микрофона = 0,5м	55,7	70,1	92,8	96,7	87,0	78,5	75,0	72,1	68,3	98,2
		54,1	70,5	92,7	96,6	87,1	78,5	75,0	72,1	68,2	98,2
		53,3	69,4	92,8	96,5	86,7	78,1	74,6	72,0	68,2	98,1
Измерение 4	Свободное поле. Высота микрофона = 0,5м	52,7	69,7	92,1	99,0	94,1	88,9	86,8	89,5	82,3	101,2
		53,0	68,7	91,4	98,5	93,5	88,6	86,6	89,4	82,3	100,7
		55,0	68,9	91,8	98,8	93,5	88,7	86,5	89,3	82,3	100,9
Измерение 5	АЭ 1м х 1м Полукапот высота микрофона =	55,7	71,1	87,7	90,3	80,8	74,0	76,6	72,8	69,1	92,6

	0,5м	53,9	70,5	87,2	90,0	80,3	73,7	76,4	72,7	69,2	92,2
		53,5	70,5	86,9	89,7	80,4	73,7	76,1	72,7	69,2	91,9
Измерение 6	АЭ 1м х 1м Полукапот с ЗПМ обшивкой (Полностью внешняя) высота микрофона = 0,5м	54,3	71,3	87,2	89,8	81,7	73,9	75,5	72,1	65,3	92,1
		55,7	70,4	86,6	89,2	81,1	73,5	74,9	72,0	65,5	91,6
		55,8	70,3	86,9	88,9	80,5	73,3	75,3	71,6	65,7	91,5
Измерение 7	АЭ 1,5м х 1,5м Прямой экран высота микрофона = 0,75м	53,2	69,1	89,2	92,0	78,1	79,5	76,5	75,1	70,7	94,0
		54,6	68,7	88,8	92,0	77,9	79,5	76,3	75,1	69,5	93,8
		56,1	69,1	88,8	91,8	78,0	79,4	76,1	75,0	70,3	93,8
Измерение 8	АЭ 1,5м х 1,5м Правая сторона высота микрофона = 0,75м	54,4	69,5	86,0	87,8	76,1	79,8	76,3	74,6	67,4	90,8
		55,6	69,0	86,2	88,1	75,9	79,6	76,1	74,5	68,1	90,9
		55,9	69,5	86,0	88,2	76,0	79,6	76,2	74,3	67,6	90,9
Измерение 9	АЭ 1,5м х 1,5м Левая сторона + Правая сторона высота микрофона = 0,75м	54,3	68,9	84,7	89,2	80,0	80,5	79,2	74,3	69,4	91,3
		52,3	68,7	84,5	89,0	79,7	80,2	78,9	74,3	69,6	91,1

		51,5	68,3	84,0	88,9	79,7	80,1	78,8	74,1	69,6	90,9
Измерение 10	АЭ 1,5м x 1,5м Полукапот высота микрофона = 0,75м	55,5	67,7	83,3	88,8	82,0	79,2	77,8	74,8	69,3	90,8
		55,7	67,3	82,6	88,5	81,9	78,8	77,5	74,8	69,1	90,4
		53,8	67,4	82,8	88,4	81,9	78,9	77,4	74,7	69,0	90,4
Измерение 11	АЭ 1,5м x 1,5м Полукапот с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 0,75м	56,0	68,0	82,6	88,6	82,0	79,1	77,0	74,0	67,3	90,5
		57,0	67,4	83,0	87,8	81,4	79,0	76,8	74,0	67,0	90,1
		56,8	66,9	82,7	88,1	81,3	78,8	76,7	74,0	67,0	90,1
Измерение 12	АЭ 1,5м x 1,5м Прямой экран с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 0,75м	60,0	70,1	88,7	91,6	77,3	80,0	75,8	73,2	70,3	93,6
		57,8	70,2	88,4	91,4	77,2	79,7	75,6	73,5	69,4	93,4
		57,6	69,8	88,1	91,4	77,2	79,7	75,5	73,9	68,8	93,2
Измерение 13	Свободное поле. Высота микрофона = 0,75м	54,8	69,5	91,5	98,2	92,6	86,0	93,7	92,1	82,7	101,2
		54,2	68,9	91,1	97,9	92,3	85,6	93,3	91,9	82,9	100,9
		53,5	68,6	91,1	97,9	92,0	85,5	93,3	91,9	83,1	100,9

Измерение 14	АЭ 2м х 2м Прямой экран высота микрофона = 1м	54,6	67,5	84,6	83,9	81,4	76,6	71,2	71,0	64,4	88,9
		56,8	67,9	84,4	83,6	81,1	76,1	71,4	71,4	65,4	88,7
		56,1	67,5	84,8	83,6	81,1	76,2	71,6	71,4	65,5	88,8
Измерение 15	АЭ 2м х 2м Правая сторона высота микрофона = 1м	55,6	66,7	80,8	79,2	80,2	75,3	71,6	70,5	62,9	85,9
		57,2	69,6	80,3	78,6	79,8	75,1	71,3	70,5	63,1	85,5
		56,7	66,7	80,4	78,9	79,8	75,1	71,4	70,6	62,9	85,6
Измерение 16	АЭ 2м х 2м Правая сторона + Левая сторона высота микрофона = 1м	56,2	64,8	79,2	83,5	76,8	74,5	74,6	71,2	64,3	86,1
		56,1	64,4	78,7	83,4	76,6	74,4	74,3	71,1	64,5	85,8
		57,1	64,9	78,7	83,1	76,8	74,4	74,5	71,1	64,6	85,7
Измерение 17	АЭ 2м х 2м Полукапот высота микрофона = 1м	58,2	65,0	76,6	82,2	77,2	76,0	75,8	72,5	65,5	85,3
		58,5	65,2	76,7	82,2	76,8	75,7	75,6	72,4	65,5	85,3
		58,9	64,8	76,5	81,9	76,9	75,6	75,7	72,3	65,2	85,1
Измерение 18	АЭ 2м х 2м Полукапот с ЗПМ обшивкой	53,1	63,4	76,0	82,0	77,2	75,2	74,1	70,6	63,3	84,8

	(Лицевая сторона) высота микрофона = 1м	54,9	63,3	75,8	81,9	77,2	75,3	73,9	70,6	63,3	84,7
		54,9	63,8	76,1	81,7	77,1	75,2	73,8	70,5	63,3	84,6
Измерение 19	АЭ 2м х 2м Прямой экран с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 1м	54,5	67,4	84,5	83,3	81,2	74,3	73,3	72,2	65,8	88,6
		54,4	67,1	84,0	82,7	80,9	73,7	72,5	71,7	65,5	88,1
		53,8	67,1	83,8	82,8	80,7	73,8	72,7	71,7	65,5	88,0
Измерение 20	Свободное поле. Высота микрофона = 1м	53,2	68,7	90,6	97,1	91,0	86,8	92,2	87,6	83,1	99,8
		54,3	68,5	90,3	96,9	90,8	86,7	92,0	87,4	83,2	99,6
		58,4	68,9	90,3	96,8	90,8	86,6	92,0	87,3	83,2	99,6
№ измерения	Тип измерения	Микрофон №4 1,5м от АЭ									
		1/1 октавы, Лэкв, 31.5, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 63.0, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 125, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 250, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 500, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 1.0к, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 2.0к, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 4.0к, Канал Mic	1/1 октавы, Лэкв, 8.0к, Канал Mic	УЗ
Измерение 1	АЭ 1м х 1м Левая сторона + Правая	54,6	69,4	89,2	93,3	82,5	78,7	75,5	70,5	65,5	87,3

	сторона высота микрофона = 0,5м	56,9	69,0	89,1	93,3	82,3	78,5	75,3	70,5	65,8	87,2
		54,8	68,9	89,3	93,4	82,5	78,6	75,4	70,5	65,9	87,3
Измерение 2	АЭ 1м х 1м Левая сторона высота микрофона = 0,5м	55,8	69,0	90,1	93,8	83,0	75,6	73,2	69,4	65,3	87,3
		55,3	68,5	90,3	93,9	83,2	75,6	73,1	69,5	65,1	87,4
		56,4	68,3	90,1	93,8	82,9	75,5	73,1	69,4	65,4	87,2
Измерение 3	АЭ 1м х 1м Прямой экран высота микрофона = 0,5м	55,5	68,5	91,6	95,5	86,7	77,4	72,8	69,5	64,3	89,2
		54,2	68,6	91,3	95,3	86,6	77,2	72,5	69,5	64,3	89,1
		53,0	67,9	91,7	95,3	86,3	76,9	72,4	69,5	64,4	89,0
Измерение 4	Свободное поле. Высота микрофона = 0,5м	52,4	67,7	90,2	97,2	92,4	86,8	84,6	86,3	80,6	94,9
		51,4	68,3	89,0	96,8	91,9	86,3	84,7	86,2	81,0	94,5
		53,8	67,4	89,5	96,7	91,9	86,4	84,5	86,3	81,0	94,6
Измерение 5	АЭ 1м х 1м Полукапот высота микрофона = 0,5м	55,0	68,9	88,5	92,5	80,6	73,0	72,5	70,4	64,3	85,8
		53,4	68,2	88,1	92,4	80,2	72,7	72,6	70,6	64,7	85,6

		53,0	68,5	87,7	92,0	80,1	72,4	72,7	70,4	64,7	85,3
Измерение 6	АЭ 1м х 1м Полукапот с ЗПМ обшивкой (Полностью внешняя) высота микрофона = 0,5м	54,0	68,8	88,3	92,1	80,0	74,3	73,0	68,9	62,4	85,5
		55,4	68,6	87,8	91,9	79,8	74,2	72,7	69,2	62,5	85,3
		55,6	68,4	87,8	91,7	79,4	73,8	72,1	68,6	63,3	85,0
Измерение 7	АЭ 1,5м х 1,5м Прямой экран высота микрофона = 0,75м	52,9	67,6	87,4	90,5	76,8	75,7	76,3	71,1	69,3	84,9
		54,5	67,2	86,8	90,5	76,5	75,8	76,1	71,3	69,9	84,8
		56,0	67,9	87,0	90,5	76,8	75,4	76,1	71,8	70,1	84,9
Измерение 8	АЭ 1,5м х 1,5м Правая сторона высота микрофона = 0,75м	54,1	68,1	85,4	88,0	74,7	76,4	77,1	71,9	69,2	83,9
		55,4	67,9	85,6	88,2	74,4	76,2	76,9	72,0	69,1	83,9
		55,2	68,3	85,5	88,4	74,6	76,3	76,8	72,1	68,9	84,0
Измерение 9	АЭ 1,5м х 1,5м Левая сторона + Правая сторона высота микрофона = 0,75м	53,2	67,3	84,1	87,2	77,7	79,1	77,2	72,2	68,4	84,5
		51,9	67,4	84,3	87,2	77,5	78,8	77,0	72,1	68,4	84,4
		51,2	67,0	83,7	87,1	77,3	78,9	77,0	71,9	68,6	84,3

Измерение 10	АЭ 1,5м х 1,5м Полукапот высота микрофона = 0,75м	54,8	66,4	84,2	86,5	78,1	78,6	75,7	71,2	67,6	83,8
		54,5	66,3	83,8	86,4	78,2	78,3	75,4	71,2	67,6	83,7
		52,9	66,2	83,5	86,4	78,1	78,2	75,5	71,3	67,7	83,6
Измерение 11	АЭ 1,5м х 1,5м Полукапот с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 0,75м	56,0	66,7	83,3	86,1	77,8	78,1	74,4	70,6	66,0	83,2
		56,5	66,2	83,7	86,1	77,6	77,8	74,3	70,6	65,9	83,1
		55,7	65,9	83,5	86,0	77,5	77,7	74,3	70,6	65,9	83,0
Измерение 12	АЭ 1,5м х 1,5м Прямой экран с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 0,75м	59,9	69,1	86,6	90,3	76,6	76,5	75,5	71,8	68,4	84,7
		57,6	69,3	86,4	90,0	76,6	76,0	74,9	72,1	68,7	84,4
		56,9	68,8	86,3	90,1	76,5	76,0	74,6	72,1	70,2	84,4
Измерение 13	Свободное поле. Высота микрофона = 0,75м	54,5	67,6	89,9	96,6	91,1	84,1	90,1	87,5	80,9	95,7
		53,5	67,1	89,5	96,4	91,0	83,8	89,9	87,4	80,9	95,5
		52,9	66,6	89,6	96,4	90,7	83,8	89,9	87,4	81,0	95,4
Измерение 14	АЭ 2м х 2м Прямой экран	54,4	66,3	84,0	84,3	79,8	74,3	70,3	69,2	66,3	81,6

	высота микрофона = 1м	56,6	67,3	83,9	84,0	79,5	74,1	70,1	68,2	66,5	81,3
		55,6	66,6	84,3	84,1	79,6	74,1	70,4	67,8	66,9	81,4
Измерение 15	АЭ 2м х 2м Правая сторона высота микрофона = 1м	55,1	66,3	82,2	82,0	77,6	75,2	70,4	68,1	64,7	80,5
		57,0	68,1	81,5	81,3	77,3	75,1	70,3	67,8	64,8	80,2
		55,9	65,8	82,0	81,7	77,4	75,0	70,5	67,8	64,7	80,3
Измерение 16	АЭ 2м х 2м Правая сторона + Левая сторона высота микрофона = 1м	56,6	63,5	80,6	83,7	74,9	76,2	73,3	67,3	64,6	81,1
		55,3	64,1	80,3	83,7	74,7	76,0	73,5	67,2	64,4	81,0
		56,6	64,2	80,5	83,5	74,8	75,9	73,1	67,2	64,4	80,9
Измерение 17	АЭ 2м х 2м Полукапот высота микрофона = 1м	57,9	64,2	79,1	80,1	74,0	76,4	73,3	68,1	64,4	80,4
		57,8	64,2	79,1	80,4	73,7	76,2	73,0	68,0	64,3	80,3
		58,6	64,1	78,9	80,3	73,8	76,2	73,1	68,0	64,5	80,3
Измерение 18	АЭ 2м х 2м Полукапот с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 1м	52,7	63,0	78,4	79,6	74,4	76,0	72,8	66,5	62,4	80,0
		54,4	62,9	78,2	79,2	74,1	75,9	72,6	66,4	62,7	79,8

		54,5	63,6	78,3	79,4	74,3	75,8	72,6	66,0	62,5	79,8
Измерение 19	АЭ 2м х 2м Прямой экран с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 1м	52,8	66,6	83,8	83,7	79,6	73,2	71,6	69,2	65,8	81,3
		54,5	66,2	83,6	83,3	79,4	72,6	70,9	69,5	65,4	80,9
		54,9	66,2	83,2	83,2	79,0	72,7	71,0	69,4	65,4	80,8
Измерение 20	Свободное поле. Высота микрофона = 1м	54,1	67,0	89,2	95,5	89,5	83,1	91,8	92,0	80,7	97,2
		55,1	67,2	88,9	95,4	89,2	83,0	91,7	92,1	80,7	97,1
		58,8	67,2	88,9	95,3	89,3	82,8	91,5	92,3	80,6	97,1
№ измерения	Тип измерения	Микрофон №5 2м от АЭ									
		1/1 октавы, Лэкв, 31.5, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 63.0, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 125, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 250, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 500, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 1.0к, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 2.0к, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 4.0к, Канал X	1/1 октавы, Лэкв, 8.0к, Канал X	УЗ
Измерение 1	АЭ 1м х 1м Левая сторона + Правая сторона высота микрофона = 0,5м	54,8	68,1	88,7	93,1	82,8	77,7	73,3	68,4	69,6	86,9
		56,9	67,7	88,6	93,1	82,6	77,6	73,2	68,1	69,5	86,9
		55,0	67,7	88,8	93,2	82,8	77,7	73,3	68,5	69,9	87,0

Измерение 2	АЭ 1м х 1м Левая сторона высота микрофона = 0,5м	55,9	67,9	89,3	93,5	83,7	77,2	72,2	69,0	68,1	87,2
		55,4	67,4	89,5	93,6	84,0	77,2	72,2	69,1	68,1	87,4
		56,4	67,1	89,3	93,5	83,8	77,1	72,2	69,1	68,1	87,2
Измерение 3	АЭ 1м х 1м Прямой экран высота микрофона = 0,5м	55,7	67,4	90,8	94,8	86,1	78,0	72,1	70,8	65,4	88,7
		54,5	67,5	90,5	94,6	86,0	77,8	72,0	70,8	65,5	88,5
		53,2	66,9	90,9	94,6	85,6	77,5	71,9	70,6	65,4	88,4
Измерение 4	Свободное поле. Высота микрофона = 0,5м	52,5	66,5	89,0	96,1	91,6	86,2	82,6	83,0	81,1	93,6
		51,1	67,2	87,9	95,7	91,1	85,7	82,7	83,0	81,9	93,3
		53,8	66,2	88,4	95,5	91,1	85,9	82,6	82,9	81,6	93,2
Измерение 5	АЭ 1м х 1м Полукапот высота микрофона = 0,5м	55,1	67,7	88,3	92,3	82,1	74,4	71,0	67,9	62,6	85,8
		53,5	67,0	87,8	92,1	81,8	74,3	71,0	68,1	63,2	85,6
		53,0	67,3	87,5	91,7	81,7	74,1	71,0	68,1	63,2	85,3
Измерение 6	АЭ 1м х 1м Полукапот с ЗПМ обшивкой	54,1	67,7	88,1	92,0	81,7	73,7	70,6	65,2	61,5	85,4

	(Полностью внешняя) высота микрофона = 0,5м	55,7	67,4	87,7	91,9	81,5	73,2	70,6	65,5	61,9	85,2
		55,8	67,3	87,7	91,7	81,1	74,2	69,4	64,9	60,9	85,1
Измерение 7	АЭ 1,5м х 1,5м Прямой экран высота микрофона = 0,75м	53,3	67,0	86,7	89,9	76,6	75,3	77,0	71,3	70,1	84,7
		54,7	66,6	86,1	89,8	76,1	75,2	76,5	71,8	69,8	84,5
		56,1	67,3	86,2	89,9	76,4	75,1	76,4	72,6	69,7	84,6
Измерение 8	АЭ 1,5м х 1,5м Правая сторона высота микрофона = 0,75м	54,3	67,5	85,0	88,1	74,2	74,8	77,9	72,4	64,8	83,9
		55,7	67,4	85,1	88,2	74,2	74,6	77,6	72,1	65,1	83,8
		55,5	67,7	85,0	88,4	74,2	74,6	77,7	72,2	66,0	83,9
Измерение 9	АЭ 1,5м х 1,5м Левая сторона + Правая сторона высота микрофона = 0,75м	53,3	66,8	84,0	86,8	75,5	76,4	79,3	75,7	66,0	84,7
		52,2	66,9	84,1	86,8	75,3	76,1	79,2	75,7	66,0	84,6
		51,4	66,4	83,5	86,9	75,1	76,1	79,3	75,6	66,0	84,6
Измерение 10	АЭ 1,5м х 1,5м Полукапот высота микрофона = 0,75м	55,0	66,0	84,2	86,8	75,4	76,3	78,5	75,0	65,7	84,3
		54,6	65,9	83,7	86,6	75,4	76,0	78,2	75,0	65,9	84,0

		53,0	65,8	83,5	86,6	75,6	76,0	78,2	74,9	65,8	84,1
Измерение 11	АЭ 1,5м х 1,5м Полукапот с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 0,75м	56,2	66,5	83,2	86,2	75,3	75,7	77,5	74,1	65,6	83,5
		56,7	66,0	83,7	86,3	75,1	75,5	77,4	74,0	65,8	83,5
		56,0	65,7	83,5	86,2	74,9	75,4	77,2	73,8	65,8	83,3
Измерение 12	АЭ 1,5м х 1,5м Прямой экран с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 0,75м	60,0	68,8	85,9	89,9	76,8	75,3	75,8	71,1	68,4	84,3
		58,1	69,1	85,7	89,6	76,8	74,9	75,2	71,9	68,2	84,1
		57,3	68,4	85,6	89,7	76,7	75,0	75,3	71,9	67,7	84,1
Измерение 13	Свободное поле. Высота микрофона = 0,75м	54,9	66,9	89,1	96,0	90,7	83,9	87,3	87,1	80,0	94,5
		53,8	66,4	88,7	95,8	90,6	83,7	87,2	87,0	80,3	94,4
		53,3	65,8	88,8	95,7	90,2	83,6	87,2	87,0	80,3	94,3
Измерение 14	АЭ 2м х 2м Прямой экран высота микрофона = 1м	54,9	66,0	83,6	85,1	79,3	71,7	73,4	71,4	66,2	81,9
		57,1	67,2	83,5	84,8	79,1	71,7	73,6	71,3	66,5	81,8
		56,0	66,4	83,8	84,9	79,0	71,6	73,8	71,3	66,9	81,9

Измерение 15	АЭ 2м х 2м Правая сторона высота микрофона = 1м	55,3	66,1	82,5	83,4	76,7	73,1	74,0	70,1	63,1	81,0
		57,4	68,1	81,8	82,8	76,4	73,0	73,9	70,1	63,0	80,7
		56,3	65,7	82,3	82,9	76,5	73,0	73,9	70,1	62,8	80,8
Измерение 16	АЭ 2м х 2м Правая сторона + Левая сторона высота микрофона = 1м	56,9	63,6	81,1	83,8	73,6	75,0	73,4	67,7	62,6	80,6
		55,4	64,1	80,9	83,8	73,6	75,0	73,4	67,6	62,9	80,6
		56,9	64,1	81,1	83,6	73,6	74,7	73,3	67,5	62,9	80,5
Измерение 17	АЭ 2м х 2м Полукапот высота микрофона = 1м	58,0	64,3	80,1	80,6	73,5	73,7	73,8	67,5	63,7	79,7
		58,0	64,2	80,2	80,8	73,2	73,5	73,6	67,5	63,4	79,6
		58,7	64,0	80,0	80,7	73,3	73,5	73,7	67,8	63,4	79,6
Измерение 18	АЭ 2м х 2м Полукапот с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 1м	53,0	63,1	79,5	79,9	73,8	74,2	73,1	66,4	61,2	79,4
		54,6	63,1	79,4	79,4	73,5	74,0	72,8	66,5	61,5	79,1
		54,6	63,8	79,3	79,6	73,5	73,9	72,8	66,5	61,2	79,1
Измерение 19	АЭ 2м х 2м Прямой экран с ЗПМ обшивкой	53,0	66,3	83,5	84,6	79,1	72,7	73,1	69,6	64,8	81,6

	(Лицевая сторона) высота микрофона = 1м	54,9	65,9	83,4	84,1	78,9	72,1	72,6	69,6	64,2	81,2
		55,4	66,0	83,1	84,2	78,7	72,1	72,6	69,8	63,7	81,2
Измерение 20	Свободное поле. Высота микрофона = 1м	53,3	66,6	88,7	95,1	88,8	81,9	91,3	88,5	81,1	95,7
		54,4	66,8	88,4	95,0	88,6	82,0	91,3	88,4	80,9	95,7
		59,2	66,6	88,4	94,8	88,7	81,7	91,1	88,4	80,9	95,6
№ измерения	Тип измерения	Микрофон №6 3м от АЭ									
		1/1 октавы, Лэкв, 31.5, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 63.0, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 125, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 250, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 500, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 1.0к, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 2.0к, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 4.0к, Канал Y	1/1 октавы, Лэкв, 8.0к, Канал Y	УЗ
Измерение 1	АЭ 1м х 1м Левая сторона + Правая сторона высота микрофона = 0,5м	54,7	65,8	86,9	91,9	81,9	78,2	71,2	68,9	59,5	85,9
		56,8	65,5	86,8	91,8	81,6	78,1	71,2	69,0	60,2	85,8
		55,1	65,5	87,0	91,9	81,8	78,1	71,2	69,1	59,8	85,9
Измерение 2	АЭ 1м х 1м Левая сторона высота микрофона = 0,5м	55,8	65,9	87,3	92,1	82,6	78,1	70,9	67,1	63,6	86,2
		55,2	65,3	87,5	92,3	82,9	78,2	70,9	67,3	63,6	86,3

		56,3	65,2	87,4	92,1	82,7	78,1	71,0	67,3	63,6	86,2
Измерение 3	АЭ 1м х 1м Прямой экран высота микрофона = 0,5м	55,3	65,3	88,7	93,2	83,9	78,3	70,3	68,1	62,5	87,1
		54,5	65,4	88,4	93,1	83,9	78,0	70,2	68,2	62,7	87,0
		53,3	64,8	88,8	93,1	83,5	77,7	70,1	68,1	62,7	86,9
Измерение 4	Свободное поле. Высота микрофона = 0,5м	52,2	64,3	86,6	93,9	89,7	85,4	80,6	77,6	77,3	91,5
		50,2	64,8	85,3	93,6	89,3	84,8	80,8	77,6	78,1	91,2
		53,7	64,3	86,0	93,4	89,2	85,0	80,5	77,4	77,6	91,1
Измерение 5	АЭ 1м х 1м Полукапот высота микрофона = 0,5м	55,1	65,6	86,7	91,2	82,3	75,1	71,0	67,2	61,6	85,2
		53,5	64,8	86,2	91,0	81,8	75,0	71,2	67,1	62,5	85,0
		52,7	65,0	85,9	90,6	81,8	74,8	71,0	67,2	62,1	84,7
Измерение 6	АЭ 1м х 1м Полукапот с ЗПM обшивкой (Полностью внешняя) высота микрофона = 0,5м	54,0	65,7	86,7	90,9	82,0	74,5	69,7	64,9	61,6	84,8
		55,5	65,4	86,2	90,8	81,8	74,1	69,6	65,3	62,1	84,6
		55,7	65,2	86,3	90,6	81,4	75,0	71,1	64,6	60,2	84,6

Измерение 7	АЭ 1,5м х 1,5м Прямой экран высота микрофона = 0,75м	53,3	65,2	85,0	87,9	75,0	73,1	73,1	70,2	64,8	82,3
		54,6	64,7	84,4	87,8	74,6	73,1	72,8	70,0	64,4	82,1
		55,9	65,6	84,5	87,8	74,9	73,0	73,4	70,0	65,2	82,3
Измерение 8	АЭ 1,5м х 1,5м Правая сторона высота микрофона = 0,75м	54,1	65,8	83,6	86,8	73,8	74,0	72,7	71,7	64,4	81,8
		55,5	65,7	83,8	86,8	73,7	73,8	72,3	71,1	64,2	81,7
		55,1	65,8	83,6	87,1	73,7	73,6	72,2	70,4	63,5	81,7
Измерение 9	АЭ 1,5м х 1,5м Левая сторона + Правая сторона высота микрофона = 0,75м	52,9	65,0	82,9	85,5	72,1	73,4	75,9	69,5	64,5	81,7
		52,2	65,2	83,0	85,5	71,7	73,1	75,7	69,5	64,2	81,6
		51,0	64,5	82,3	85,4	71,6	73,2	75,7	69,4	64,2	81,5
Измерение 10	АЭ 1,5м х 1,5м Полукапот высота микрофона = 0,75м	54,9	64,4	82,7	85,9	72,4	70,1	73,1	68,4	62,5	80,6
		54,4	64,5	82,3	85,6	72,5	70,0	73,0	68,6	62,6	80,4
		52,7	64,4	81,9	85,7	72,7	70,2	73,0	68,6	62,9	80,4
Измерение 11	АЭ 1,5м х 1,5м Полукапот с ЗПМ	55,8	65,2	81,8	85,5	72,1	69,1	72,3	67,9	62,4	80,0

	обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 0,75м	56,4	64,5	82,3	85,5	71,8	69,0	72,2	68,0	62,2	80,0
		55,7	64,3	81,9	85,3	71,6	68,9	72,2	68,0	62,0	79,8
Измерение 12	АЭ 1,5м х 1,5м Прямой экран с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 0,75м	59,2	67,2	84,1	87,8	75,5	73,2	73,5	70,3	66,1	82,4
		58,2	68,2	83,9	87,6	75,4	72,8	73,2	69,7	65,0	82,1
		56,9	67,2	83,8	87,6	75,3	72,7	73,0	69,7	65,3	82,1
Измерение 13	Свободное поле. Высота микрофона = 0,75м	54,9	65,0	86,7	93,9	89,1	82,6	83,5	85,4	79,3	92,3
		53,9	64,4	86,3	93,7	88,9	82,3	83,4	85,2	79,3	92,2
		53,3	63,8	86,5	93,7	88,6	82,3	83,4	85,3	79,4	92,1
Измерение 14	АЭ 2м х 2м Прямой экран высота микрофона = 1м	54,8	64,6	81,2	85,1	78,1	68,7	74,1	70,1	62,3	81,3
		57,0	65,9	81,2	84,8	77,8	69,0	74,0	70,0	62,6	81,1
		55,6	65,0	81,5	85,1	77,9	69,2	74,0	70,1	62,8	81,2
Измерение 15	АЭ 2м х 2м Правая сторона высота микрофона = 1м	54,9	65,1	80,9	83,3	77,1	68,4	72,0	67,2	60,0	79,7
		57,2	67,4	80,2	82,9	76,9	67,9	71,9	67,3	59,6	79,4

		56,1	64,5	80,8	83,1	76,9	67,9	72,0	67,5	60,0	79,5
Измерение 16	АЭ 2м х 2м Правая сторона + Левая сторона высота микрофона = 1м	56,7	62,6	79,9	82,7	74,8	67,7	72,4	65,7	59,7	78,8
		55,0	63,2	79,7	82,5	74,7	67,6	72,1	65,6	59,7	78,7
		56,5	63,2	79,7	82,2	74,8	67,6	72,0	66,2	60,0	78,6
Измерение 17	АЭ 2м х 2м Полукапот высота микрофона = 1м	57,4	63,6	79,4	81,2	74,7	67,6	70,8	66,9	60,1	78,0
		57,6	63,8	79,4	81,3	74,3	67,2	70,6	66,8	60,1	77,8
		57,9	63,4	79,2	81,3	74,5	67,3	70,8	66,4	59,3	77,9
Измерение 18	АЭ 2м х 2м Полукапот с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 1м	52,6	62,1	78,8	80,5	74,3	68,6	68,1	64,2	59,0	77,0
		54,2	62,2	78,8	80,4	74,2	68,3	67,9	64,3	58,9	76,8
		53,9	63,0	78,6	80,3	74,2	68,2	68,1	64,6	58,4	76,9
Измерение 19	АЭ 2м х 2м Прямой экран с ЗПМ обшивкой (Лицевая сторона) высота микрофона = 1м	52,6	64,8	81,5	84,5	77,8	70,0	72,2	69,8	62,7	80,7
		54,7	64,4	81,3	84,4	77,5	69,4	71,3	68,8	62,5	80,2
		55,4	64,5	80,7	84,5	77,2	69,5	71,2	68,9	62,7	80,2

Измерение 20	Свободное поле. Высота микрофона = 1м	53,0	64,7	86,6	93,2	86,9	81,5	85,1	84,9	77,0	91,8
		54,6	65,5	86,3	93,1	86,7	81,6	85,0	84,8	77,2	91,7
		58,4	64,7	86,3	93,0	86,8	81,4	84,8	84,9	77,1	91,7

Приложение Б. Данные испытаний АЭ в опытном помещении.

	Микрофон 1, 0,5 м									
	31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	УЗ, дБА
Экран 1 метр, микрофоны 0,5 метра, ЗПМ 20 кв.м., а 0,2	47,9	79	99,7	101,8	93,6	92,8	94,1	91,9	86,2	100,41
	48,4	78,3	100	102	93,3	92,4	94	91,8	86,1	100,30
	47,6	78,8	99,4	102	93,3	92,5	94	91,8	86	100,31
Экран 1,5 метра, микрофны 0,75 м, ЗПМ 20 кв.м. а 0,2	43,8	79,2	96,6	102	93,1	91,7	92,7	90,7	84,9	99,51
	42,3	78,9	96,4	102	93,2	91,4	92,5	90,7	84,8	99,41
	41,4	79,1	96,2	101,7	93,2	91,4	92,4	90,7	84,9	99,31
Экран 2,0 метра, микрофоны 1,0 м, ЗПМ 20 кв.м. а 0,2	39,2	79	95,7	101,2	94,4	92,2	92,9	90,5	85,7	99,62
	38,9	78,3	95,9	100,9	94	92,1	92,6	90,5	85,7	99,40
	40,1	78	95,8	101,1	94,1	92,1	92,6	90,6	85,8	99,48
Экран 1,0 метра, микрофоны 0,5 м, ЗПМ 37,4 кв.м.а 0,33	47,4	78,8	99,1	100,3	91,6	90,7	92,1	90	84,8	98,56
	48	78,7	99,2	100,3	91,4	90,5	92	89,9	84,7	98,46
	47,8	78,2	99,1	100,2	91,2	90,5	91,9	90,1	84,8	98,43
Экран 1,5 метра, микрофоны 0,75 м, ЗПМ 37,4 кв.м.а 0,33	45,1	78	95,9	101	91,6	89,1	90,9	89,7	83,6	98,00
	44,2	78,3	96	100,9	91,7	89	90,7	89,6	83,7	97,91
	43,8	77,9	95,5	100,7	91,7	89	90,8	89,6	83,7	97,87

Экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ 37,4 кв.м., а 0,33	42,3	77,3	95,2	100,6	92,6	90,3	90,7	89,5	83,2	98,09
	43,4	77,6	95,4	100,7	92,6	90,5	90,7	89,4	83,4	98,14
	47	77,3	95,7	100,1	92,5	90,5	90,6	89,4	83,3	97,96
Экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ кв.м., а 0,42.	41,5	74,3	87,3	93	86,2	85	85	83,7	79,6	92,01
	40	74,3	87	92,6	85,9	85	85	83,6	79,4	91,87
	40,7	74,4	87	92,9	86	84,9	84,9	83,6	79,4	91,89
экран 1,5, высота микрофонов 0,75 м, ЗПМ кв.м. , а 0,42	44,5	74,7	90,8	95,3	88,3	86,3	87,2	85,7	80,7	93,98
	45,4	74,8	91,1	95,1	87,9	86,3	87,1	85,7	80,7	93,87
	45	74,6	91,2	95,4	88,2	86,1	87	85,6	80,7	93,88
экран 1,0, высота микрофонов 0,5 м, ЗПМ кв.м. , а 0,42	47,9	74,9	95,4	99,4	89,2	87	88,4	86,9	81,9	95,84
	47,9	75,2	95,4	99,4	89	86,7	88,2	86,8	81,9	95,72
	48	74,9	95,4	99,1	88,8	86,8	88,3	86,8	82	95,64
экран 1,0, высота микрофонов 0,5 м, ЗПМ кв.м. , а 0,5	47,3	75,3	95,3	97,2	88,3	86,5	86,7	85,3	79,9	94,31
	47,9	74,3	94,8	97,1	88,1	86,2	86,5	85	79,7	94,09
	48	74,5	94,8	96,9	88,1	86,3	86,4	85	79,7	94,03
экран 1,5 м, высота микрофонов 0,75 м, а 0,5	45,4	74,4	90,4	93,6	84,7	84,7	84,8	83,2	79,6	91,79
	44,3	74,3	90,5	93,5	84,6	84,6	84,8	83,1	79,4	91,72
	45,8	74,4	90,4	93,3	84,6	84,6	84,8	83,2	79,4	91,69
экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, а 0,5	42	74,9	85,7	91	84	83,1	84,5	82,5	80,3	90,74

	41,7	74,4	85,6	91	83,9	83	84,3	82,4	80,2	90,62
	41,7	74,8	85,3	91,3	83,7	82,8	84,1	82,3	80,2	90,54
Экран 2,0 м х 4,0, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ кв.м., а 0,42	41,3	73,6	88,3	91,6	84	84	84,2	83	78,4	90,93
	41,3	73,9	88,4	91,8	84	84,1	84,2	82,9	78,5	90,97
	41,4	73,4	88,7	91,7	83,8	83,9	84,2	82,9	78,3	90,89
	Микрофон 2, 1м									
	31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	УЗ, дБА
Экран 1 метр, микрофоны 0,5 метра, ЗПМ 20 кв.м., а 0,2	45,9	79,5	98,3	102,4	94,4	94	93,7	91,2	86,8	100,61
	46,1	78,8	98,3	102,3	94,1	93,8	93,4	91,2	86,6	100,43
	45,5	79,4	97,8	102,6	94,1	93,7	93,5	91,2	86,6	100,49
Экран 1,5 метра, микрофны 0,75 м, ЗПМ 20 кв.м. а 0,2	42,3	78,8	95,5	102,1	92,8	92,7	93,2	91,6	87,2	100,04
	40,4	78,4	95,5	101,9	92,7	92,6	93	91,6	87,3	99,91
	40,3	78,7	95,4	102,1	92,9	92,5	93	91,6	87,3	99,96
Экран 2,0 метра, микрофоны 1,0 м, ЗПМ 20 кв.м. а 0,2	38,6	77,3	95,8	101,2	93,3	94,1	92,8	91,3	86,5	100,03
	38,4	76,8	96	100,9	93	93,9	92,5	91,2	86,4	99,80
	39,5	76,6	95,9	101,3	92,8	93,9	92,5	91,2	86,6	99,86
Экран 1,0 метра, микрофоны 0,5 м, ЗПМ 37,4 кв.м.а 0,33	45,2	79,1	96,8	100,1	92,1	90,8	91,4	89,3	85,2	98,23
	44,8	78,9	97,2	100,3	91,9	90,7	91,3	89,2	85,4	98,21
	45,5	78,4	96,9	100	91,7	90,6	91,3	89,3	85,4	98,11

Экран 1,5 метра, микрофоны 0,75 м, ЗПМ 37,4 кв.м.а 0,33	42,5	77,6	94,9	100,8	90,8	90,4	91,2	89,2	84,8	98,08
	42	77,8	95,2	100,8	91	90,3	90,9	89	84,8	97,97
	41,8	77,4	94,6	100,6	91	90,3	91	89	84,8	97,94
Экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ 37,4 кв.м., а 0,33	41	76,4	95,5	100,4	92,1	90,9	91,3	89,4	85,1	98,28
	41,6	76,8	95,6	100,6	92	91	91,2	89,4	85,2	98,31
	45,2	76,3	96	100,2	92	91,1	91,2	89,4	85,2	98,25
Экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ кв.м., а 0,42.	41,4	73,2	88,3	92,1	86,1	86	85,3	84,3	80,8	92,34
	40,4	73,1	87,8	91,8	86	86,2	85,3	84,1	80,7	92,29
	40,4	73,2	88	92,2	86	86	85,1	84,1	80,8	92,24
экран 1,5, высота микрофонов 0,75 м, ЗПМ кв.м. , а 0,42	43,7	73,9	89,5	95,2	87,4	87,3	86,6	85,6	81,6	93,89
	44,5	74,2	89,6	94,9	87,2	87	86,5	85,4	81,6	93,69
	44,2	74,1	90,1	95,3	87,2	86,9	86,5	85,3	81,5	93,73
экран 1,0, высота микрофонов 0,5 м, ЗПМ кв.м. , а 0,42	46,5	74,7	92,7	97,9	89,6	88,4	88,1	85,7	82,9	95,44
	46,5	74,8	92,8	98	89,4	88,2	87,9	85,5	82,8	95,32
	46,7	74,5	92,8	97,6	89,2	88,3	87,9	85,4	82,7	95,20
экран 1,0, высота микрофонов 0,5 м, ЗПМ кв.м. , а 0,5	46,1	74,6	93,7	96,1	88,9	87,3	87,1	85,2	80,6	94,33
	46,6	73,6	93,2	96	88,6	86,9	87	85,1	80,7	94,14
	46,8	73,8	93,1	95,7	88,6	87	87	85	80,6	94,08
экран 1,5 м, высота микрофонов 0,75 м, а 0,5	44,5	73,2	89,2	94,4	85,3	84,6	84,9	84,7	81,3	92,39

	43	73,2	89	94,5	85,3	84,6	84,9	84,7	81,3	92,41
	44,9	73,5	89,1	94,2	85,3	84,7	85	84,6	81,3	92,37
экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, а 0,5	41,4	73,3	86,8	91,5	85	84,7	85,1	82,9	81,1	91,54
	41,2	73	86,7	91,4	84,7	84,4	84,7	82,7	80,9	91,26
	42	73,2	86,4	91,7	84,6	84,4	84,7	82,6	80,9	91,28
Экран 2,0 м х 4,0, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ кв.м., а 0,42	42,6	72	87,3	90,9	85	85,4	84,5	83,4	80,7	91,52
	42,2	72,4	87,3	91,2	84,8	85,3	84,5	83,2	80,8	91,48
	42,3	71,8	87,8	91,2	84,7	85,2	84,4	83,1	80,8	91,41
	Микрофон 3, 1,5м									
	31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	УЗ, дБА
Экран 1 метр, микрофоны 0,5 метра, ЗПМ 20 кв.м., а 0,2	49,6	80,3	95	101,1	92,9	92,9	93,1	91,7	86,5	99,84
	48,9	79,7	95,3	101,2	92,6	92,5	92,9	91,6	86,3	99,67
	47,4	80,1	95	101,4	92,6	92,6	92,9	91,7	86,3	99,75
Экран 1,5 метра, микрофны 0,75 м, ЗПМ 20 кв.м. а 0,2	46,4	78,3	92,4	100,4	92,4	92,8	93,3	91,7	87,8	99,75
	42,9	77,9	92,3	100,3	92,4	92,7	93,1	91,7	87,8	99,65
	42,1	78,1	92,3	100,2	92,5	92,6	92,9	91,8	87,7	99,59
Экран 2,0 метра, микрофоны 1,0 м, ЗПМ 20 кв.м. а 0,2	42,4	75,6	93,3	99,8	92,3	92,9	92,3	91,1	86,5	99,21
	41,7	75,2	93,7	99,9	92,1	92,6	92	91,1	86,6	99,07
	42,8	75,1	93,4	100,2	92,1	92,6	92	91,1	86,6	99,12

Экран 1,0 метра, микрофоны 0,5 м, ЗПМ 37,4 кв.м.а 0,33	46	79,7	94,9	99,4	91,1	91,4	90,9	91	85,1	98,28
	46,7	79,6	95,2	99,5	91	91,3	90,9	90,9	85,1	98,25
	46,8	79,4	94,9	99,4	90,8	91,3	90,9	91	85,2	98,24
Экран 1,5 метра, микрофоны 0,75 м, ЗПМ 37,4 кв.м.а 0,33	47,5	77,1	91,7	98,4	89,9	91	91	89,1	84,7	97,51
	44,3	77,3	91,8	98,4	90	90,8	90,8	88,9	84,7	97,38
	44,4	77,2	91,4	98,2	89,7	90,9	90,8	88,9	84,7	97,34
Экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ 37,4 кв.м., а 0,33	44,7	75,2	93,8	98,6	91	89,6	90,9	89,1	85,5	97,40
	45,1	75,6	93,9	98,2	90,8	89,7	90,9	89,1	85,5	97,33
	47,5	74,9	94,2	98,4	90,7	89,7	90,9	89,1	85,3	97,34
Экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ кв.м., а 0,42.	43,9	71,2	88,8	93	86	85,6	86,4	83,3	81,4	92,55
	43,8	70,8	88,5	92,6	85,8	85,6	86,4	83,2	81,5	92,46
	42,7	71,1	88,5	92,9	85,8	85,6	86,3	83,3	81,6	92,49
экран 1,5, высота микрофонов 0,75 м, ЗПМ кв.м. , а 0,42	44,6	72,8	87,6	93,9	85,7	86,4	85,9	83,3	83	92,80
	47	73,2	87,6	93,5	85,4	86,1	85,8	83,2	83	92,59
	45,1	73,3	87,9	93,9	85,5	86,1	85,7	83,1	83	92,63
экран 1,0, высота микрофонов 0,5 м, ЗПМ кв.м. , а 0,42	46,5	74,7	90,9	95,9	89,2	87,5	87,2	85,4	83,2	94,50
	46,3	74,6	90,8	96	89,1	87,2	86,9	85,3	83,1	94,35
	46,5	74,3	91	95,7	88,8	87,2	87	85,2	83,1	94,26
экран 1,0, высота микрофонов 0,5 м, ЗПМ кв.м. ,	46	73,8	91	94,2	86,8	85,3	85,6	85,7	81,5	93,05

а 0,5	46,5	72,9	90,4	94,1	86,5	85	85,4	85,5	81,3	92,83
	46,6	73,3	90,5	93,9	86,4	85	85,4	85,5	81,2	92,78
экран 1,5 м, высота микрофонов 0,75 м, а 0,5	45,1	71,8	87,1	92,3	82,5	85,4	84,1	83,3	81,2	91,43
	44,5	71,7	87,2	92,5	82,5	85,5	84	83,3	81,2	91,46
	45,3	72,2	87,2	92,1	82,4	85,4	84,1	83,2	81,2	91,37
экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, а 0,5	43,5	70,5	88,2	87,8	84,8	83	83,6	83,5	81,2	90,53
	43,8	70,6	87,9	87,5	84,6	82,8	83,3	83,4	81,1	90,33
	45,5	70,5	87,6	87,7	84,5	82,6	83,4	83,4	81,2	90,33
Экран 2,0 м х 4,0, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ кв.м., а 0,42	44,4	69,4	86,4	91,2	83,8	85,2	85,8	82,7	81,4	91,71
	43,7	69,8	86,4	91,5	83,6	85	85,7	82,6	81,5	91,64
	43,7	69,3	87	91,5	83,6	85	85,7	82,7	81,6	91,67
	Микрофон 5, 3м									
	31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	УЗ, дБА
Экран 1 метр, микрофоны 0,5 метра, ЗПМ 20 кв.м., а 0,2	56,7	81,5	95,4	98,2	91,2	91,7	92,2	90,2	84,9	98,4
	57,2	81,4	94,8	98,3	91,0	91,5	92,1	90,1	84,7	98,2
	55,2	80,7	94,6	98,2	91,0	91,5	92,1	90,2	84,9	98,3
Экран 1,5 метра, микрофны 0,75 м, ЗПМ 20 кв.м. а 0,2	54,9	80,4	93,3	100,7	93,3	91,3	92,6	90,1	84,4	99,0
	51,0	80,2	93,2	100,5	93,1	91,0	92,7	90,2	84,4	98,9
	49,9	80,5	93,4	100,7	93,4	91,1	92,5	90,2	84,5	98,9

Экран 2,0 метра, микрофоны 1,0 м, ЗПМ 20 кв.м. а 0,2	51,3	79,9	93,6	98,7	92,7	91,9	92,9	90,3	84,5	98,8
	50,1	78,6	93,2	98,7	92,4	91,8	92,9	90,3	84,5	98,8
	50,8	78,8	93,4	98,9	92,3	91,7	92,7	90,2	84,7	98,7
Экран 1,0 метра, микрофоны 0,5 м, ЗПМ 37,4 кв.м.а 0,33	54,6	80,4	92,1	94,3	89,1	89,9	90,9	88,6	84,1	96,5
	53,7	80,8	92,5	94,5	88,9	89,9	90,8	88,6	84,0	96,5
	53,8	80,6	92,2	94,4	88,9	89,9	90,8	88,6	84,2	96,5
Экран 1,5 метра, микрофоны 0,75 м, ЗПМ 37,4 кв.м.а 0,33	56,4	78,9	91,9	98,5	89,4	90,0	91,0	88,5	84,0	97,1
	51,8	79,3	92,1	98,4	89,4	89,9	90,9	88,4	84,1	97,1
	52,4	79,5	91,8	98,4	89,3	90,0	90,9	88,4	84,0	97,1
Экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ 37,4 кв.м., а 0,33	54,6	78,3	93,1	98,6	90,9	88,5	90,3	88,1	83,6	96,8
	54,1	78,6	93,4	98,6	90,9	88,6	90,3	88,1	83,5	96,8
	55,8	78,0	93,7	98,6	90,7	88,5	90,3	88,1	83,6	96,7
Экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ кв.м., а 0,42.	51,0	74,4	91,9	95,3	84,3	83,8	84,0	82,2	80,7	91,8
	51,5	74,8	91,6	94,8	84,2	83,8	83,9	82,1	81,0	91,6
	49,9	74,2	91,6	95,1	84,1	83,7	83,9	82,1	81,0	91,7
экран 1,5, высота микрофонов 0,75 м, ЗПМ кв.м. , а 0,42	50,7	75,1	90,8	94,7	85,4	85,4	84,6	85,3	81,2	92,7
	52,7	75,4	90,9	95,0	85,1	85,3	84,4	85,3	80,8	92,7
	52,0	75,0	91,2	94,6	85,3	85,3	84,5	85,3	80,8	92,6
экран 1,0, высота микрофонов 0,5 м, ЗПМ кв.м. ,	51,4	76,3	90,0	94,1	86,8	86,3	84,9	86,4	80,0	93,2

а 0,42	51,1	76,5	90,0	93,9	86,7	86,0	84,6	86,4	79,9	93,0
	50,7	76,0	90,1	93,9	86,5	86,1	84,7	86,4	79,9	93,0
экран 1,0, высота микрофонов 0,5 м, ЗПМ кв.м. , а 0,5	50,4	75,2	88,9	92,6	84,6	85,0	83,9	84,6	80,4	91,7
	51,1	75,2	88,8	92,6	84,4	84,7	83,8	84,6	80,3	91,7
	50,7	75,0	88,6	92,5	84,4	84,8	83,7	84,7	80,3	91,6
экран 1,5 м, высота микрофонов 0,75 м, а 0,5	50,4	74,3	90,3	92,4	83,7	83,2	82,9	84,0	79,1	90,9
	51,9	73,7	90,6	92,5	83,7	83,3	82,9	83,9	79,0	90,9
	50,7	74,3	90,6	92,5	83,6	83,2	82,9	84,0	79,0	90,9
экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, а 0,5	50,7	72,8	90,8	91,9	81,9	80,5	82,7	80,0	78,3	89,3
	51,4	73,5	90,6	92,0	81,8	80,3	82,5	79,8	78,3	89,2
	53,0	73,1	90,3	92,1	81,7	80,3	82,4	79,8	78,6	89,2
Экран 2,0 м х 4,0, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ кв.м., а 0,42	51,3	74,8	82,2	93,3	83,6	81,8	83,3	81,1	76,1	90,2
	51,6	74,2	82,7	93,4	83,3	81,8	83,3	80,9	76,3	90,1
	51,3	74,1	82,9	93,5	83,3	81,7	83,4	80,9	76,3	90,2
	Микрофон 5, 3м									
	31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	УЗ, дБА
Экран 1 метр, микрофоны 0,5 метра, ЗПМ 20 кв.м., а 0,2	56,68	81,45	95,37	98,2	91,16	91,66	92,24	90,18	84,86	98,35
	57,21	81,37	94,8	98,27	91	91,48	92,09	90,14	84,67	98,24
	55,21	80,69	94,62	98,17	91,03	91,48	92,14	90,16	84,9	98,26

Экран 1,5 метра, микрофоны 0,75 м, ЗПМ 20 кв.м. а 0,2	54,9	80,38	93,3	100,74	93,34	91,29	92,63	90,14	84,44	99,03
	50,96	80,17	93,21	100,54	93,11	91	92,66	90,2	84,43	98,93
	49,92	80,53	93,35	100,7	93,36	91,09	92,47	90,15	84,5	98,95
Экран 2,0 метра, микрофоны 1,0 м, ЗПМ 20 кв.м. а 0,2	51,3	79,85	93,56	98,72	92,72	91,89	92,86	90,26	84,46	98,82
	50,1	78,55	93,15	98,71	92,43	91,82	92,86	90,33	84,49	98,78
	50,84	78,75	93,44	98,91	92,25	91,72	92,66	90,21	84,69	98,69
Экран 1,0 метра, микрофоны 0,5 м, ЗПМ 37,4 кв.м.а 0,33	54,57	80,39	92,08	94,31	89,06	89,93	90,87	88,59	84,14	96,54
	53,67	80,77	92,46	94,49	88,9	89,87	90,79	88,55	84,04	96,49
	53,81	80,61	92,15	94,39	88,91	89,86	90,84	88,57	84,16	96,50
Экран 1,5 метра, микрофоны 0,75 м, ЗПМ 37,4 кв.м.а 0,33	56,38	78,91	91,93	98,54	89,41	89,96	91,02	88,49	83,98	97,15
	51,84	79,3	92,14	98,38	89,44	89,91	90,85	88,44	84,1	97,05
	52,35	79,45	91,78	98,43	89,3	89,98	90,88	88,44	84,02	97,07
Экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ 37,4 кв.м., а 0,33	54,61	78,29	93,13	98,58	90,85	88,53	90,3	88,14	83,56	96,77
	54,07	78,55	93,43	98,55	90,86	88,55	90,34	88,13	83,54	96,78
	55,81	77,96	93,65	98,57	90,73	88,54	90,29	88,06	83,57	96,74
Экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ кв.м., а 0,42.	50,95	74,44	91,85	95,34	84,28	83,82	84	82,18	80,71	91,79
	51,52	74,79	91,62	94,8	84,16	83,77	83,93	82,14	80,98	91,60
	49,9	74,22	91,64	95,05	84,11	83,67	83,94	82,13	80,95	91,65
экран 1,5, высота микрофонов 0,75 м, ЗПМ кв.м. ,	50,66	75,11	90,82	94,74	85,43	85,39	84,6	85,34	81,16	92,71

а 0,42	52,66	75,35	90,94	95,02	85,1	85,29	84,39	85,34	80,83	92,67
	52,03	75,02	91,18	94,57	85,27	85,26	84,49	85,29	80,75	92,58
экран 1,0, высота микрофонов 0,5 м, ЗПМ кв.м. , а 0,42	51,4	76,25	90	94,13	86,77	86,27	84,85	86,42	80,04	93,15
	51,08	76,47	90,02	93,94	86,7	85,98	84,58	86,39	79,93	92,99
	50,67	76,01	90,11	93,88	86,47	86,07	84,71	86,39	79,86	92,99
экран 1,0, высота микрофонов 0,5 м, ЗПМ кв.м. , а 0,5	50,41	75,15	88,87	92,63	84,64	84,98	83,86	84,55	80,36	91,73
	51,09	75,22	88,79	92,55	84,43	84,73	83,84	84,64	80,29	91,66
	50,73	75,04	88,59	92,49	84,4	84,77	83,67	84,68	80,27	91,63
экран 1,5 м, высота микрофонов 0,75 м, а 0,5	50,42	74,28	90,32	92,39	83,74	83,22	82,86	83,95	79,07	90,86
	51,91	73,72	90,55	92,49	83,7	83,29	82,86	83,92	79,01	90,88
	50,71	74,32	90,59	92,47	83,57	83,22	82,89	83,97	78,95	90,87
экран 2,0 м, высота микрофонов 1,0 м, а 0,5	50,72	72,84	90,84	91,93	81,91	80,46	82,72	79,96	78,3	89,32
	51,39	73,48	90,59	92	81,78	80,34	82,5	79,75	78,32	89,21
	53,04	73,14	90,25	92,09	81,71	80,25	82,43	79,83	78,56	89,21
Экран 2,0 м х 4,0, высота микрофонов 1,0 м, ЗПМ кв.м., а 0,42	51,27	74,81	82,15	93,34	83,59	81,81	83,28	81,08	76,12	90,16
	51,63	74,19	82,67	93,41	83,33	81,8	83,3	80,91	76,34	90,14
	51,33	74,1	82,9	93,47	83,29	81,72	83,35	80,91	76,29	90,15

Приложение В. Акты внедрения

«УТВЕРЖДАЮ»
Ректор ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова
А.Е. Шашурин
«01» 09 2025 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

Комиссия в составе начальника учебного управления М.В. Прудниковой, и.о. декана факультета Е «Оружие и системы вооружения» Е.А. Знаменского и и.о. заведующего кафедрой Е5 «Экология и производственная безопасность» А.Ю. Олейникова составила настоящий акт о том, что материалы диссертационного исследования Кондратьева Сергея Алексеевича, старшего преподавателя кафедры «Экология и производственная безопасность» ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», внедрены и используются в учебном процессе для обучения студентов по направлению подготовки бакалавриата 20.03.01 «Техносферная безопасность».

Результаты исследований Кондратьева С.А. легли в основу ряда разделов лекций, а также нашли применение в практических работах по дисциплинам «Основы виброакустики» и «Разработка шумовиброзащитных мероприятий».

Проректор по образовательной
деятельности



А.В. Суслин

Начальник учебного управления



М.В. Прудникова

И.о. заведующего кафедрой Е5
«Экология и производственная
безопасность»



А.Ю. Олейников

Ст. преподаватель кафедры Е5
«Экология и производственная
безопасность»



С.А. Кондратьев

«УТВЕРЖДАЮ»



Ректор

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

А.В. Шашурин

«19» декабря 2025 г.

«УТВЕРЖДАЮ»



Генеральный директор

ООО «ОмегаТех»

В.С. Кирилкин

«19» декабря 2025 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Комиссия в составе представителей ООО «ОмегаТех» и БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова составила настоящий акт о том, что полученные материалы диссертационного исследования соискателя ученой степени кандидата технических наук Кондратьева Сергея Алексеевича, использованы при проведении мероприятий для снижения шума на рабочем месте слесаря механосборочных работ.

Использование результатов диссертационного исследования Кондратьева С.А. позволило определить ключевые акустические характеристики помещения (цех металлообработки), согласно выведенным в работе формулам разработать и установить технические средства (акустический экран, звукопоглощающие панели) и тем самым снизить шум на рабочем месте слесаря механосборочных работ до нормы.

Представители ООО «ОмегаТех»:

Заместитель генерального директора –
технический директор

Заместитель генерального по
коммерческим вопросам

Представители БГТУ «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова:

Д.т.н., доц., профессор кафедры Е5
«Техносферная безопасность и
вычислительная механика»–
Ст. преподаватель кафедры Е5
«Техносферная безопасность и
вычислительная механика»

А.А. Пимкин

Ф.А. Никоноров

Н.В. Тюрина

С.А. Кондратьев