

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

На правах рукописи

Дука Никита Евгеньевич



ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ
ЗАЩИТЫ РАБОТНИКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА

Специальность 2.10.3. Безопасность труда

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Рудаков М.Л.

Санкт-Петербург – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА ПО ШУМОВОМУ ФАКТОРУ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ РОССИИ ..	12
1.1 Краткая характеристика шумовой обстановки на рабочих местах при добыче полезных ископаемых в России	12
1.2 Анализ условий труда по шумовому фактору при добыче угля подземным способом.....	18
1.3 Состояние и развитие научных исследований в области методов и средств защиты от повышенного производственного шума при подземной добыче угля.....	27
1.4 Анализ методов измерений шума на рабочих местах	36
1.5 Выводы по первой главе.....	38
ГЛАВА 2 ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА РАБОЧИХ МЕСТАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ	39
2.1 Измерение уровня шума на рабочих местах в угольных шахтах.....	39
2.2 Частотные характеристики производственного шума основного горного оборудования	44
2.3 Анализ эффективности применяемых СИЗ органа слуха.....	48
2.4 Выводы по второй главе.....	53
ГЛАВА 3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА РАЗЛИЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ	55
3.1 Разработка математической модели звукопоглощения материалов.....	55
3.2 Обоснование выбора материалов для конструирования СИЗ органа слуха.....	58
3.3 Результаты математического моделирования коэффициента звукопоглощения для однослойных структур.....	63

3.4 Результаты математического моделирования звукопоглощения для многослойных структур.....	68
3.5 Верификация результатов моделирования.....	69
3.6 Выводы по третьей главе.....	73
ГЛАВА 4 КОНСТРУИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНА СЛУХА	75
4.1 Экспериментальное определение акустических параметров материалов, применяемых в конструкции СИЗ ОС	75
4.2 Конструирование СИЗ ОС с необходимыми защитными параметрами ...	83
4.3 Оценка экономической эффективности применения СИЗ ОС разработанной конструкции.....	89
4.4 Выводы по четвертой главе.....	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	95
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	97
ПРИЛОЖЕНИЕ А Патент на полезную модель.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акт об использовании результатов кандидатской диссертации	114

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Шум – это один из основных вредных факторов на производстве, воздействие которого приводит к развитию профессиональных заболеваний органа слуха. Воздействие производственного шума на здоровье работников в угольной промышленности проявляется особенно у проходчиков, горнорабочих очистных забоях и машинистов горных выемочных машин. В период с 2016 по 2022 год количество зарегистрированных случаев профессиональной заболеваемости органа слуха у работников угольной промышленности увеличилось в 6,4 раза. По данным Роспотребнадзора основные рабочие места в угольных шахтах России соответствуют классам условий труда по производственному шуму 3.2 и 3.3.

Основными источниками производственного шума являются горное оборудование и механизмы. Результатом воздействия повышенного непостоянного уровня шума является развитие профессионального заболевания – нейросенсорной тугоухости (НСТ) и изменение функционирования нервной и сердечно-сосудистой системы работников.

Радикальным способом защиты от производственного шума, также как и от других вредных и опасных факторов, является создание «умных шахт», которые предполагают добычу угля, основанную на интеллектуальных цифровых технологиях и датчиках контроля, исключающих присутствие работников. Несмотря на то, что в России в настоящее время внедряются отдельные элементы концепции «Умная шахта», они не приводят к полному исключению участия в добыче подземного персонала. В этой связи, одним из наиболее эффективных способов снижения уровней шума на рабочих местах следует считать снижение шума в источнике, связанного с изменением конструкции оборудования, а также применение средств коллективной и индивидуальной защиты органа слуха. В условиях подземной добыче угля использование малошумящих механизмов и оборудования ограничено их

техническими характеристиками. Способы защиты от производственного шума сводятся к применению противошумных наушников.

Очевидно, что каждое горное оборудование имеет различные акустические характеристики и, следовательно, при выборе параметров средств индивидуальной защиты органа слуха (СИЗ ОС) необходимо учитывать не только средний эквивалентный уровень звука на рабочем месте, а весь слышимый спектр звуковых частот, чтобы надежно защитить работников от повышенного уровня шума.

Таким образом, возникает объективная необходимость в частотном анализе непостоянного шума, излучаемого основными видами применяемого горного оборудования при подземной добыче угля, и на основании полученного анализа – обосновании и выборе параметров материалов для конструирования СИЗ ОС, обеспечивающих необходимую степень защиты работника.

Необходимость защиты основного подземного персонала угольных шахт от воздействия повышенного уровня шума предопределяет актуальность научных исследований в рамках данной диссертации.

Степень разработанности темы исследования

Вопросами изучения акустических свойств различных материалов и проблемами модернизации СИЗ ОС занимались такие отечественные ученые как: Алимов Н.П., Гешлин Л.А., Добровольский Г.Д., Должиков И.С., Дьяконова С.Н., Иванов Н.И., Куклин Д.А., Курьеров Н.Н., Находкин В.П., Никулин А.Н., Полторыхин С.Н., Резинков И. Г., Тюрина Н.В., Фаустов С.А., Флавицкий Ю.В., Форсюк А.А., Чеботарёва А.Г., Шерстов В.А., Шувалов Ю.В.

Среди зарубежных исследования следует отметить труды Ковачева Н., Azman A.S., Cliff D., Denn V., Griffiths D., Hillson D., Horberry T., Joy J., Kecojevic V., Komljenovic D., Lawson S. M., Masterson E. A., Nomfundo F. Moroe, O'Beirne T., Simon P., Simpson G., Tripathy D.

В данных исследованиях излагаются различные методы защиты от производственного шума, основанные на изучении источников шума и существующих СИЗ ОС. Авторами предлагается использовать композитные материалы с целью увеличения степени защиты от акустического воздействия, различные изменения конструкций противошумных наушников для обеспечения повышенного комфорта носителями, внедрение в защитные наушники модулей связи.

Однако, в работах авторов не уделено достаточно внимания исследованию частотных характеристик отдельных источников повышенного непостоянного шума в условиях подземной добыче угля. Следует также отметить недостаточность исследований, посвященных подбору и разработке материалов, способных снизить негативное влияние на орган слуха горнорабочих от горного оборудования на определенных частотах.

Таким образом, обоснование параметров средств индивидуальной защиты работников угольных шахт от воздействия непостоянного производственного шума с учетом частного анализа производственного шума является актуальной задачей.

Объект исследования – процесс акустического воздействия на работников, занятых в организациях, ведущих добычу полезных ископаемых подземным способом.

Предмет исследования – акустический спектр, воздействующий на работников; частотные характеристики СИЗ ОС.

Цель работы: повышение безопасности труда основных профессий подземного персонала угольных шахт по шумовому фактору.

Идея работы: для повышения безопасности труда подземного персонала угольных шахт по шумовому фактору при определении параметров конструкций средств индивидуальной защиты органа слуха от воздействия повышенного уровня шума необходимо учитывать частотные характеристики

шума основного горного оборудования угольных шахт и характеристики звукопоглощения материалов СИЗ в диапазоне слышимых частот.

Основные задачи исследования:

1. Анализ условий труда по шумовому фактору на рабочих местах подземного персонала угольных шахт и применяемых методов и СИЗ органа слуха.

2. Экспериментальный анализ частотных характеристик шума, излучаемого горным оборудованием.

3. Разработка математической модели звукопоглощения производственного шума различными материалами.

4. Экспериментальное исследование параметров звукопоглощающих материалов при защите органа слуха от повышенного шума в диапазонах средних и высоких частот.

5. Конструирование и экспериментальная апробация образца средства индивидуальной защиты органа слуха с необходимыми защитными свойствами.

6. Расчет экономической эффективности применения СИЗ ОС разработанной конструкции.

Научная новизна работы:

1. Определены частотные характеристики непостоянного шума, создаваемого основными видами современного горного оборудования на рабочих местах подземного персонала угольных шахт.

2. Определены коэффициенты звукопоглощения при использовании двухслойных конструкций вкладыша и акустическая эффективность разработанного средства индивидуальной защиты органа слуха.

Содержание диссертации **соответствует паспорту научной специальности 2.10.3. Безопасность труда по пункту:**

П.6. Разработка научных основ, установление области рационального применения и оптимизации способов, систем и средств коллективной и

индивидуальной защиты работников от воздействия вредных и опасных факторов.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Определены диапазоны частот непостоянного шума, создаваемого современным горным оборудованием, в которых превышаются предельно-допустимые уровни (ПДУ) на рабочих местах проходчика, горнорабочего очистного забоя, машиниста горно-выемочных машин, горнорабочего подземного, машиниста подземных установок в угольных шахтах.

2. Доказана целесообразность использования двухслойной конструкции вкладыша СИЗ ОС с необходимым коэффициентом звукопоглощения в среднем и высоком диапазонах частот.

3. Разработаны рекомендации по конструированию и рациональному применению СИЗ ОС для условий подземных горных работ, внедренные в ФГБНУ «НИИ медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова» (акт внедрения от 29.02.2024 г, Приложение Б).

4. Результаты диссертационной работы подтверждены патентом на полезную модель «Противошумные наушники» № RU226029U1 от 17.05.2024.

Работа выполнена в рамках государственного задания Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II № FSRW-2023-0002.

Методология и методы исследования

Теоретическими методами исследования являлись:

анализ литературных источников по вопросам воздействия промышленного шума на организм работников и вопросам обеспечения защиты от шума с применением СИЗ ОС в угледобывающей промышленности России и зарубежных стран;

статистическая обработка экспериментальных данных по условиям труда по шумовому фактору на угольных шахтах Кузбасса и ООО «ШУ Садкинское»;

математическое моделирование и численный анализ при расчете звукопоглощения пористых материалов, применяемых при конструировании СИЗ ОС;

оценка экономической эффективности внедрения СИЗ ОС разработанной конструкции.

Экспериментальными методами исследования являлись:

акустические измерения уровней звукового давления на рабочих местах горнорабочих;

измерение акустической эффективности звукопоглощения пористых материалов и сконструированных противошумных наушников на экспериментальном стенде.

Положения, выносимые на защиту:

1. Оценку шумовой нагрузки для подземного персонала угольных шахт следует проводить на основе частотных характеристик непостоянного шума, создаваемого на рабочих местах отдельными видами горного оборудования, во всех октавных полосах слышимого диапазона.

2. При выборе звукопоглощающих материалов для защиты органа слуха работников необходимо учитывать превышения ПДУ на рабочих местах в среднем и высоком диапазонах частот.

3. Коэффициент звукопоглощения СИЗ ОС, обеспечивающий соблюдение ПДУ во всем слышимом диапазоне частот, достигается применением СИЗ ОС с двухслойной конструкцией вкладыша, изготовленного из вспененного пенополиуретана и акустической мембраны.

Степень достоверности результатов исследования подтверждается использованием лицензионного программного обеспечения для проведения расчетов и математического моделирования; проведением измерений по утвержденным методикам с использованием поверенного измерительного оборудования, внесенного в государственный реестр средств измерений;

хорошей сходимостью данных теоретических и экспериментальных исследований.

Апробация результатов

Основные научные результаты исследования докладывались и обсуждались на XXX Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2022» (г. Москва, 2022 г.); VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Безопасность в строительстве» (г. Санкт-Петербург, 2022 г.); XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективны – 2023» (г. Красноярск, 2023 г.); IX Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса» (г. Донецк, 2023 г.).

Личный вклад автора заключается в анализе отечественной и зарубежной литературы по теме исследования, проведении анализа шумовой обстановки в организациях по подземной добыче угля России, (на примере АО «СУЭК-Кузбасс» и ООО «ШУ «Садкинское»); разработке математической модели для расчетов коэффициента звукопоглощения; проведении теоретических и экспериментальных исследований, в результате которых обоснованы параметры звукопоглощающих материалов для СИЗ ОС работников угольных шахт; изготовлении полезной модели и оценке ее акустической эффективности.

Публикации

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 5 печатных работах (пункты списка литературы № 32, 66 – 69), в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на полезную модель (Приложение А).

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения и библиографического списка, содержит 115 страниц машинописного текста, 27 рисунков, 21 таблицу, список литературы из 119 наименований и 2 приложения на 3 страницах.

Благодарности

Автор выражает искреннюю признательность за помощь при выполнении экспериментальных исследований кандидату биологических наук Курьерову Николаю Николаевичу, доктору технических наук, профессору Куклину Денису Александровичу, кафедре безопасности производств Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА ПО ШУМОВОМУ ФАКТОРУ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ РОССИИ

1.1 Краткая характеристика шумовой обстановки на рабочих местах при добыче полезных ископаемых в России

В настоящее время горнодобывающий сектор играет важную роль в экономическом развитии России, составляя примерно 20% от общего валового внутреннего продукта (ВВП) [29, 37]. По данным Роспотребнадзора, в 2022 году число впервые зарегистрированных профессиональных заболеваний достигло 3 530 человек, из них 1 728 человек, занятых в добычи полезных ископаемых [17]. На рисунке 1.1 представлено количество рабочих мест организаций по добыче полезных ископаемых, на которых идентифицированы вредные производственные факторы.

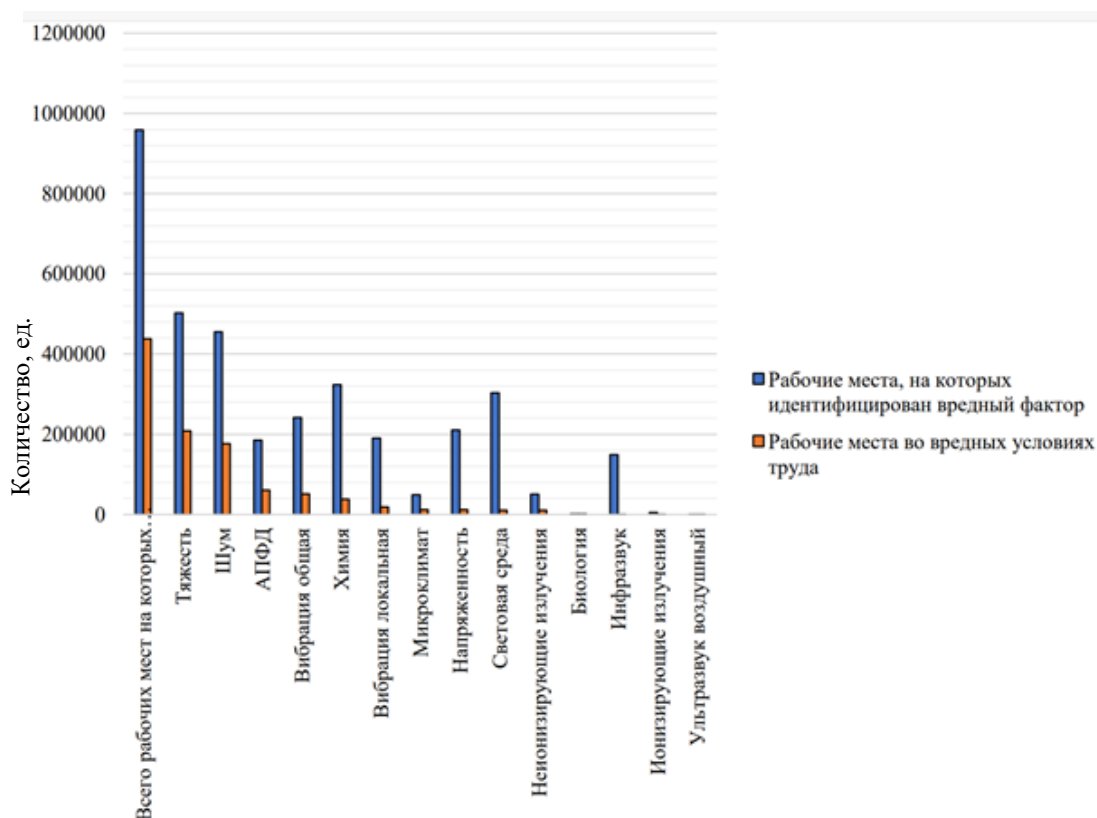


Рисунок 1.1 – Распределение вредных факторов на рабочих местах организаций, осуществляющих добычу полезных ископаемых

Из данных, представленных на рисунке 1.1 следует, что в 2022 году более чем на 430 000 рабочих мест был идентифицирован производственный шум и около 175 500 рабочих мест находятся во вредных условиях труда.

Технологический шум сопутствует каждой производственной операцией, в связи с чем является одним из наиболее распространённых вредных производственных факторов [80, 91]. В связи с этим особо важным вопросом является его нормирование и снижение.

Нормирование шума осуществляется по звуковым диапазонам в октавных полосах частот 31,5 - 8000 Гц. Однако существует шум, который выделяется из данного диапазона: инфразвуковой диапазон на частотах 2 – 16 Гц и ультразвуковой диапазон от 12,5 до 100 кГц [24, 75]. Производственный шум классифицируется как любой вид шума, зафиксированный на рабочем месте и интенсивность которого составляет 80 дБА и более в течение нормированной по времени рабочей смены при 40- часовой рабочей неделе [21].

Согласно Р 2.2.2006-05 Гигиена труда отнесение условий труда к категории должна осуществляться по данным, представленным в таблице 1.1 [63].

Таблица 1.1 - Градация классов условий труда в зависимости от уровней вредных факторов на рабочем месте (Р 2.2.2006-05 Гигиена труда) [63]

Название фактора, единица измерения	Класс условий труда					
	Допустимый	Вредный				Опасный
		2	3.1	3.2	3.3	
	Превышение ПДУ до . . . дБ					
Шум, эквивалентный уровень, дБА	≤ПДУ	5	15	25	35	>35
Инфразвук, общий уровень звукового давления, дБ/Лин	≤ПДУ	5	10	15	20	>20

Продолжение таблицы 1.1

Название фактора, единица измерения	Класс условий труда					
	Допустимый	Вредный				Опасный
		2	3.1	3.2	3.3	
	Превышение ПДУ до . . . дБ					
Ультразвук воздушный, уровни звукового давления в 1/3 октавных полосах частот, дБ	≤ПДУ	10	20	30	40	>40

Производственный шум характеризуется постоянным воздействием на работников горнодобывающей промышленности во время рабочей смены. Так как производственный шум характеризуется различными параметрами, такими как уровень звука, частотный состав, периодичность и импульсивность, то его воздействие на организм работника может вызывать различные негативные последствия. Отмечено, что длительное и регулярное воздействие данного фактора может привести к временному или постоянному повреждению слухового нерва, что в свою очередь, существенно оказывает влияние на социальную и трудовую жизнь горнорабочего [85]. Последствия воздействия повышенных уровней звука в основном выражаются в проявлении таких заболеваний, как тиннитус (звон в ушах), НСТ, артериальная гипертензия, нарушение сна, постоянные головные боли [23, 104].

Так, исследования, проведенные группой авторов (В. Чангом, К. Вангом, А.Ф. Аланиным, М.А. Галямовым и Е.Н. Абдракхмановой) подтверждают, что человек, подвергающийся постоянному воздействию повышенного уровня производственного шума, в среднем тратит на 10-20% больше физических и психических усилий для того, чтобы поддерживать свою работоспособность, в сравнении с достигнутой в условиях с уровнем звука ниже 70 дБА. Был

сделан вывод, что производственный шум напрямую стимулирует увеличение интенсивности общей заболеваемости рабочих в целом на 10–15% [90].

В научных исследованиях Г. Ж. Джоу, П. Ж. Миддендорфа, Ж. Вон дер Гольца и П. Барнвала представлена информация, доказывающая связь между воздействием производственного шума и полной потерей слуха [100, 118]. На основании проведенного ими анализа, было установлено, что продолжительное влияние высоких уровней шума в течение определенного периода времени постепенно вызывает необратимое повреждение внутреннего уха, и приводит к НСТ. Авторы отметили, что данному заболеванию подвержен целый ряд профессий горной отрасли: проходчики, машинисты горно-выемочного оборудования, горные операторы, горнорабочие очистного забоя. Стоит учитывать, что развитие патологии наиболее характерно для воздействия звука в высоком частотном диапазоне (от 3000 Гц до 6000 Гц) и продолжительное влияние сверхнормативного уровня звука приводит к прогрессированию заболевания [9, 101].

По данным медицинских наблюдений, помимо НСТ, повышенные уровни шума ведут к развитию патологии сердечно-сосудистой системы работников [78]. Таким образом, этот фактор воздействует на весь организм, вызывая, в частности, системные нарушения и недомогания в отдельных системах человека:

1. В системе кровообращения: изменения в капиллярах и сердечной мышце. Повышается кровяное давление, нарушения сердечного ритма, чаще всего учащенное сердцебиение, экстрасистолы, снижение сердечного выброса, сужение мелких кровеносных сосудов и снижение кровотока в тканях;

2. В крови: умеренная анемия, повышение скорости оседания эритроцитов;

3. Со стороны пищеварительного тракта: повышенная секреция желудочного сока, особенно часто при язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки;

4. Со стороны эндокринной системы: повышение функции надпочечников, усиление гипертиреоза, повышение обмена веществ;

5. Со стороны центральной нервной системы: повышение внутричерепного давления; возникновение патологических изменений на кривой электроэнцефалографии. Особого внимания заслуживают часто встречающиеся изменения в психике, такие как нарушение психического равновесия, выражающееся в усталости, раздражительности и спорах. Нередко постоянный производственный шум вызывает страх и тревогу, синдром дефицита внимания, нарушения или трудности с полноценным и спокойным отдыхом и сном;

6. Изменения в органе слуха: они могут быть функциональными, например, временное притупление слуха или его ограничение, например, потеря слуха и даже глухота.

Следовательно, шум вызывает снижение общей резистентности организма, иммунного статуса, что проявляется в повышении уровня общей заболеваемости горнорабочих [85].

Так, согласно данным Минтруда России за 2022 год, около 33% работников, занятых в горнодобывающей промышленности, подвержены вредному влиянию производственного шума (рисунок 1.2) [65]. Следует отметить, что воздействие данного фактора напрямую зависит от горно-геологических условий, эксплуатации высокопроизводительного горного оборудования и сложности добычных и проходческих работ.

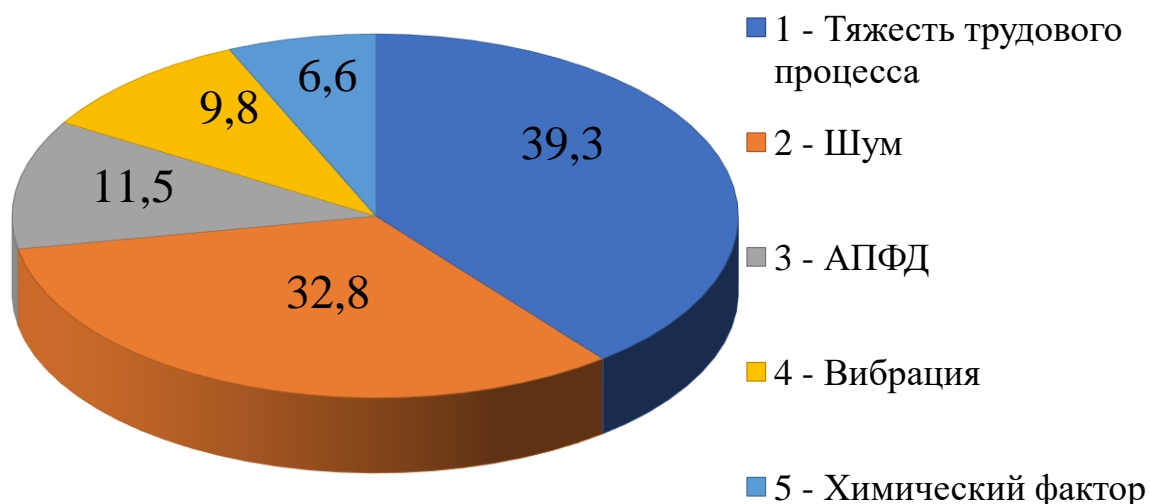


Рисунок 1.2 – Распределение вредных факторов на рабочих местах горнодобывающих предприятий, %

Из приведенных данных следует, что максимальное шумовое воздействие зафиксировано на рабочих местах следующих профессий: водитель горного транспорта, инженер, обслуживающий вентиляционный комплекс, горнорабочий очистного забоя, проходчик. Согласно результатам производственного контроля средний эквивалентный уровень (СЭУ) шума на данных рабочих местах составляет $102 \pm 4,1$ и $99 \pm 4,9$ дБА, что превышает установленный норматив в 80 дБА на $22 \pm 4,1$ и $19 \pm 4,9$ дБА соответственно [41, 106]. В условиях шахты максимальный предельно-допустимый уровень шума может превышать на 20 – 30 дБА [22]. Подвержены проявлению профессиональной заболеваемости горнорабочие, возраст которых составляет от 45 до 64 лет. Работники именно такого возраста доминируют на угольных производствах и более 40% данных работников обращаются с жалобами о проблемах со слухом [36, 65].

Профессиональные заболевания, которые характеризуются полной или частичной потерей слуха, составляют примерно пятую часть зарегистрированных случаев в горнодобывающем секторе [27, 108]. Таким образом, согласно прогнозам, предполагается, что 90 % горнорабочих будут страдать потерей слуха к 50 годам, при условии неизменности состояния

условий труда и контроля шумовой обстановки. Однако, результаты исследования и прогнозирования Национального института безопасности и гигиены труда (США) позволяют судить, что профессиональной НСТ возможно избежать, если в шахтах применять соответствующие меры безопасности для снижения повышенного уровня шума на рабочем месте (экранирование и дистанцирование), а в зонах, где воздействие сверхнормативного производственного шума невозможно контролировать или устранить, необходимо контролировать обязательное использование средств защиты органа слуха [115].

1.2 Анализ условий труда по шумовому фактору при добыче угля подземным способом

Одной из основополагающих отраслей горнодобывающего сектора является угольная промышленность. На сегодняшний день на территории Российской Федерации насчитывается 22 угольных бассейна и 129 отдельных месторождений. Отработка данного полезного ископаемого осуществляется 57 угольными шахтами и 130 разрезами [61, 106].

Объем добычи этого полезного ископаемого составляет 580 млн. т. в год, и более 30% угольных месторождений разрабатывается подземным способом [61]. Угольная промышленность традиционно считается одной из самых опасных отраслей с точки зрения профессиональных заболеваний и травматизма. Стоит отметить, что подземный способ ведения горных работ характеризуется постоянным воздействием на подземный персонал шахт ряда вредных производственных факторов, основными из которых являются повышенные уровни шума и вибрации на рабочем месте [55, 81].

Основная добыча угля в России приходится на Кузнецкий угольный бассейн. На рассматриваемой территории осуществляется добыча угля в размере 58% от всего добываемого угля в стране. Стоит отметить, что угольная промышленность занимает лидирующее положение по выявленным профессиональным заболеваниям у горнорабочих. Удельный вес в общем

количестве зафиксированных заболеваний составляет 80-85% по всем отраслям промышленности [61, 84].

По данным Роспотребнадзора за 2022 год более чем у 19% работников угольной промышленности выявлена шумовая болезнь [65].

В свою очередь, по данным Национального института безопасности и гигиены труда (NIOSH, США) потеря слуха из-за промышленного шума, а именно НСТ, является наиболее распространенным профессиональным заболеванием на угольных предприятиях в Соединенных Штатах. Произведенный анализ профессиональных заболеваний за 5 лет выявил 1349 шахтеров, у которых была установлена НСТ и тиннитус. Средний порог слышимости «здоровых» шахтеров, вышедших на пенсию, был на 20 дБ выше, чем у населения в целом [2, 113].

Подобная ситуация с шумовым воздействием наблюдается по всему миру в горнопромышленном комплексе [44, 103, 111]. Так, например, исследование на угольных шахтах ЮАР показало, что в среднем за год около 70% сотрудников подвергались воздействию уровня шума, превышающего установленный законодательством нормативный уровень воздействия в 85 дБА [94, 101, 109].

Согласно данным Центрального статистического управления Польши за 2018 год, среди всех производственных факторов наибольшей угрозой для здоровья работников был определен производственный шум. Так негативному воздействию подвергаются 193,6 тыс. человек (59,5% всех лиц, занятых во вредных условиях). Отмечено, что основная часть работников, подвергающихся воздействию шума, была зафиксировано в секторе добычи полезных ископаемых, а именно при подземной добыче каменного угля [115].

Специфика ведения работ в угольных шахтах обуславливает присутствие источников как постоянного шума (вентиляторы местного и главного проветривания, водоотливные установки, конвейеры и компрессорное оборудование, трансформаторные подстанции и выпрямители

тока, компрессорное и холодильное оборудование с непрерывным циклом работы), так и источников непостоянного шума (проходческое и очистное оборудование, различные виды шахтного транспорта, ручной инструмент) [74].

Как уже отмечалось ранее, повышенными шумовыми характеристиками в угольных шахтах характеризуются рабочие места машинистов горных выемочных машин и рабочие места, на которых осуществляются трудовые действия с применением ручного горного инструмента (например, перфораторов и отбойников). Уровень шума в данных условиях значительно превышает установленный (ПДУ) [3, 106].

Самый высокий уровень профессиональной заболеваемости в угольной промышленности на территории РФ зафиксирован в Кемеровской области, к тому же каждый горнорабочий имеет два и более заболеваний [8, 112]. Проведенный анализ данных о зарегистрированных профессиональных заболеваниях на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» за 2016-2022 гг. показал, что более 24 % случаев это заболевания органа слуха (таблица 1.2) [25, 31]. Стоит отметить, что с годами проявления проблем с органом слуха у горнорабочих не идет на спад. Также было выявлено, что такое заболевание как НСТ, обычно сопровождается у горнорабочих вибрационной болезнью и заболеваниями опорно-двигательного аппарата [19, 55].

Таблица 1.2 – Статистика зарегистрированных профессиональных заболеваний на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» за 2016-2022 гг.

Формы заболеваний	Количество выявленных профессиональных заболеваний	% от всех случаев
Нейросенсорная тугоухость	84	24,3
Вибрационная болезнь	96	27,7

Продолжение таблицы 1.2

Формы заболеваний	Количество выявленных профессиональных заболеваний	% от всех случаев
Пояснично-крестцовая радикулопатия	94	27,2
Пылевой необструктивный бронхит	61	17,6
Вегетосенсорная полинейропатия	11	3,2
Всего за 7 лет	346	100

В свою очередь, исследование, проведённое на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», позволило выявить основные профессии, по которым зарегистрированы профессиональные заболевания, связанные с органом слуха. Данные профессии в основном являются рабочими, такими как: машинист электровоза, проходчик, машинист горно-выемочных машин, электрослесарь [63, 77]. На рабочих местах выделенных основных профессий применяются проходческая техника, ручное горное оборудование и механизмы, которые являются источниками непостоянного производственного шума.

Риск возникновения профессионального заболевания органа слуха особенно велик для работников угольной промышленности, относящихся к возрастной группе от 45 до 64 лет [54]. Например, в исследовании Т.А. Суидовой и А.М. Олещенко [76], посвященном анализу заболеваний органа слуха у рабочих на карьерах Кузбасса, было установлено, что наиболее подвержены заболеваниям, а именно НСТ, машинисты транспортировочной техники при стаже работы 25 лет. Следует отметить, что высокий риск развития вибрационной болезни при стаже работы 25 лет также отмечался у

водителей бульдозеров и машинистов экскаваторов ЭШ. На рисунке 1.3 приведена статистика снижения слуха у работников «АО «СУЭК-Кузбасс» при работе в условиях превышения ПДУ шума [32].

Для рабочих мест при ведении подземных горных работах угольных шахт по шуму установлены подклассы условий труда (таблица 1.3.) [62].

Таблица 1.3 – Подклассы условий труда по шуму на рабочих местах основных профессий для угольных шахт

Профессия	Подклассы условий труда
ГРОЗ	3.2
Проходчик	3.3
Машинист электровоза	3.3

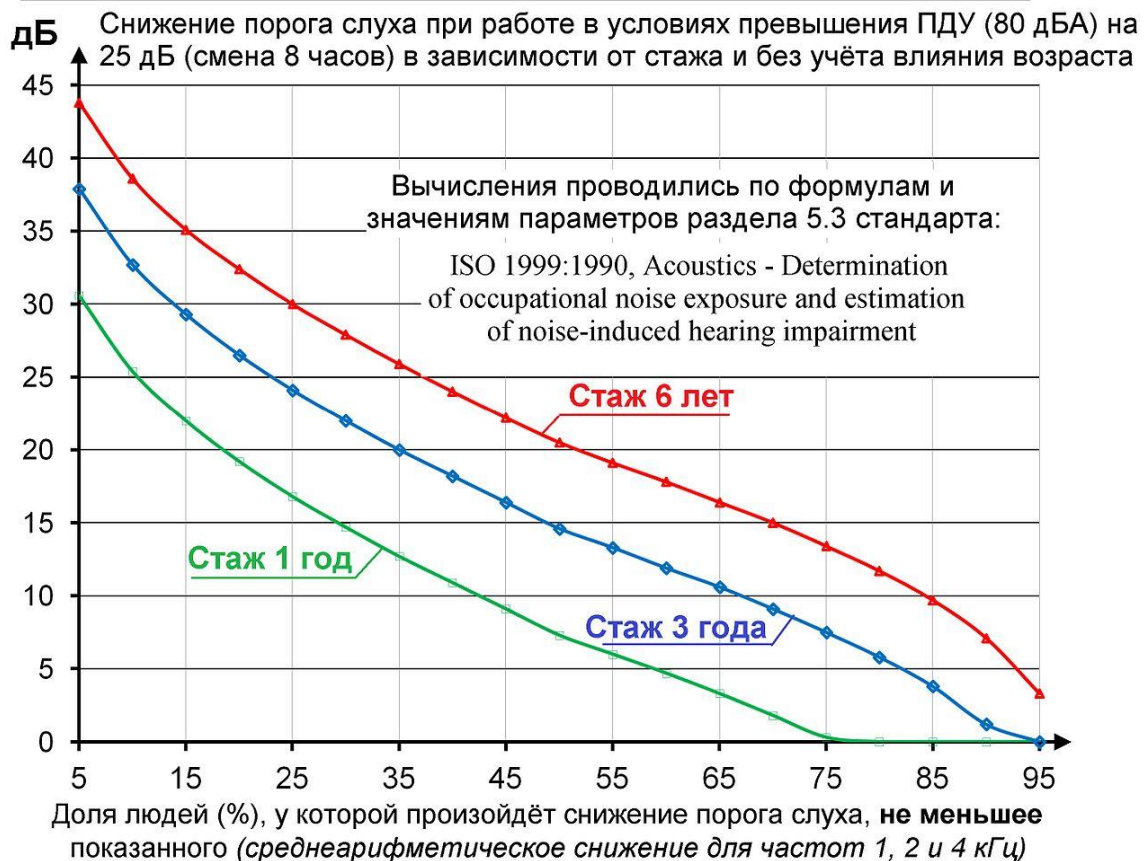


Рисунок 1.3 – Статистика снижения слуха при работе в условиях превышения ПДУ

На рисунке 1.4 представлена динамика профессиональных заболеваний органа слуха в структурных подразделениях АО «СУЭК-Кузбасс» за 2016 - 2021 гг. Можно отметить парадоксальный факт, что, несмотря на осуществляемое техническое перевооружение и обеспечение работников современными СИЗ ОС, зарегистрированных случаев НСТ не становится меньше, а на некоторых шахтах отмечается увеличение их количества.

В целом, в разрезе структурных подразделений АО «СУЭК-Кузбасс», можно отметить шахты с высоким уровнем риска развития профессиональных заболеваний органов слуха (рисунок 1.5). Так, на Шахтоуправлении им. В.Д. Ялевского за период 2016 – 2021 года доля установленных диагнозов «хроническая нейросенсорная тугоухость» составляла 27% от общего числа установленных диагнозов профессиональных заболеваний; на шахте им. С.М. Кирова – данная доля составила 23 % [34].

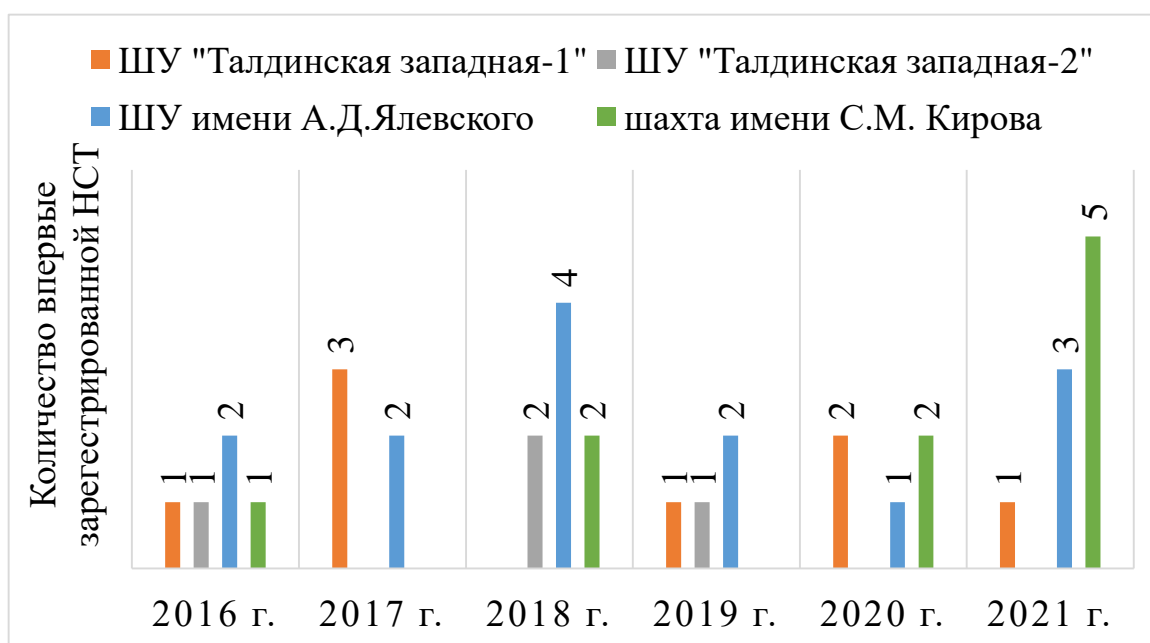


Рисунок 1.4 – Статистика впервые зарегистрированных диагнозов хронической НСТ по структурным подразделениям АО «СУЭК Кузбасс» за 2016-2021 гг.

На угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» были выявлено 6745 рабочих мест с вредным фактором в виде шума, а также ошибки в подборе СИЗ органа слуха [32, 77]. В результате проведенной программы «Год слуха» (2016)

удалось составить подробные технологические карты рабочих мест, благодаря которым стало возможным занести требования к СИЗ органа слуху в Систему поразмерного учета «СИЗ СУЭК». На основании проведенных исследований были также проведены массовые обучения персонала, направленные на повышение их компетенции в области безопасности труда. Однако, проблема профессиональной заболеваемости органа слуха у горнорабочих все еще является актуальной.



Рисунок 1.5 – Количество зарегистрированных диагнозов хронической нейросенсорной тугоухости по структурным подразделениям АО «СУЭК Кузбасс» за 2016-2021 гг., ед.

На шахте им. С.М. Кирова за период 2016 – 2022 гг. НСТ занимает одну из лидирующих позиций из всех зафиксированных профзаболеваний и составляет 30% соответственно. Данные представлены на рисунке 1.6 Аналогичная ситуация наблюдается и на Шахтоуправлении им. В.Д. Ялевского. Там процент НСТ от всех профессиональных заболеваний составляет 27%. Полученные данные проиллюстрированы на рисунке 1.7.

Следует отметить, что такой большой процент заболеваний органа слуха также напрямую связан и с горно-геологическими условиями. Для сравнения представлены статистические данные о профессиональных заболеваниях на Шахтоуправлении «Обуховская» (Ростовская область). Так, на заболевания НСТ за 6 лет приходится менее 2%. Основная часть заболеваний приходится на опорно-двигательный аппарат (более 66% от всех заболеваний). Данные представлены на рисунке 1.8.

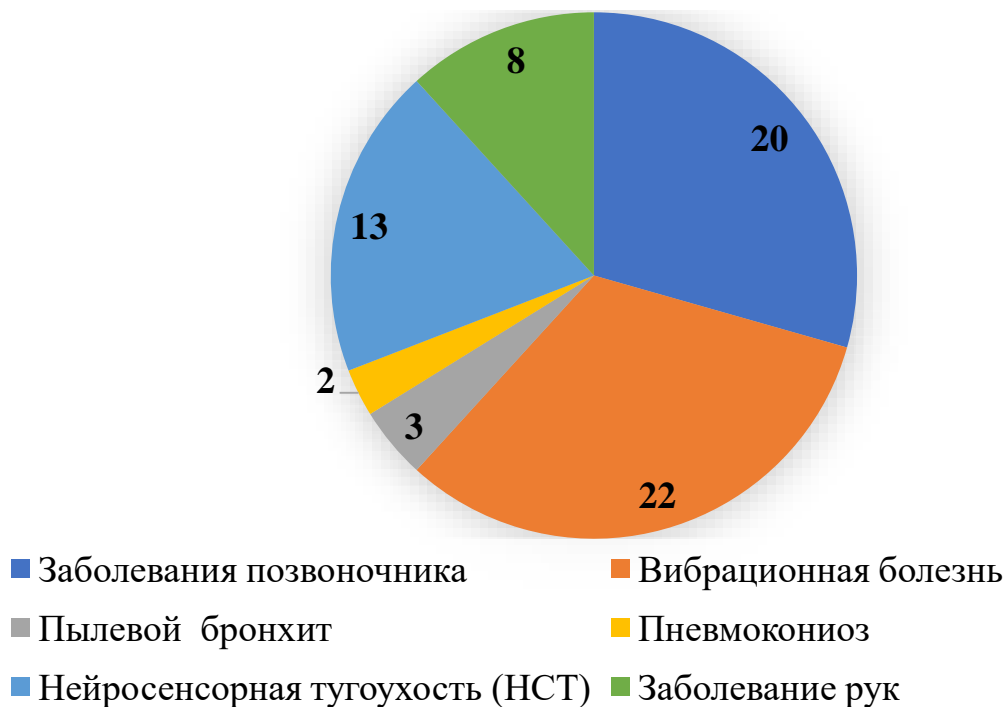


Рисунок 1.6 – Статистика профзаболеваний на шахте им. С.М. Кирова за период 2016-2022 гг., ед.

Полученные данные на шахтах Кузбасса и Ростовской области можно объяснить условиями, в которых происходит извлечение угольной массы. Это связано с мощностью вынимаемого пласта. ШУ «Обуховская» эксплуатирует угольный пласт мощностью 1,0 – 1,1 м, на территории «Кузбасса» же разрабатываются пласты мощностью от 1,5 м до 4 м. Отсюда следует, что с увеличением мощности пластов будет превалировать заболевания органа слуха.



Рисунок 1.7 – Статистика профзаболеваний на ШУ им В.Д. Ялевского за период 2016-2022 гг., ед.

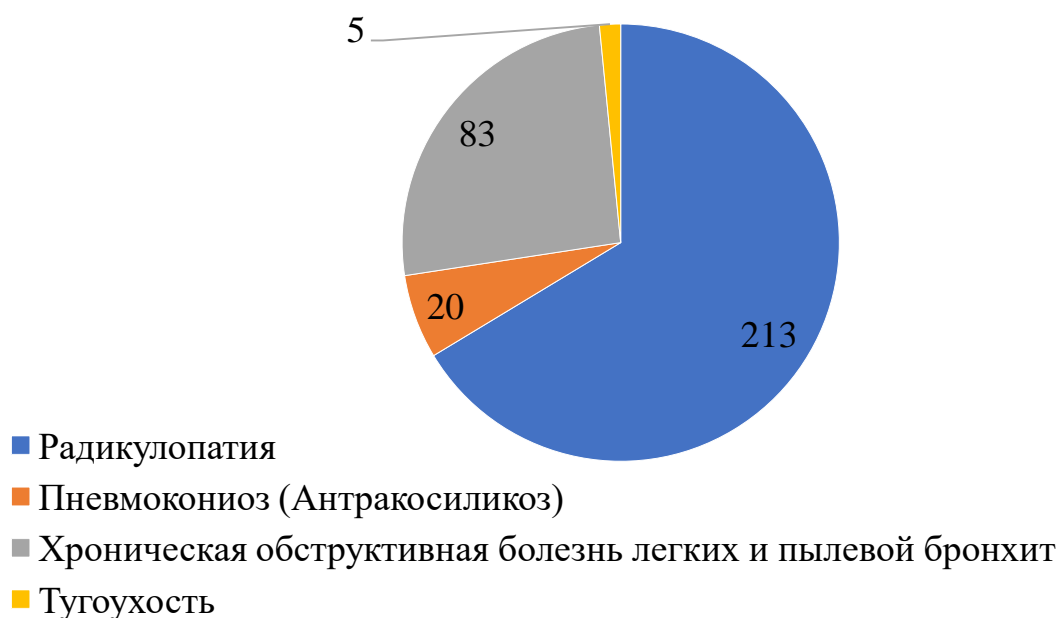


Рисунок 1.8 – Статистика профзаболеваний на АО «Шахтоуправление «Обуховская» за 2014-2020 гг., ед.

На примере ШУ «Обуховская» были отмечены основные профессии горнорабочих с зарегистрированными профессиональными заболеваниями. Всего за 6 лет на данном предприятии было зафиксировано 381 человек с подтвержденными профзаболеваниями. В соответствии с проведенным анализом установлено, что больше всего влиянию повышенного производственного шума подвергались горнорабочие очистного забоя – 89 человек и проходчики – 72 человека.

Учитывая прогнозируемую сложность геологических условий добычи и освоения полезных ископаемых, а также увеличение интенсивности подземной добычи угля, решение задачи обеспечения безопасности труда персонала угольных шахт по шумовому фактору является актуальной задачей для развития угледобывающей отрасли России.

1.3 Состояние и развитие научных исследований в области методов и средств защиты от повышенного производственного шума при подземной добыче угля

Вопросами охраны труда при ведении подземных горных работ, а также способами контроля и минимизации вредного воздействия производственного шума на орган слуха горнорабочего занимались как отечественные, так и зарубежные ученые.

Так, большой вклад в развитие системы гигиенической оценки шума на горных предприятиях был внесен Д.Н. Девятловским, описавшим возможные изменения в органе слуха у горнорабочих при постоянном воздействии сильного шума [19]. А оценкой сочетания влияния шума и других физических факторов на здоровье работника занимался А.В. Васильев [6, 7]. В работах автора отмечено, что необходимо комплексно подходить к оценке воздействия вредного воздействия шума и применять средства индивидуальной защиты согласно установленным положениям на предприятии. Им даны рекомендации в какой степени правильная и добросовестная система

мониторинга может повлиять и облегчить расчет льготных значений и компенсаций для работников.

Вопросы воздействия производственного шума на человека, определения и нормирования звуковых характеристик рассмотрены в работах как российских, так и зарубежных исследователей. Ю.В. Флавицкий и Л.А. Гешлин посвятили свои труды выявлению основных опасностей в угольных шахтах, связанных с повышенным уровнем шума, а также контролю шумовых и вибрационных характеристик на рабочих местах. Авторы предложили техническое нормирование шума и вибрации от горных машин в угольной промышленности [80]. В работе описаны методы уменьшения виброакустического влияния технологического оборудования для подземной добычи угля и методики расчета экономической эффективности предложенных мероприятий.

Согласно докладу Национального института безопасности и гигиены труда (NIOSH, США) НСТ входит в десятку ведущих профессиональных заболеваний и иных случаев повреждения здоровья. Общая распространенность потери слуха среди работающего населения оценивается в 11,4%, в то время как железнодорожная и горнодобывающая отрасли занимают лидирующие позиции (34,8% и 24,3% соответственно от общего показателя). По оценкам NIOSH, на каждые 100 000 работников угольной промышленности, занятых полный рабочий день, в среднем 100–200 работников ежегодно теряют слух [98, 118].

В трудах Е.Н. Чемезова был проведен анализ причин травматизма и аварий на угольных шахтах России. Как итог, был сделан вывод о необходимости создания систем контроля и мониторинга опасных и вредных факторов и обеспечение неотвратимости наказания за нарушения требований правил безопасности [86]. Е.Г. Булдакова и Е.Б. Гридина также в статьях затрагивали тему внедрения комплексной системы управления охраной труда,

позволяющей сократить количество травм и заболеваний в условиях угольной шахты [5].

Актуальность выбора наиболее эффективных мероприятий по защите работников от повышенного уровня шума ставит перед руководителями горнодобывающих предприятий задачу рационального подбора СИЗ ОС. Так, снижение акустического воздействия на работника возможно при применении правильно подобранных средств индивидуальной защиты органа слуха. По данным анкетирования [106, 107], большинство работников угольной шахты (97%) признали, что работают в условиях повышенного шума и знают о последствиях этого воздействия на их функцию слуха. Хотя большинство горнорабочих указали, что осведомлены о важности использования устройств защиты органа слуха, менее 50% из них сообщили о постоянном использовании СИЗ ОС. Данный факт подчеркивает определенные недостатки в обучении персонала, а также в мониторинге реализации защитных мероприятий [87].

Также проведенное на угольном производстве анонимное анкетирование более 350 работников показало, что 51% горнорабочих пренебрегают использованием СИЗ головы и органа слуха, оправдывая данный факт затруднением выполнения в них трудовых функций. Несмотря на подобное явление, от сотрудников поступают жалобы на повышенный уровень шумовой нагрузки. По результатам производственного контроля, однако, превышений по уровням ПДУ зафиксировано не было. Максимальное значение шума составило 82 дБА. Полученная информация не соответствует действительности, так как уровень шума в горных выработках при осуществлении проходческих работ может достигать более чем 105 дБА [41, 108].

Подбору и оценке эффективности противошумов уделяют большое внимание многие исследователи. В своих работах В.И. Харитонов и Ю.В. Шувалов [83, 88] подчеркивают важность правильного применения СИЗ

ОС работниками. Они указывают, что выбор СИЗ должен быть обусловлен спецификой производственного процесса, уровнем шума, а также индивидуальными особенностями работника. Например, для работы с громкими станками необходимы наушники, а для работы с пневматическими инструментами – вкладыши. Помимо этого, авторы акцентируют внимание на важности регулярной проверки СИЗ на исправность. Поврежденные или изношенные наушники или вкладыши не смогут эффективно защитить от шума и, наоборот, могут стать причиной ухудшения слуха. Важно отметить, что выбор СИЗ ОС – это лишь один из элементов комплексной борьбы с шумом на производстве. Исследователи сделали вывод, что на современном этапе развития техники и технологий по добыче угля только комплексный подход, включающий в себя грамотную организацию рабочих мест, использование эффективных СИЗ ОС и обучение работников правилам безопасности, позволит создать безопасную рабочую среду для горнорабочих.

В работах Д.С. Алешкова изложены практические рекомендации по снижению шума и уменьшению вибраций на горных предприятиях. Труды содержат теоретические основы данной проблемы, описание воздействия вредных факторов на человека и нормативы предельных уровней. В работе также изложены методы исследования причин возникновения шума и вибрации и борьбы с ними, описаны рекомендуемые средства индивидуальной защиты и способы их использования [1].

Работы Н.П. Алимова и Я.Г. Готлиба отражают, что порог эффективности массовых производственных защитных наушников и вкладышей не превышает 37 дБ по SNR. Авторы экспериментально доказали, что максимальное снижение эквивалентного уровня звука наушниками производства ЗМ и Peltor соответствует ГОСТ Р 12.4.212-99 и составляет 35 дБА [12, 18]. Однако, стоимость производства изученных защитных наушников достаточно высока.

С целью снижения негативного воздействия производственного шума на орган слуха горнорабочих исследуются и рассматриваются различные противозумные материалы, которые возможно применить при конструировании СИЗ ОС.

Отечественные ученые М.В. Иванов, С.А. Гаврильев и С.А. Трофимов посвятили свои труды изучению акустических параметров экструдированного пенополистирола фирм Ravatherm, URSA и Пеноплекс с целью определения оптимального соотношения толщины материала и коэффициента звукопоглощения. Таким образом, исследователями было установлено, что экструдированные пенополистиролы производства Ravatherm и URSA обладают коэффициентом звукопоглощения 0,5 – 0,7. Данный материал оказался наиболее эффективным при защите органа слуха в среднечастотном диапазоне (от 1000 до 3000 Гц), коэффициент звукопоглощения составил 0,75 – 0,85, при толщине материала 60 мм. Тем не менее, эффективность звукопоглощения при воздействии высокочастотного звука (от 3000 до 6000 Гц) составила от 20 до 30 % [30]. Несмотря на полученные значения, данный материал непригоден для создания звукопоглотителя в конструкции СИЗ ОС. Данный факт обусловлен тем, что полученные результаты звукопоглощения достигаются при использовании материала толщиной, равной 60 мм, что является невозможным при конструировании защитных наушников.

В настоящее время также изучаются волокнистые материалы различного происхождения. Так, коллектив авторов из Китая разработал как эмпирические, так и теоретические модели для описания свойств акустического поглощения различными материалами. Задача исследования заключалась в сопоставлении взаимосвязи между коэффициентом шумоподавления и различными макро- и микроструктурными параметрами. Авторами были исследованы материалы с различными длинами волокна, диаметрами, пористостью, объемной плотностью и толщиной волокнистых

материалов, включая неорганические волокна, синтетические волокна, натуральные волокна и нановолокна. Среди них отмечается волокнистый войлок с включениями синтетических волокон, который имеет коэффициент звукопоглощения 0,98 в высокочастотном диапазоне [116].

В научных работах [93, 99], посвященных анализу и измерению шумопоглощающих характеристик пористых материалов, установлено, что высокопористые полиуретаны имеют максимальную эффективность защиты от шума в диапазоне высоких частот. Однако, они пропускают значительную часть звукового потока низких и средних частот (от 60 Гц до 2500 Гц). Таким образом, авторами был сделан вывод, что исследуемые материалы возможно использовать при производстве различных глушителей нестандартной формы, но не в качестве шумозащитного материала в конструкции СИЗ ОС.

Масштабное исследование эффективности применяемых СИЗ ОС было проведено Э. Байером, Д. Бабичем и Дж. Вайпперманом. Измерения проводились в 8 подземных угольных шахтах США. Исследовались участки с функционирующей лавой и участки с непрерывно работающими дизельными таранными машинами. На каждой шахте дозиметры и ушные микрофоны носили только работники забоя. Это связано с тем, что данные горнорабочие, предположительно, будут подвергаться значительному воздействию шума, а применяемое ими оборудование несет наибольшую опасность для здоровья. Примечательно, что во всех исследуемых горных выработках дозы шума превышали допустимые уровни более чем на 100%, а среднее значение эквивалентного звукового давления под СИЗ ОС составляло не менее 90 дБА. В результате было выявлено, что даже на значительном расстоянии от очистного комбайна уровень звукового давления составил от 90 до 98 дБА [91]. Следовательно, применяемые защитные наушники на данных рабочих местах неэффективны, и необходим подбор СИЗ ОС на основе иных звукопоглощающих материалов.

К. Томозеи, В. Недеф и Г. Лазар в своих работах рассматривали вариации комбинирования различных акустических материалов. Также авторы предположили, что эффективно использование конструкции наушников с двойными стенками и двойным экраном. Между двумя звукоизоляционными экранами из фольги авторы предлагают разместить акустический гель или гелиевую жидкость [118]. Данная конструкция не лишена ряда недостатков: сложность изготовления, недолговечность, невозможность применения в условиях подземной добычи угля.

В исследованиях [100], направленных на изучение шумозащитных характеристик пористых материалов, отмечено, что высокопористые полиуретаны особенно эффективны в диапазоне высоких частот, но не подходят для защиты от шума на низких и средних частотах (от 60 Гц до 2500 Гц). В связи с этим автором было предложено использование данных материалов для изготовления различных глушителей нестандартной формы, а не в качестве абсорбционного материала в СИЗ ОС.

Изучению звукопоглощения пористых материалов посвящены несколько исследовательских работ [50, 51]. Авторами сделан вывод о том, что наиболее эффективное поглощение производственного шума обеспечивают пористые проницаемые материалы из сферического порошка бронзы марки БрОФ10-1 с размерами частиц 350–400 мкм. Установлено, что оптимальная толщина слоя поглотителя составляет 3,5 мм. Стоит учитывать, что данный материал способен обеспечить эффективное звукопоглощение, если уровень производственного шума не превышает 100 дБ.

В научном исследовании [96] в качестве звукопоглощающего материала рассматривается шерстяная абсорбционная плита, изготовленная с использованием традиционной нетканой технологии и грубой шерсти в качестве основного сырья, смешанного с теплосвязывающими волокнами. С помощью метода передаточной функции и метода трубки стоячей волны были изучены звукопоглощающие свойства шерстяных плит в диапазоне частот

250 - 6300 Гц с изменением толщины, плотности и глубины резонатора. Результаты указывают на то, что шерстяные плиты демонстрируют оптимальные свойства поглощения шума на высоких частотах (0,8-0,92), но на низких их эффективность близка к 0. С увеличением толщины образца коэффициент звукопоглощения шерстяных плит увеличивался на низких частотах и уменьшался на высоких. Были достигнуты высокие значения коэффициента звукопоглощения при увеличении плотности и толщины до 40 мм. Шерстяные абсорбционные плиты возможно применять в конструировании СИЗ ОС, но в условиях подземной добычи угля возникает вопрос о долговечности и безопасности данного материала.

А. Патнаик [110] посвятил свои исследовательские труды изучению гибридных материалов и методов шумоподавления. Автором были рассчитаны акустические свойства нановолокон, используемых вместе с ПЭТ -матом. Значения коэффициента звукопоглощения для ПЭТ со слоем нановолокна увеличиваются на низкой частоте 125-1000 Гц. Максимальное увеличение наблюдалось на частоте 500 Гц, где значения коэффициента звукопоглощения составляли 0,40 для мата со слоем нановолокна и 0,20 без слоя нановолокна. При изучении диапазона частот от 1000 до 2500 Гц наблюдалось дальнейшее увеличение значений подавления шума для ПЭТ-мата со слоем нановолокна: при 1600 Гц значение коэффициента звукопоглощения явилось максимальным и составило 0,92. В высоком частотном диапазоне от 2500 до 5000 Гц эффективность звукопоглощения составила 55%. Также автором были исследованы характеристики слоистого полиакрилонитрила (ПАН) и нановолокна (PU), полученные методом электроспиннинга. Средние диаметры полученных волокон ПАН и PU составили 121 и 203 нм. соответственно. Плотность слоев составляла 1,3 и 5 г/м². Данные слои были зажаты между двумя слоями нетканого материала (ПЭТ и шерсть) для получения окончательных образцов. По сравнению с ПЭТ и шерстяными матами значения звукопоглощения полученных материалов

увеличились на частотах 50 - 6200 Гц. На частоте 2000 Гц коэффициент звукопоглощения достиг максимального показателя 0,71. В качестве звукопоглощающего материала автором были исследованы микроперфорированные панели. Отмечено, что данные материалы способны функционировать по принципу комбинированного активно-пассивного контроля шума. Главный критерий для использования рассматриваемых образцов панелей - наличие пор с размерами в субмиллиметровой области. Звуковые волны распространяются в микроперфорированной структуре, тем самым акустическая энергия преобразуется в тепло за счет трения между внутренней поверхностью перфорации и звуковой волной, распространяющейся в воздухе. Перфорация может быть выполнена в виде отверстий или пазов диаметром менее 0,3 мм. Автор отметил, что перфорации данного диаметра обеспечивают достаточное сопротивление звуковой волне для обеспечения широкого диапазона звукопоглощения (от 500 до 3500 Гц). Подобными исследованиями также занимались В.Ю. Радоуцкий, В.Н. Шульженко и М.Н. Степанова [63].

Научная работа [119] посвящена изучению показателей поглощения звука многослойным микроперфорированным панельным поглотителем (МРРА), передний слой которого изготавливается с помощью аддитивного производства. Слои МРРА печатаются с использованием полимерного материала. Пористый слой поглощающего материала прикреплен к слою МРРА для создания многослойного акустического поглотителя. Для исследования влияния степени перфорации и глубины воздушного зазора за МРРА на коэффициент звукопоглощения были проведены испытания в трубке импеданса. Результаты измерений сравнивались с теоретическими расчетами. Было выявлено, что использование пористого звукопоглощающего материала вместе с МРРА расширяет полосу поглощаемых частот. Коэффициент звукопоглощения можно изменять от 0,8 до 0,98, варьируя коэффициент перфорации МРРА или глубину воздушного зазора за панелью.

В настоящее время появляются научные исследования различных экологически чистых звукопоглотителей. Так, работа [95] посвящена исследованию акустических свойств материалов, изготовленных из отходов сельского хозяйства. В ходе исследования был изучен коэффициент звукопоглощения натуральных волокнистых материалов из отходов сельского хозяйства - кокосового волокна, скорлупы арахиса и волокна сахарного тростника. Волокно сахарного тростника плотностью 75 кг/м^3 показало самый высокий средний коэффициент поглощения равный 0,86 при частоте 800 Гц, преимущественно в низкочастотном диапазоне. Кокосовое волокно плотностью 125 кг/м^3 обеспечивает средний коэффициент звукопоглощения 0,81 при частоте 4000 Гц, в основном в высокочастотном диапазоне. Наименьший коэффициент звукопоглощения (0,73) у скорлупы арахиса на средних частотах. Полученные данные свидетельствуют о том, что данные материалы может служить альтернативой синтетическим по звукопоглощению. Авторами отмечено, что исследования проводились без связующих материалов и толщина проб составляла 50 мм. Однако, не было исследовано влияние связующих материалов на значение коэффициента звукопоглощения.

Следует отметить, что вплоть до настоящего времени не получил освещения в научной литературе вопрос оптимального подбора материалов для звукопоглощающих вкладышей противошумных наушников с необходимой акустической эффективностью для защиты органа слуха подземного персонала угольных шахт. Также не был проведен анализ частотных характеристик производственного шума от современного горного оборудования, которое применяется при подземной добыче угля.

1.4 Анализ методов измерений шума на рабочих местах

В соответствии с приказом Минтруда России №33н от 24.01.2014 и ГОСТ ISO 9612-2016 проводится специальная оценка условий труда (СОУТ) и измерения шумового воздействия на рабочих местах работников [15, 58].

Так, согласно ГОСТ ISO 9612-2016 измерение и оценка уровня шума на рабочих местах всегда должны проводиться в следующей последовательности [15]:

1. Анализ рабочей ситуации.
2. Выбор стратегии измерения.
3. Проведение измерения.
4. Выявление возможных ошибок и оценка неопределённости измерения.
5. Расчёты и представление результатов измерения.

Для измерения и расчета нормируемого шумового воздействия, как правило, используется эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день. В соответствии с нормативными документами данные натурные измерения должны проводиться сертифицированной лабораторией и поверенными измерительными приборами, с применением лицензированного программного обеспечения [52, 79].

По результатам измерений в соответствии СН 2.2.4/2.1.8.562-96 определяется соответствие уровня шума на рабочем месте установленным ПДУ и принимаются меры по уменьшению воздействия шума на работника, если это необходимо [71, 72]. В соответствии с установленными санитарными нормами определение класса вредности по шуму производится по измеренному уровню звукового давления.

Стоит отметить, что измерения шумового воздействия от постоянных и непостоянных источников шума отличаются. Так, при постоянном производственном шуме измерение выполняется в соответствии с установленным октавным диапазоном заданных среднегеометрических частот. Оценка непостоянного шума на соответствие допустимым уровням проводится одновременно по эквивалентному и максимальному уровням звука. Превышение одного из показателей должно рассматриваться как несоответствие санитарным нормам [69]. Ограничением отмеченной методики

измерения непостоянного шума является отсутствие учета частотных характеристик оборудования, излучающего непостоянный шум. Отсюда следует, что подобранные СИЗ ОС на основании проведенных измерений не всегда способны обеспечить необходимую степень защиты от непостоянных источников шума.

1.5 Выводы по первой главе

1. Анализ современного состояния условий труда показал, что шум является одним из доминирующих вредных факторов при подземной добыче угля на территории Российской Федерации. Около четверти от всех зарегистрированных профессиональных заболеваний приходится на заболевания, связанные с влиянием повышенного уровня шума.

2. Несмотря на проводимое техническое перевооружение и обеспечение работников современными средствами индивидуальной защиты, количество зарегистрированных заболеваний органа слуха не становится меньше, а для некоторых шахт даже наблюдается рост их количества.

3. Анализ современных исследований по вопросам изучения способов и методов защиты от повышенного шума показал тенденцию к развитию и совершенствованию СИЗ ОС. Однако проблема рационального подбора противошумных наушников, учитывающих частотные характеристики горного оборудования раскрыта недостаточно.

4. Использование установленной методики измерений шума от непостоянных источников на рабочих местах не позволяет полноценно оценить его воздействие на работника. Следствием такой ситуации является затрудненность рационального подбора и использования СИЗ ОС.

ГЛАВА 2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА РАБОЧИХ МЕСТАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

2.1 Измерение уровня шума на рабочих местах в угольных шахтах

Обязательное измерение уровней воздействия вредных производственных факторов регламентируется положениями о проведении специальной оценки условий труда (СОУТ) на рабочих местах. Нормирование непостоянного производственного шума осуществляется по среднему эквивалентному уровню, без учета анализа звука в девяти октавных полосах со среднегеометрическими значениями частот [4, 10, 79].

В связи с тем, что оценка воздействия уровней звука на подземный персонал угольных шахт производится на основе результатов СОУТ, а определение класса условий труда происходит по значению эквивалентного уровня шума на рабочем месте, были произведены измерения уровней звука по октавным полосам [10]. Исследование шумовой нагрузки проводилось на рабочих местах горнорабочих ООО «Шахтоуправление «Садкинское» с непостоянными источниками шума в соответствии с ГОСТ ISO 9212-2016 [18].

Источник производственного шума явилось горное проходческое оборудование и ручной горный инструмент. Расчёты проводились для октавных полос со среднегеометрическими частотами.

Согласно ГОСТ Р 53188.1-2019 и стандартам [15, 16, 39] предусматривается использование индивидуальных шумомеров со встроенным микрофоном, относящихся к 1-му классу средств измерительных приборов. Исходя из заявленных требований были использованы индивидуальные шумомеры класса SV 104 (рисунок 2.1).

Измерения шумовой нагрузки и уровней звукового давления проводились в соответствии с рекомендованным алгоритмом нормативных документов [15, 21].



Рисунок 2.1 – Индивидуальный шумомер-дозиметр класса SV 104

1. Анализ рабочей обстановки.

В процессе изучения отчета о проведенной СОУТ и опроса подземного персонала угольной шахты было выявлено, что:

- 1) уровень звука вентилятора главного и частичного проветривания достигает 110 дБА;
- 2) уровень звука используемых проходческих и добычных комбайнов составляет от 92 до 97 дБА, а уровень шума электровозов и дизелевозов достигает 95-105 дБА;
- 3) ручное горное оборудование и инструменты генерируют шум свыше 110 дБА.

2. Выбор стратегии измерения.

Выбор стратегии измерения напрямую зависит от профессии работников и рабочих мест на предприятиях. К тому же стратегия измерения регламентируется тремя характеристиками:

- 1) рабочими операциями (измерения на рабочих местах во время выполнения определенных производственных работ);

2) трудовыми функциями (проведение выборочных измерений шумового воздействия в процессе выполнения одной рабочей производственной функции);

3) рабочим днем (измерение уровней звукового давления в процессе всего рабочего времени).

Исходя из исследуемых основных профессий подземного персонала угольной шахты, таких как горнорабочий очистного забоя, машинист горно-выемочных машин и машинист подземных установок была выбрана третья стратегия измерений. Данный выбор обоснован характеристикой рабочего места работников как нестационарное рабочее место с неизвестной и непостоянно структурой дня. Для работников, ведущих работы с ручными перфораторами и отбойниками были проведены измерения в соответствии со второй стратегией измерений.

3. Проведение измерений.

Для начала измерений работникам были закреплены откалиброванные персональные шумомеры-дозиметры SV 104 на плечо в непосредственной близости от органа слуха. С целью повышения точности зафиксированных показаний, измерения проводились для трех горнорабочих одной профессии в разные рабочие смены.

4. Проверка на ошибки и анализ источников неопределенности измерения.

Для определения неточностей и ошибок при регистрации уровней звукового давления, регулярно проводился опрос горнорабочих о выявлении неспецифических рабочих операций и производились ли нетипичные производственные работы.

При измерении уровней звукового давления в условиях угольной шахты могут возникнуть такие источники неопределённости, как:

1) некорректное размещение измерительного прибора на спецодежде горнорабочего;

2) ошибочные источники производственного шума (касание микрофона измерителя, трение микрофона об элементы спецодежды, негативное влияние угольной пыли на измеритель);

3) нетипичные источники различного шума на рабочем месте (аварийные звуковые сигналы, поломка оборудования, громкая речь работников);

4) выполнение других рабочих операций вследствие изменения поставленных задач на смену.

Во время измерений фиксировались случаи физического воздействия на микрофон измерительного прибора с целью дальнейшего исключения данного фактора.

Исходя из анализа описанных ошибок, основными источниками неопределённости при учете и расчете эквивалентного уровня звукового давления являются:

- 1) положение микрофона измерителя;
- 2) средство измерения.

Таким образом, расчет суммарной стандартной неопределённости $u(L_{EX,8h})$ при измерениях проводится согласно ГОСТ 34100.3-2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008 по формуле 2.1 [14]:

$$u^2 \cdot (L_{EX,8h}) = c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot (u_2^2 + u_3^2), \text{ дБ} \quad (2.1)$$

где c_1 – стандартный коэффициент чувствительности средства измерения, дБ;

c_2 – коэффициент чувствительности средства измерения, дБ

u_1 – стандартная неопределенность измерений, дБ;

u_2 – стандартная неопределенность средства измерения, дБ;

u_3 – стандартная неопределенность выбора места установки микрофона, дБ.

В соответствии с ГОСТ 17187-2010 индивидуальный шумомер класса SV 104 относится к 1-му классу измерительных средств, следовательно,

принимается стандартную неопределенность средства измерения равной 0,7 дБ. Стандартная неопределённость u_3 , которая определяется из условий установки измерительного прибора, согласно [14] приравняется 1 дБ. В свою очередь коэффициент чувствительности измерительного прибора c_2 определяется классом измерительных средств и в данных условиях равен 1 дБ.

Стандартная неопределенность измерений u_1 рассчитывается по формуле 2.2 [18].

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[\sum_{n=1}^N (L_{p,A.eqT,n} - \bar{L}_{p,A.eqT})^2 \right]}, \text{ дБ} \quad (2.2)$$

где $L_{p,A.eqT}$ – среднее арифметическое по результатам N измерений эквивалентного уровня звука, дБА;

$L_{p,A.eqT,n}$ – эквивалентный уровень звукового давления для n -го выборочного измерения при выполнении заданной трудовой функции, дБ;

n – номер выборочного измерения при выполнении заданной трудовой функции;

N – число выборочных измерений при выполнении заданной трудовой функции.

Также фиксировались уровни звукового давления в октавных полосах во время выполнения основных рабочих операций с применением проходческого комбайна, добычного комбайна и ручных перфораторов.

5. Вычисление и представление результатов измерений.

Расчет значения эквивалентного уровня шума на рабочих местах исследуемых профессий производится по формуле 2.3:

$$L_{EX,8h} = L_{p,A.eqT} + 10 \lg \left[\frac{T_e}{T_0} \right], \text{ дБА} \quad (2.3)$$

где $L_{p,A.eqT}$ – эквивалентный уровень звука, дБ;

T_e – продолжительность измерения, равное 9 ч;

T_0 – регламентированная длительность рабочего дня, 8 ч.

Результаты измерения звукового давления в октавных полосах фиксировались в момент работы и далее были перенесены на электронный носитель для дальнейшей обработки.

2.2 Частотные характеристики производственного шума основного горного оборудования

Проведенные измерения в угольной шахте подтвердили, что повышенным уровнем шума можно охарактеризовать следующие рабочие места: машинист горных выемочных машин, горнорабочий, осуществляющий производственный процесс с применением ручного инструмента и оборудования (перфораторы и отбойники). Измеренный и рассчитанный эквивалентный уровень шума в данных условиях значительно превышает установленный предельно допустимый. Были выявлены уровни шума основного современного технологического оборудования, которое используется при подземных горных работах (проходческий комбайн 1ГПКС, очистной комплекс КМ-130, ручной перфоратор HRD100). Данные представлены на рисунке 2.2.

К тому же исследуемое технологическое оборудование является источником непостоянного шума.

Для корректного отображения измеренных и рассчитанных данных уровни шума от каждого источника были пересчитаны на уровни звуковой мощности по октавам согласно [43, 75]. Полученные данные представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Уровни шума основного горного технологического оборудования по октавным полосам

Величина	Уровни звуковой мощности (дБ) по октавам							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1ГПКС	88,3	89,7	91,0	91,3	90,9	87,6	83,4	78,9
КМ-130	92,3	93,7	95,0	95,3	94,9	91,6	87,4	82,9

Продолжение таблицы 2.1

HRD 100	94,3	95,7	97,0	97,3	96,9	93,6	89,4	84,9
ПДУ	95	87	82	78	75	73	71	69

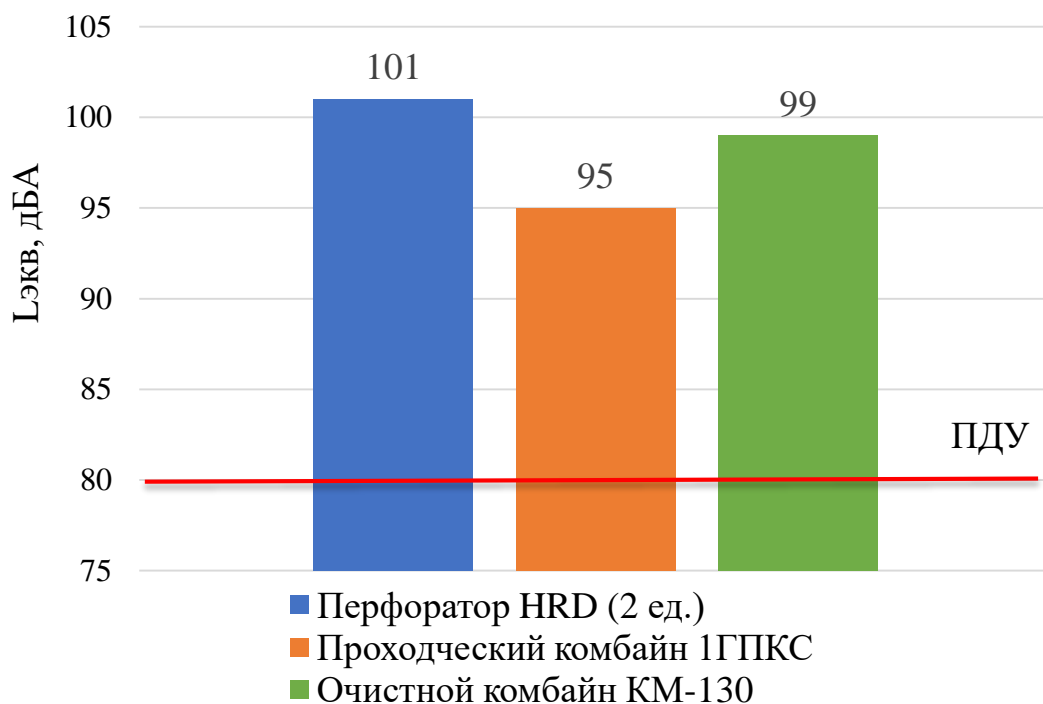


Рисунок 2.2 – Эквивалентные уровни шума горного оборудования за рабочую смену

С целью определения частотных характеристик шума на расстоянии от горного оборудования в горной выработке был проведен расчет с применением программного комплекса «Эколог. Шум». Оценка акустического влияния от рассматриваемых источников шума, расположенных в подземной горной выработке, выполнена в соответствии с СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки».

Геометрические параметры горной выработки при расчетах были выбраны в соответствии с СП 69.13330.2016 «Подземные горные выработки» и составляют: ширина – 4530 мм., высота – 2810 мм.

В связи с тем, что оценка непостоянного шума на соответствие допустимым уровням проводится одновременно по эквивалентному и максимальному уровням звука, но не учитывает значения в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, использовалась формула 2.4 для расчета звукового давления на различных частотах [15].

$$L = L_w - 15lgr + 10lg\Phi - \frac{\beta_a r}{1000} - 10lg\Omega, \text{ дБА} \quad (2.4)$$

где L_w – шумовая характеристика источника, дБ;

r – расстояние источника шума до расчетной точки, м;

Φ – фактор направленности источника шума, безразмерный; для источника шума с равномерным излучением звука $\Phi = 1$;

Ω – пространственный угол излучения звука, принимаемый для источников шума, $\Omega = \pi$ (согласно СП 51.13330.2011 Защита от шума)

β_a – поправка, учитывающая затухание звука в атмосфере, дБ (согласно СП 51.13330.2011 Защита от шума)

Расчет суммарного уровня звукового давления по октавным полосам от каждого отдельного горного оборудования выполнен по формуле 2.5:

$$L_{\text{сум}} = 10lg \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i}, \text{ дБА} \quad (2.5)$$

где $L_{\text{сум}}$ - суммарный эквивалентный уровень звука на определенной частоте от отдельного оборудования.

Полученные результаты расчета для проходческого комбайна 1ГПКС, очистного комплекса КМ-130 и горных перфораторов HRD 100 представлены в таблицах 2.2, 2.3 и 2.4 соответственно.

Таблица 2.2 - Результаты расчета уровня звукового давления от 1ГПКС-06 на рабочем месте и разном расстоянии от рабочего места

Номер РТ	Пара метр	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	Лэкв.	Лмакс
РТ-1	УЗД	88,3	89,7	91,0	91,3	90,9	87,6	83,4	78,9	89,2	92,1
	Δ	-6,7	2,7	9	13,3	15,9	14,6	12,4	9,9	9,2	7,1

Продолжение таблицы 2.2

Номер РТ	Пара метр	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	Лэкв.	Лмакс
РТ- 2(10м)	УЗД	73,8	75,2	76,5	76,8	76,4	73,1	68,9	64,4	79,6	80,5
	Δ	-21,2	-11,8	-5,5	-1,2	1,4	0,1	-2,1	-4,6	-0,4	-4,5
РТ- 3(20м)	УЗД	68,2	69,6	70,9	71,2	70,8	67,5	63,3	85,8	73,7	74,9
	Δ	-26,8	-17,4	-11,1	-6,8	-4,2	-5,5	-7,7	16,8	-6,3	-10,1
РТ- 4(40м)	УЗД	63,0	64,4	65,7	66,0	65,6	62,3	58,1	53,6	67,1	69,7
	Δ	-32	-22,6	-16,3	-12	-9,4	-10,7	-12,9	-15,4	-12,9	-15,3
	ПДУ	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85

Таблица 2.3 - Результаты расчета уровня звукового давления от КМ-130 на рабочем месте и разном расстоянии от рабочего места

Номер РТ	Пара метр	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	Лэкв.	Лмакс
РТ-1	УЗД	92,3	93,7	95,0	95,3	94,9	91,6	87,4	82,9	95,4	96,7
	Δ	-2,7	6,7	13	17,3	16,9	18,6	16,4	13,9	15,4	11,7
РТ- 2(10м)	УЗД	78,4	79,8	81,1	81,4	81,0	77,7	73,5	69,0	83,2	85,1
	Δ	-16,6	-7,2	-0,9	3,4	6	4,7	2,5	0	3,2	0,1
РТ- 3(20м)	УЗД	75,2	76,6	77,9	78,2	77,8	74,5	70,3	65,8	80,1	81,9
	Δ	-19,8	-10,4	-4,1	0,2	2,8	1,5	-0,7	-3,2	0,1	-3,1
РТ- 4(40м)	УЗД	66,4	67,8	69,1	69,4	69,0	65,7	61,5	57	71,6	73,1
	Δ	-28,6	-19,2	-12,9	-8,6	-6	-7,3	-9,5	-12	-8,4	-11,9
	ПДУ	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85

Таблица 2.4 - Результаты расчета уровня звукового давления от HRD 100 на рабочем месте и разном расстоянии от рабочего места

Номер РТ	Пара метр	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	Лэкв.	Лмакс
РТ-1	УЗД	94,3	95,7	97,0	97,3	96,9	93,6	89,4	84,9	99,7	101
	Δ	-0,7	8,7	15	19,3	21,9	20,6	18,4	15,9	19,7	16

Продолжение таблицы 2.4

Номер РТ	Пара метр	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	Лэкв.	Лмакс
РТ- 2(10м)	УЗД	80,2	81,6	82,9	83,2	82,8	79,5	75,3	70,8	85,0	86,9
	Δ	-14,8	-5,4	0,9	5,2	7,8	6,5	4,3	1,8	5	1,9
РТ- 3(20м)	УЗД	74,7	76,1	77,4	77,7	77,3	74,0	69,8	65,3	79,1	81,4
	Δ	-20,3	-10,9	-4,6	-0,3	2,3	1	-1,2	-3,7	-0,9	-3,6
РТ- 4(40м)	УЗД	664	67,8	69,1	69,4	69,0	65,7	61,5	57,0	72,3	73,1
	Δ	569	-19,2	-12,9	-8,6	-6	-7,3	-9,5	-12	-7,7	-11,9
	ПДУ	95	87	82	78	75	73	71	69	80	85

В результате выполнения расчета наблюдались превышения ПДУ по октавным полосам частот в диапазоне от 125 до 8000 Гц. Исходя из данных таблиц 2.2, 2.3 и 2.4 наиболее безопасным расстоянием для горнорабочего в условиях подземной выработки будет нахождение на расстояние свыше 20 метров от работающей техники, что в условиях шахты невозможно.

Стоит отметить, тот факт, что согласно медицинским исследованиям развитию НСТ способствует воздействия звука в высоком частотном диапазоне (от 3000 Гц до 6000 Гц) [29, 35, 41].

2.3 Анализ эффективности применяемых СИЗ органа слуха

В связи с технологическими особенностями подземной добыче угля защита горнорабочего от негативного воздействия шума расстоянием, временем и средствами коллективной защиты не представляется возможным. С целью защиты органа слуха горнорабочих применяются противושумные вкладыши и защитные наушники [59, 70]. Однако использование противושумных вкладышей в условиях подземной добыче угля невозможно в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 и СанПиН 4043-85 [71, 72]. Следовательно, использование работниками СИЗ ОС – наушников является

самым эффективным способом снижения уровня воздействия на организм производственного шума.

На сегодняшний день регулирование подбора и обеспечение СИЗ ОС работников, на рабочих местах которых не обеспечивается ПДУ 80 дБА осуществляется в соответствии с нормами, утвержденными ГОСТ 12.1.003-2014 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» [10].

В соответствии с ГОСТ 12.4.275-2014 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования. Методы испытаний» к СИЗ ОС относят противошумные шлемы, противошумные вкладыши и защитные наушники [11]. Подбор СИЗ ОС для различных рабочих мест может осуществляться несколькими методами:

1) с использованием метода октавной полосы частот (с целью определения эффективности СИЗ ОС используются измеренные в соответствии с протоколами СОУТ уровни звукового давления и средние значения ожидаемой эффективности защиты (APV_{fx});

2) НМL-метод (определение эффективности СИЗ ОС с учетом С- и А-корректированных уровней звукового давления шума и расчет ожидаемой эффективности поглощения звука в низком, среднем или высоком частотных диапазонах);

SNR-метод (экспериментальный метод определения эффективности защиты противошумных наушников, который учитывает С-корректированный уровень звукового давления шума и отношение необходимого значения шума (ПДУ) к фону).

Применяемые, например, на угольных шахтах АО «ШУ «Садкинское» противошумные наушники относятся ко 2-му классу акустической эффективности, обладают коэффициентом звукопоглощения до 0,68 и акустической эффективностью до 18 дБ (рисунок 2.3). В тоже время были зафиксированы превышения ПДУ до 21,9 дБ от горного оборудования на

рабочих местах. Следовательно, данный вид СИЗ ОС не обеспечивает необходимую защиту органа слуха работников [45].



Рисунок 2.3 – Используемые СИЗ ОС РОСОМ3 СОМ3-88 в АО «ШУ «Садкинское»

В настоящее время при изготовлении распространенных стандартных СИЗ ОС, как правило, используют уже известные материалы: плотная резина, акустический поролон, синтетические и органические волокнистые материалы, металлические и базальтовые материалы, гидрогели и гелиевые пластины [33, 91, 93]. Стоит отметить, что эффективность звукопоглощения данных материалов, основанного на резонансном поглощении, снижается при воздействии средне- и высокочастотного шума, к тому же имеют ограниченный срок службы [27, 31].

Известны противошумные наушники 3М PELTOR ProTac III со следующими техническими характеристиками: подавление шума возможно до 26 дБ, при этом используется активное шумоподавление; вес – 355 г. и состоящие из гарнитуры и пластикового оголовья. Данные наушники содержат детектирующие микрофоны, блок управления процессом активного шумоподавления, расположенные во внешней части чаши. На внешней стороне чаши расположены органы управления микрофонами и степенью шумоподавления. Чаши имеют шумозащитный экран и возможность подключения микрофона и внешнего аудио источника [64]. Данный вид СИЗ

способен обеспечить необходимую акустическую эффективность, однако имеется ряд значительных недостатков. Так, например, недостатками этого устройства является сложность конструкции и большая толщина защитных раковин.

Сложность конструкции объясняется наличием электроники в чашах, что приводит к отсутствию влаго- и пыле защищённости устройства. Следует отметить, что данные противошумные наушники хорошо защищают от импульсных помех, но неэффективны в производственных условиях с постоянным шумом. Требуется источник питания.

Известны противошумные наушники Jeta Safety JEM201 Sonus Max, со следующими техническими характеристиками: подавление шума до 22 дБ; вес – 350 г. Они относятся к пассивному типу защитных средств и представляют собой оголовье с пластиковыми чашками наушников. Наполнитель чашки состоит из вспененного полиуретана.

Недостатками этого устройства является недостаточная эффективность защиты органа слуха горнорабочего от шума широкого спектра из-за использования только вспененного полиуретана. Так же стоит отметить, что не используется никакой защиты звукопоглотителя от внешнего воздействия с внутренней стороны чашки. Наушники изготовлены полностью из пластиковых деталей, что делает их конструкцию ненадежной в условиях производственной среды горных выработок.

С целью сравнения используемых и внедренных СИЗ ОС был также проведен анализ запатентованных промышленных образцов и полезных моделей.

Рассмотрена конструкция противошумных наушников, которые состоят из жесткого полого корпуса, амортизационного валика и П-образных проволочных скоб с шарнирами для фиксации раковин. При этом амортизационный валик размещен на торцевых поверхностях корпуса и изготовлен из плотного прессованного полиуретана. В качестве

звукопоглотителя предполагается использование плотной резины или прессованного полиуретана [45].

Недостатками данного противошумного устройства являются ограниченная звукоизоляция наушников, обусловленная механическими свойствами корпуса и звукопоглотителя, при длительной работе у работника могут возникать локальные нарушения кровотока и лимфотока из-за сильного прижима амортизационных валиков и тяжести защитных наушников.

Известны защитные наушники, состоящие из пассивного звукопоглотителя, установленного в шлемофоне и громкоговорителя с усилителем на наружных гранях шлемофона. Электронная система служит для усиления принимаемых микрофоном звуковых сигналов на частоте от 800 до 1500 Гц, однако защита от шума представлена только одним слоем звукопоглотителя из пористых пенополистиролов [48].

Недостатками данного устройства является сложность конструкции, содержащей большое количество электронных и поворотных элементов и механизмов, что также приводит к быстрой загрязнённости и выходу из строя устройства в запыленных производственных условиях. К недостаткам следует отнести большой вес защитных наушников и необходимость постоянного источника питания. Также использование шлемофонов в условиях подземной добычи угля небольшой мощности затруднительно.

Рассмотрены запатентованные противошумные наушники, состоящие из оголовья, корпуса, обладающего магнитными свойствами, и звукопоглощающей облицовки. Компоненты защитных наушников изготовлены из гибкого полимерного материала, а протектор выполнен из двух герметично склеенных между собой полимерных листов, между которыми создан вакуум [46].

Недостатками данных противошумных наушников является неэффективные шумозащитные характеристики, так как для защиты от шума органов слуха используется только звукопоглощающая облицовка, сложность

и большой вес конструкции. Сложность конструкции характеризуется наличием замкнутой вакуумной системы в защитных чашках, что также косвенно влияет на долговечность и надежность противошумных наушников.

Исходя из проведенного анализа, можно заключить, что наблюдается тенденция модернизации и улучшения защитных характеристик противошумных наушников, изменения конструкции СИЗ ОС. Однако, в свою очередь проблема защиты горнорабочих от непостоянного шума с пиковыми значениями в диапазоне средних и высоких частот остается нерешенной.

2.4 Выводы по второй главе

1. Превышения установленных ПДУ шума отмечаются на расстояниях до 20 м от работающего горного оборудования, что указывает на невозможность полного устранения влияния шума горнорабочих методом «защиты расстоянием». При выполнении рабочих операций ручным горным перфоратором на рабочем месте зафиксировано превышение ПДУ шума по максимальному уровню на 21 дБА, при эксплуатации очистного и проходческого комбайнов на 16 дБА и 7 дБА. Превышения по эквивалентному уровню звука от проходческого комбайна 1ГПКС-06, очистного комплекса КМ-130 и ручного перфоратора HUSCON HRD 100 в течении рабочей смены составили 11 дБА, 16,7 дБА и 19,7 дБА соответственно.

2. В результате выполнения измерений и расчетов были выявлены превышения ПДУ по октавным полосам частот в диапазоне от 125 до 8000 Гц. Исходя из полученных данных, наиболее безопасным для горнорабочего является расстояние от 20 до 40 м от работающей техники, которое будет также изменяться в зависимости от выполняемой технологической операции. Соблюдение данных дистанций между работником и оборудованием в условиях шахты невозможно, что подтверждает необходимость использования СИЗ ОС.

3. Анализ современных традиционных противошумных СИЗ ОС показал, что данные устройства модернизируются, однако вопрос

рационального использования и подбора наиболее эффективных защитных наушников для условий подземной добычи угля остаётся актуальным.

ГЛАВА 3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА РАЗЛИЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

3.1 Разработка математической модели звукопоглощения материалов

Математическое моделирование является важным этапом в изучении и разработке звукопоглощающих конструкций с целью изучения акустических характеристик. Однако теоретическое описание акустических процессов относится к сложным задачам, в связи с чем используются различные допущения [22].

Одним из методов нахождения коэффициента звукопоглощения различных пористых материалов является применение волнового уравнения в частотной области для исследования распространения звукового давления и определения коэффициентов звукопоглощения (3.1) [22, 40].

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + k^2 \cdot p = 0, \quad (3.1)$$

где $p = p(x, y, z)$ – координатная часть звукового давления;

$k = \frac{\omega}{c}$ – волновое число звуковой волны, м^{-1} ;

ω – частота звуковой волны, Гц;

c – скорость распространения звука, м/с .

С целью получения корректного результата необходима постановка начальных и краевых условий. В рамках решения данной задачи для исследуемых переменных следует устанавливать величину начальных условий равную нулевому значению перед выполнением численных экспериментов [25].

Граничные условия по акустическим параметрам задаются исходя из задачи, чтобы на боковых гранях исследуемой области их неоднородности возле боковых границ исчезали. Таким образом, на жестких поверхностях, ограничивающих объем исследуемой области, составляющие колебательной

скорости, нормальные к поверхности, должны обращаться в ноль и краевые условия для звукового давления принимают вид 3.2:

$$\left. \frac{\partial p}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial p}{\partial y} \right|_{y=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial p}{\partial z} \right|_{z=0} = 0, \quad (3.2)$$

где $p = p(x, y, z)$ – координатная часть звукового давления;

Исходя из решения волнового уравнения в заданных условиях, рассчитывается коэффициент звукопоглощения по формуле (3.3):

$$\alpha = \frac{4}{n + \frac{1}{n} + 2}, \quad (3.3)$$

где n – отношение уровней звукового давления на фронтальной и тыльной плоскостях исследуемого материала.

Исходя из того, что моделируются реальные физические объекты, в качестве начальных значений звукового давления принимались измеренные уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами. В процессе численных экспериментов источником звуковых волн является круглая плоскость диаметром 100 мм.

Методы изучения распространения звуковых волн и определения коэффициента звукопоглощения сводятся к применению математического моделирования, которое базируется на создании различных геометрических моделей и использовании разнообразных методов решения задач. Основными программными комплексами для моделирования в акустике являются COMSOL Multiphysics, Sound PLAN, AFMG, Sound Flow WinFLAG [89, 104].

Математическая модель использовалась в специальном лицензированном программном обеспечении COMSOL Multiphysics, модуль акустика. При решении поставленной задачи на основе математического моделирования использован метод конечных элементов (МКЭ) с расчетной областью в виде акустического короба.

Кроме решения волнового уравнения, в программном комплексе COMSOL Multiphysics Acoustics решается уравнение Гельмгольца (3.4) с целью оценки распространения звуковых волн визуально:

$$\nabla \cdot \frac{\nabla p_t}{\rho_c} - \frac{k_e^2 \cdot p_{qt}}{\rho_c} = Q_m, \quad (3.4)$$

где ∇ - оператор Лапласа;

p_t – звуковое давление, Па;

$k_e^2 = \left(\frac{\omega}{c_c}\right)^2$ – эффективное волновое число, м^{-1} ;

$c_c = \frac{\omega}{c}$ – скорость звука в среде, м/с;

$k = \frac{\omega}{c}$ – волновое число, с учетом затухания звуковой волны в воздухе, м^{-1} ;

$\rho_c = \frac{\rho c^2}{c_c^2}$ – плотность среды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ρ – плотность невозмущенной среды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ω – круговая частота; Гц;

Q_m – монопольный источник звука, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

В качестве акустической модели, где происходило решение волнового уравнения был принят звуковой короб, в котором не будет происходить усиления собственной частоты звука (рисунок 3.1) [71]. На одной из стенок закреплен исследуемый материал.

Геометрические параметры акустического короба были приравнены к размерам стандартной горной выработки (длина – 4,5 м.; ширина – 4,5 м.; высота 3,2 м.). Для определения коэффициента звукопоглощения материалов, которые будут использоваться в СИЗ ОС, источник звука располагается на расстоянии 1 метра от образца. Данное расстояние выбрано в соответствии с методикой [11]. С целью определения коэффициента звукопоглощения материалов, они должны плотно прилегать к боковой стенке.

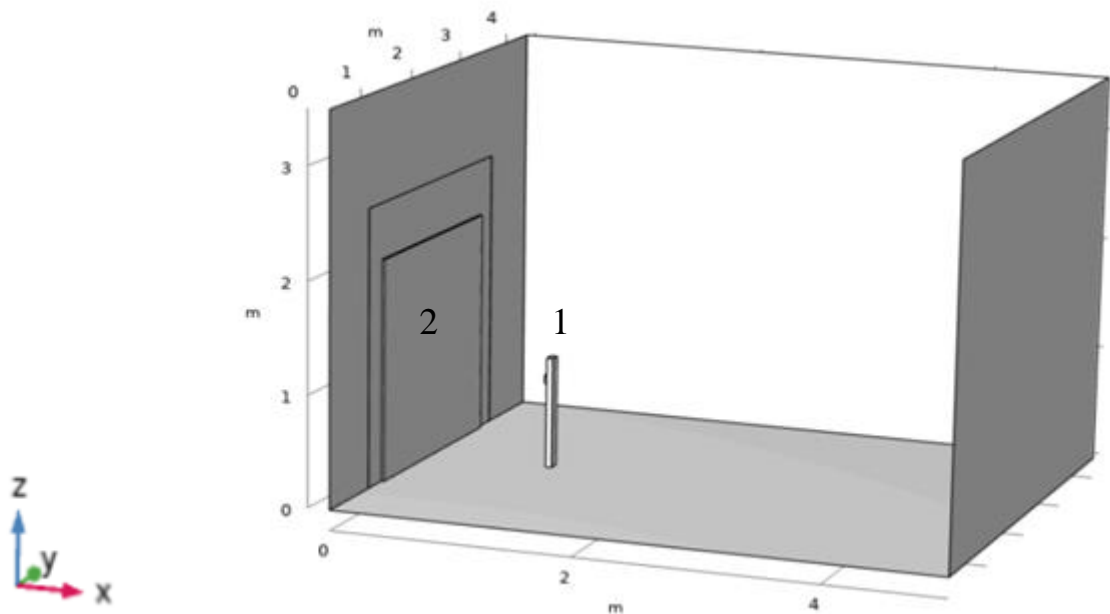


Рисунок 3.1 – Геометрия расчетной области COMSOL Multiphysics (акустический короб) (1 – плоский излучатель звука; 2 – исследуемый образец материала)

3.2 Обоснование выбора материалов для конструирования СИЗ органа слуха

Рационально подобранные материалы звукопоглотителя СИЗ ОС должны обеспечивать установленные нормативные значения шума под чашкой наушника. ПДУ шума в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, которые должны соблюдаться на рабочих местах, представлены в таблице 3.1 [68].

С целью обеспечения защиты от производственного шума в среднем и высоком частотных диапазонах при превышении ПДУ свыше 20 дБ, согласно с требованиями ТР ТС 19/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты», необходимы звукопоглощающие материалы, которые в среднем и высоком диапазонах частот соответствуют 3-му классу акустической эффективности и обеспечивают коэффициент звукопоглощения не менее 0,8 [12, 67, 83].

Таблица 3.1 – ПДУ звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами на рабочем месте

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Выполнение всех видов работ на рабочих местах в производственных помещениях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Нормативная кривая, по которой оценивается эффективность материалов представлена на рисунке 3.2.

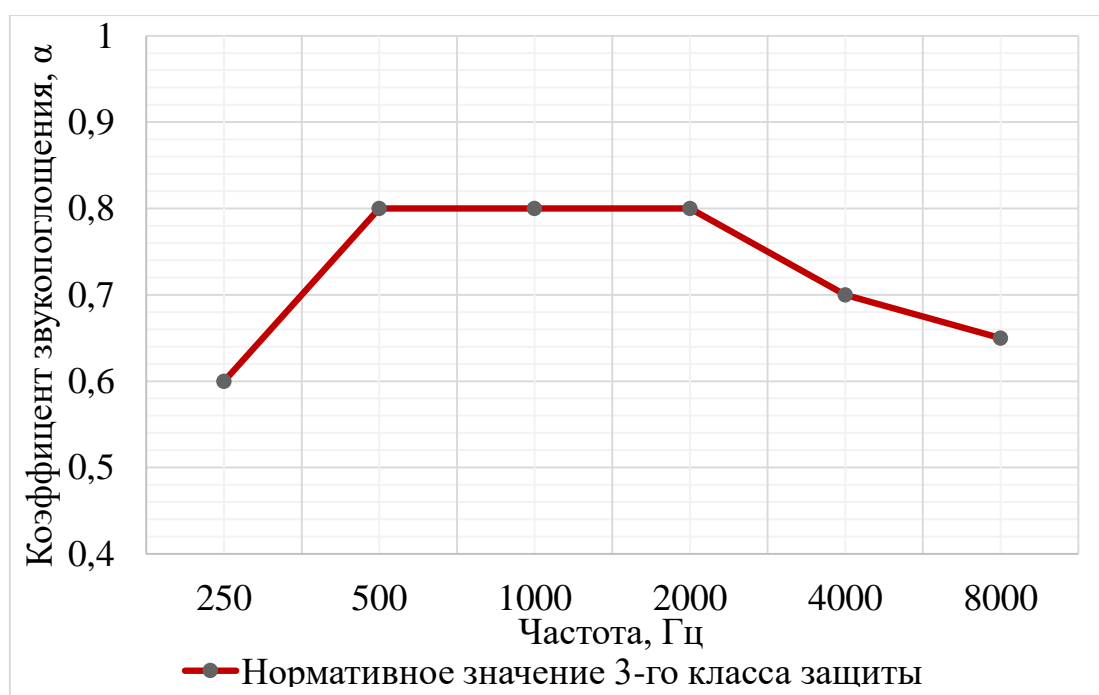


Рисунок 3.2 – Нормативные значения коэффициента звукопоглощения в соответствии с ТР ТС 19/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты»

В связи с тем, что коэффициент звукопоглощения СИЗ ОС в низком частотном диапазоне зависит от структуры и состава используемого звукопоглотителя, а именно его плотности и пористости, а защита в среднем и высоком частотных диапазонах обеспечивается в зависимости от выбранных

акустических характеристик наполнителя чашек и их особенностей конструкции, был проведен анализ акустических характеристик современных материалов, которые применяются в конструкциях СИЗ ОС.

Таким образом, например, в работе М.М. Платонова, Г.Ф. Железина и Т.А. Нестерова освещено исследование акустических свойств пористоволокнистых полимерных материалов, которые соответствуют необходимым нормативам [51]. Авторы исследовали многослойные структуры из материала ВТИ 12 на примере борьбы с авиационным шумом. Было отмечено, что необходимое снижение шума достигается применением конструкций и материалов толщиной более 40 мм.

Исследование и применение классических шумозащитных материалов описано в работах И.М. Дзю, С.В. Викулова, А.П. Пичугина, В.Ф. Хратникова и А.А. Миронова. Авторы оценили акустические свойства войлока, акустических мембран и микропористых материалов. В результате отмечена эффективность материалов, при условии их применения на большой площади и при толщине более 50 мм [22, 38].

Например, в качестве звукопоглощающих вкладышей в конструкции стандартных СИЗ ОС, которые применяются на угольных шахтах АО «ШУ «Садкинское», используется вспененный пенополиуретан. Из него же выполнены и амортизационные валики на ободке чашек наушников. Однако в конструкции используется один слой материала толщиной 15 мм и не обеспечивает необходимой защиты от шума горного оборудования.

Ближайшим аналогом по необходимой акустической эффективности и со вкладышами из известных материалов является готовое техническое устройство – защитные наушники 3М Peltor Optime, имеющие общий коэффициент звукопоглощения 0,82. Установлено, что в частотном диапазоне от 100 Гц до 350 Гц данные наушники усиливают посторонние звуки, однако на частоте 3150 Гц ослабление составляет 29,5 дБ. Уровни снижаемого шума представлены на рисунке 3.3 [83].

Весомым недостатком данного технического изделия является его конструкция: наушники оснащены уплотнительными прокладками, изготовленными из материала, сочетающего в себе вспененную основу и жидкость. Следовательно, в условиях подземной добычи угля данные противошумные наушники могут быть ненадёжными и обладать крайне небольшим сроком использования. К тому же, конструктивные особенности рассмотренных СИЗ ОС делают их сложными и дорогостоящими в производстве.

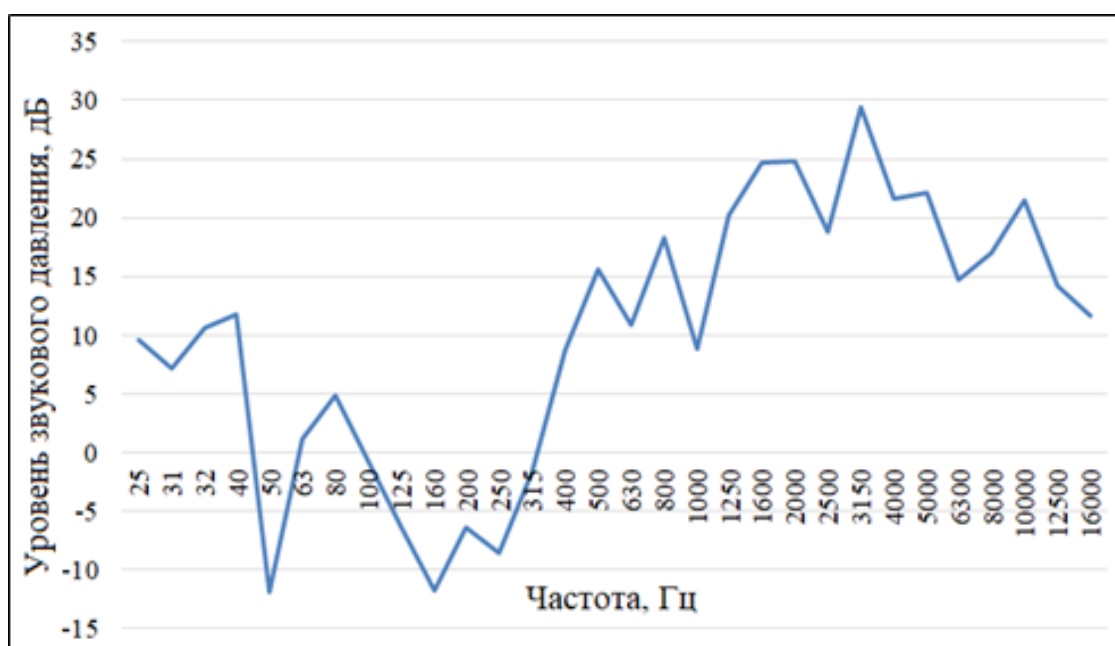


Рисунок 3.3 – Акустическая эффективность наушников 3M Peltor Optime

На основании проведенного литературного анализа и патентного поиска были выбраны перспективные материалы, которые применяются, либо могут применяться при конструировании СИЗ ОС в качестве противошумных вкладышей. Влияние различной толщины и комбинации материалов на их акустическую эффективность в настоящее время полностью не изучено [34].

Отобранными материалами для последующего анализа являлись следующие:

1. Акустический пенополиуретан SPG 2540 применяется для шумоизоляции различных емкостей, оборудования и является наполнителем

стандартных противошумных наушников 2 класса. Является пористым материалом с ячеистой структурой и диаметром пор от 0,01 до 0,5 мм. Преимуществом данного материала является устойчивость к физическому, механическому и термическому воздействию, а также приемлемая технологичность и химическая стойкость.

2. Эластичный пенополиуретан 30 – пористый материал с диаметром пор от 0,4 до 0,7 мм, используется в основном в строительной отрасли для шумоизоляции помещений. Однако его пористая структура является перспективной для исследования в качестве звукопоглотителя в чашках защитных наушников. Стоит отметить, что данный материал устойчив к термическому и пылевому воздействию за счет включения в него композитной крошки.

3. Войлок акустический характеризуется пористо-слоистой структурой. Используется для звукоизоляции спецтехники. Способен поглощать и отражать звуковые волны, что делает изучение его акустических характеристик перспективным.

4. Вспененный пенополиуретан Бипласт 10К в своем составе имеет вязкоэластичный вспененный полиуретан и защитную антиадгезионную пленку. По своим свойствам схож с акустический пенополиуретаном, однако имеет мелкопористую структуру. Диаметр пор составляет от 0,04 до 0,12 мм. За счет своего химического состава устойчив к механическому влиянию, однако имеет слабую устойчивость к термическому воздействию.

5. Акустическая мембрана Звукоизол ВЭМ 2 представляет собой полимерную структуру натуральных и синтетических каучуков с примесью тяжелых минеральных наполнителей класса сульфатов. Благодаря высокой плотности возможно применение в конструкции СИЗ ОС для защиты от низких и средних частот. Обладает высокой устойчивостью к механическому, термическому и химическому воздействию.

6. Пеноалюминий 35% представляет собой твердую пористую структуру и в настоящее время предпринимались попытки использования данного материала в составе шумозащитных экранов. Обладает низкой гигроскопичностью и также является перспективным материалом для использования в конструкции СИЗ ОС. Данный материал устойчив к большим перепадам температур, обладает высокой устойчивостью от химического и термического воздействия.

7. Акустический материал Wolf Vlies представляет собой смесь волокон - джут, лен, хлопок, полиэфирные волокна и применяется в качестве одного из слоев звукопоглотителя в СИЗ ОС, в строительстве. Данный материал является частично экологичным и позволяет обеспечивать экономическую эффективность его использования в различных конструкциях.

3.3 Результаты математического моделирования коэффициента звукопоглощения для однослойных структур

Моделирование проводилось на частотах от 32,5 до 8000 Гц и с различными толщинами материалов. В процессе математического моделирования были изучено распространение звуковых волн в акустическом коробе и определен коэффициент звукопоглощения материалов [68, 69]. Исходные материалы акустического короба зафиксированы в модуле Boundaries, с целью ограничения распространения и отражения звуковой волны.

Пример распространения звуковой волны при моделировании представлен на рисунке 3.4.

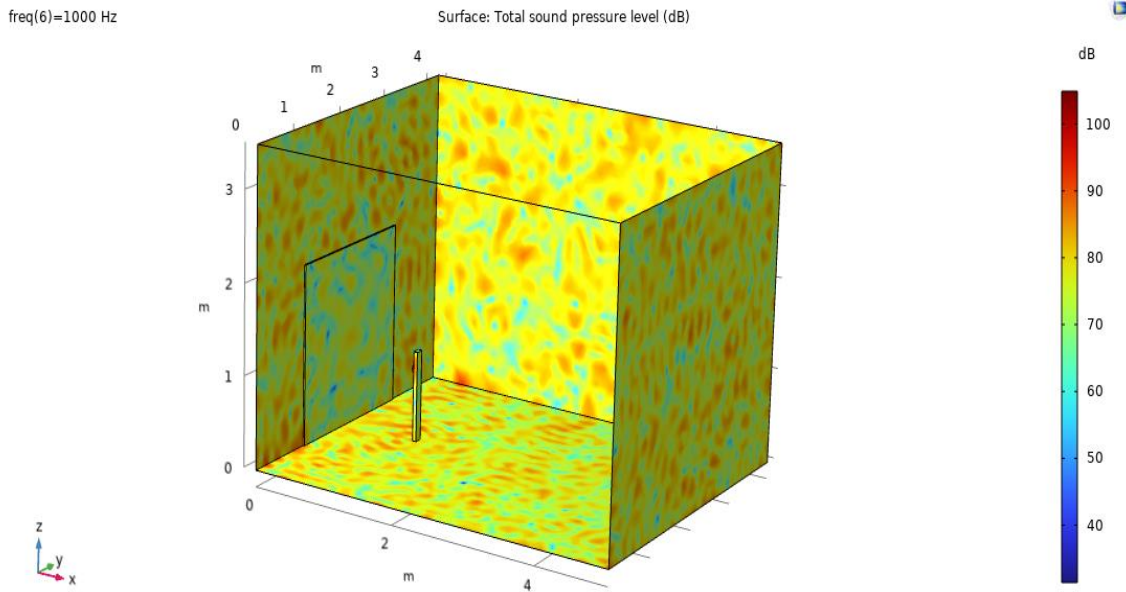


Рисунок 3.4 – Распределения звукового давления в акустическом коробе с образцом акустического пенополиуретана SPG 2540 на частоте 1000 Гц.

1. Акустический пенополиуретан SPG 2540.

Моделирование проводилось для толщин от 10 мм до 25 мм с шагом в 5 мм. Результаты численного моделирования коэффициента звукопоглощения представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Зависимость коэффициента звукопоглощения от толщины акустического пенополиуретана SPG 2540

Частота, Гц	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10 мм	0,165	0,215	0,274	0,278	0,311	0,289	0,207	0,189
15 мм	0,315	0,403	0,427	0,438	0,518	0,502	0,483	0,467
20 мм	0,399	0,488	0,519	0,689	0,711	0,703	0,687	0,623
25 мм	0,478	0,493	0,552	0,714	0,847	0,896	0,867	0,839

2. Эластичный пенополиуретан 30.

Моделирование проводилось аналогично для толщин от 10 мм до 25 мм с шагом в 5 мм. Результаты численного моделирования коэффициента звукопоглощения представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Зависимость коэффициента звукопоглощения от толщины эластичного пенополиуретана 30

Частота, Гц	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10 мм	0,107	0,193	0,211	0,315	0,501	0,537	0,522	0,411
15 мм	0,168	0,217	0,274	0,300	0,431	0,498	0,586	0,527
20 мм	0,231	0,298	0,315	0,502	0,634	0,681	0,611	0,637
25 мм	0,298	0,320	0,411	0,611	0,722	0,759	0,812	0,716

3. Войлок акустический.

Моделирование проводилось аналогично для толщин от 10 мм до 25 мм с шагом в 5 мм. Результаты численного моделирования коэффициента звукопоглощения представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Зависимость коэффициента звукопоглощения от толщины акустического войлока

Частота, Гц	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10 мм	0,096	0,118	0,196	0,267	0,415	0,420	0,396	0,175
15 мм	0,105	0,193	0,215	0,374	0,428	0,536	0,534	0,200
20 мм	0,178	0,251	0,413	0,519	0,618	0,637	0,621	0,219
25 мм	0,211	0,278	0,541	0,682	0,746	0,727	0,701	0,237

4. Вспененный пенополиуретан Бипласт 10К.

Моделирование проводилось для толщин от 10 мм до 25 мм с шагом в 5 мм. Результаты численного моделирования коэффициента звукопоглощения представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Зависимость коэффициента звукопоглощения от толщины вспененного пенополиуретана Бипласт 10К

Частота, Гц	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10 мм	0,131	0,162	0,21	0,279	0,356	0,372	0,366	0,321

Продолжение таблицы 3.5

Частота, Гц	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
15 мм	0,186	0,215	0,412	0,587	0,674	0,718	0,702	0,683
20 мм	0,278	0,311	0,503	0,637	0,751	0,834	0,815	0,761
25 мм	0,301	0,318	0,518	0,641	0,782	0,856	0,837	0,801

5. Акустическая мембрана Звукоизол ВЭМ 2.

Моделирование проводилось для толщин 2 мм и 4 мм. Данные геометрические параметры обусловлены структурой мембраны и ее высокой удельной плотностью. Результаты численного моделирования коэффициента звукопоглощения представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Зависимость коэффициента звукопоглощения от толщины акустической мембраны Звукоизол ВЭМ 2

Частота, Гц	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
2 мм	0,941	0,911	0,861	0,823	0,695	0,456	0,327	0,221
4 мм	0,971	0,983	0,879	0,884	0,661	0,481	0,341	0,224

6. Пеноалюминий 35%.

Моделирование проводилось для толщин от 10 мм до 25 мм с шагом в 5 мм. Результаты численного моделирования коэффициента звукопоглощения представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Зависимость коэффициента звукопоглощения от толщины пеноалюминия 35%

Частота, Гц	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10 мм	0,195	0,283	0,411	0,451	0,453	0,442	0,391	0,285
15 мм	0,298	0,378	0,473	0,519	0,539	0,507	0,418	0,328
20 мм	0,361	0,411	0,539	0,645	0,698	0,651	0,501	0,389
25 мм	0,471	0,539	0,683	0,729	0,784	0,755	0,513	0,471

7. Акустический материал Wolf Vlies.

Моделирование проводилось для толщин от 10 мм до 25 мм с шагом в 5 мм. Результаты численного моделирования коэффициента звукопоглощения представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Рассчитанные коэффициенты звукопоглощения акустического материала Wolf Vlies

Частота, Гц	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10 мм	0,101	0,135	0,196	0,374	0,428	0,411	0,388	0,203
15 мм	0,117	0,192	0,398	0,421	0,458	0,451	0,444	0,251
20 мм	0,237	0,329	0,401	0,536	0,601	0,599	0,568	0,299
25 мм	0,301	0,358	0,443	0,582	0,646	0,629	0,6	0,301

Анализ результатов математического моделирования показал, что для защиты от шума в средних и высоких частотных диапазонах лучше всего подходит акустический пенополиуретан SPG 2540. Однако необходимый коэффициент звукопоглощения достигается при толщине материала более 25 мм. Другие отобранные материалы достигают необходимого значения коэффициента звукопоглощения при толщинах более 50 мм.

Таким образом, подходящим средним коэффициентом звукопоглощения не менее 0,8 обладает акустический пенополиуретан SPG 2540 при толщинах, более 25 мм.

В то же время конструирование СИЗ ОС с применением материалов толщиной более 20 мм в реальных условиях невозможно, в связи с конструктивными особенностями защитных наушников. Следовательно, необходимо исследовать многослойные структуры.

Сравнение полученных коэффициентов при толщине материалов 25 мм, акустической мембраны Звукоизол ВЭМ 2 и нормативная кривая 3-го класса защиты представлены на рисунке 3.5.

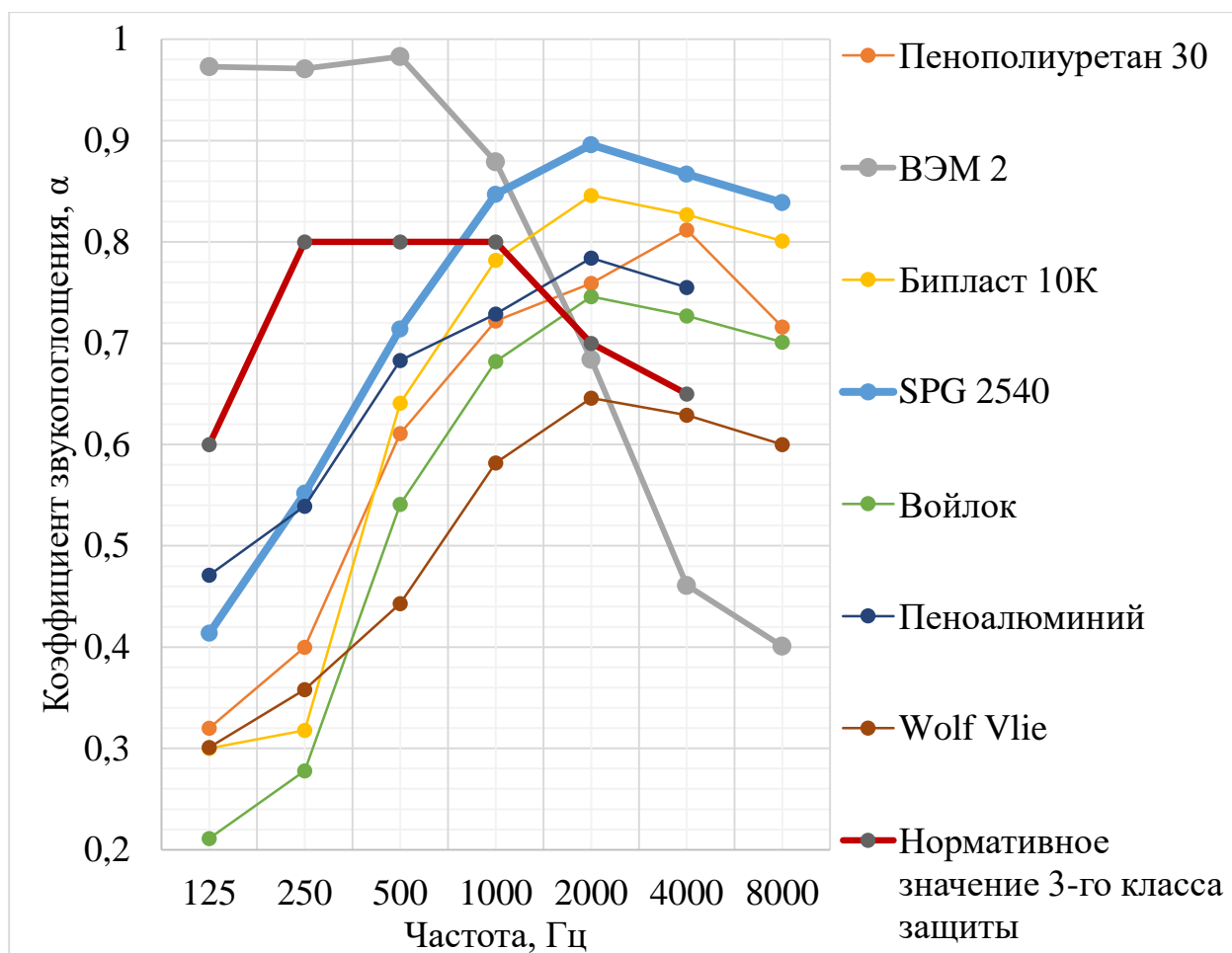


Рисунок 3.5 – Результаты численного расчета коэффициента звукопоглощения исследуемых материалов

3.4 Результаты математического моделирования звукопоглощения для многослойных структур

С целью снижения уровня воздействия непостоянного шума на орган слуха подземного персонала угольных шахт во всем слышимом диапазоне частот необходимо рассматривать сочетания материалов при толщинах слоев от 10 до 20 мм, обусловленных размером вкладыша СИЗ ОС не более 22 мм. Так, были рассмотрены различные сочетания исследуемых материалов, однако, наиболее перспективным является сочетание акустической мембраны Звукоизол ВЭМ 2 и акустического пенополиуретана SPG 2540, исходя из исследований данных материалов по одному слою. Моделирование проходило аналогично с применением программного комплекса COMSOL Multiphysics.

На основании проведенного численного моделирования коэффициента звукопоглощения было определено, что толщина акустического пенополиуретана 20 мм и акустической мембраны 2 мм позволяет использовать их при конструировании СИЗ ОС. Полученные результаты коэффициентов звукопоглощения двухслойной структуры представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Рассчитанные коэффициенты звукопоглощения (α) двухслойной структуры

Частота, Гц	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
α	0,902	0,923	0,917	0,941	0,839	0,867	0,853	0,826

Таким образом, анализ результатов моделирования показал, что при использовании комбинации акустического пенополиуретана SPG 2540 и Звукоизола ВЭМ 2 возможно добиться общего звукопоглощения 0,86, тем самым возможно обеспечить защиту органа слуха от производственных шумов в высоких, средних и низких частотных диапазонах.

3.5 Верификация результатов моделирования

Верификация результатов численного моделирования коэффициентов звукопоглощения проводилась путем сравнения с результатами расчетов по аналитической формуле (3.5). Данная формула позволяет произвести расчет коэффициента звукопоглощения пористого материала с учетом интенсивности падающего и отраженного звукового потока в координатной плоскости X0Z (Санитарные правила 51.13330.2011 Защита от шума) [75].

$$\alpha = \frac{I_{\text{пад}} - I_{\text{отр}}}{I_{\text{пад}}}, \quad (3.5)$$

где $I_{\text{пад}} = \frac{P^2}{\rho \cdot c}$ - интенсивность поступающего шума, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$; (P - звуковое давление, Па);

$\rho \cdot c$ - удельное акустическое сопротивление среды, $\frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$;

$$I_{\text{отр}} = I_{\text{пад}} \cdot \left(1 - \frac{h \cdot (1+Q^2)}{Q^2}\right) - \text{интенсивность отражённого шума, } \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

$$Q = \frac{m_p \cdot f}{\rho \cdot c} - \text{безразмерный комплекс;}$$

m_p - поверхностная плотность материала, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$;

f - частота, Гц;

ρ - плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$;

c - скорость звука в воздухе, м/с;

h - толщина материала, м.

Полученные результаты акустической характеристики исследуемых материалов показывают, что для борьбы с шумом в средних и высоких частотных диапазонах предпочтительнее акустический пенополиуретан SPG 2540 (таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Значения рассчитанного коэффициента звукопоглощения в зависимости от материала в октавных полосах со среднегеометрическими частотами

Частота, Гц	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Материал	Коэффициент звукопоглощения, α							
Акустический пенополиуретан SPG 2540	0,463	0,511	0,622	0,781	0,857	0,891	0,874	0,845
Вспененный пенополиуретан Бипласт 5К	0,213	0,413	0,485	0,612	0,713	0,816	0,799	0,731
Акустическая мембрана Звукоизол ВЭМ 2	0,936	0,921	0,919	0,871	0,723	0,481	0,370	0,269

Продолжение таблицы 3.10

Частота, Гц	62,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Материал	Коэффициент звукопоглощения, α							
Эластичный пенополиуретан 30	0,278	0,319	0,400	0,587	0,713	0,748	0,819	0,709
Войлок акустический	0,216	0,251	0,468	0,591	0,711	0,739	0,641	0,328
Пеноалюминий 35 %	0,439	0,521	0,639	0,723	0,791	0,769	0,747	0,513
Wolf Vlie	0,278	0,360	0,441	0,571	0,654	0,647	0,600	0,375

Коэффициент звукопоглощения акустического пенополиуретана SPG 2540 в диапазоне частот от 500 Гц до 4000 Гц составил от 0,78 до 0,87. Так, в соответствии с ГОСТ 23499-2009 акустический пенополиуретан SPG 2540 относится к В-классу по коэффициенту звукопоглощения (рисунок 3.6), и согласно ТР ТС 19/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты» данный материал соответствует 3-му классу шумозащиты и способен поглощать шум в среднем и высоком диапазонах до 110 дБ [13]. Однако данный материал не соответствует необходимому классу шумозащиты в низком частотном диапазоне.

Полученные результаты численного моделирования и расчета по аналитической формуле свидетельствуют, что наиболее эффективным будет применение акустического пенополиуретана SPG 2540 совместно с акустической мембраной Звукоизол ВЭМ 2. Значения коэффициентов звукопоглощения материалов во всем слышимом диапазоне представлены на рисунке 3.7.

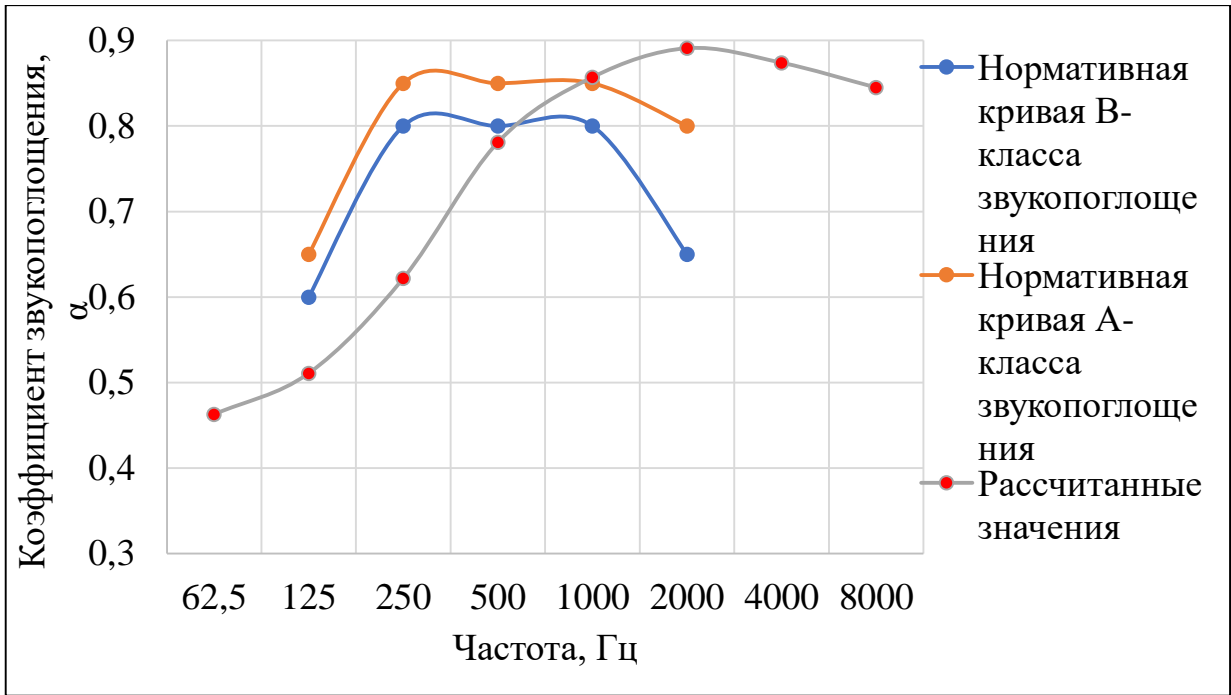


Рисунок 3.6 – Нормативные кривые, ограничивающие классы звукопоглощения и рассчитанный коэффициент звукопоглощения акустического пенополиуретана SPG 2540

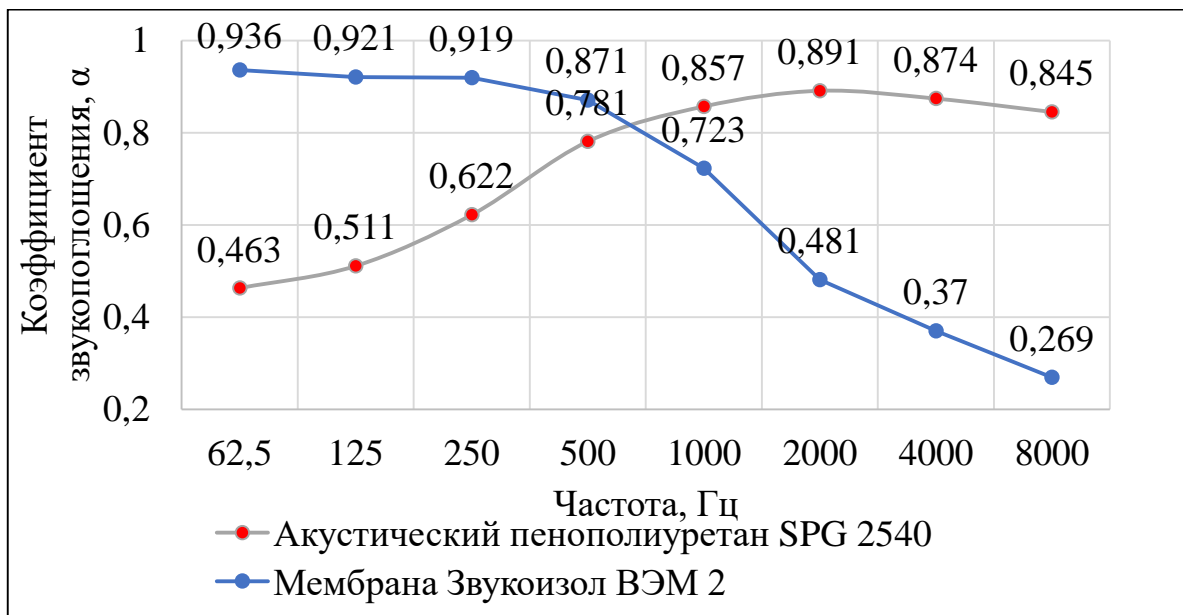


Рисунок 3.7 – Значения коэффициентов звукопоглощения для акустического пенополиуретана SPG 2540 и мембраны Звукоизол ВЭМ 2

Результаты расчета по аналитической формуле показателя звукопоглощения исследуемых материалов показывают высокий уровень

сходимости с результатами численного математического моделирования (рисунок 3.8).

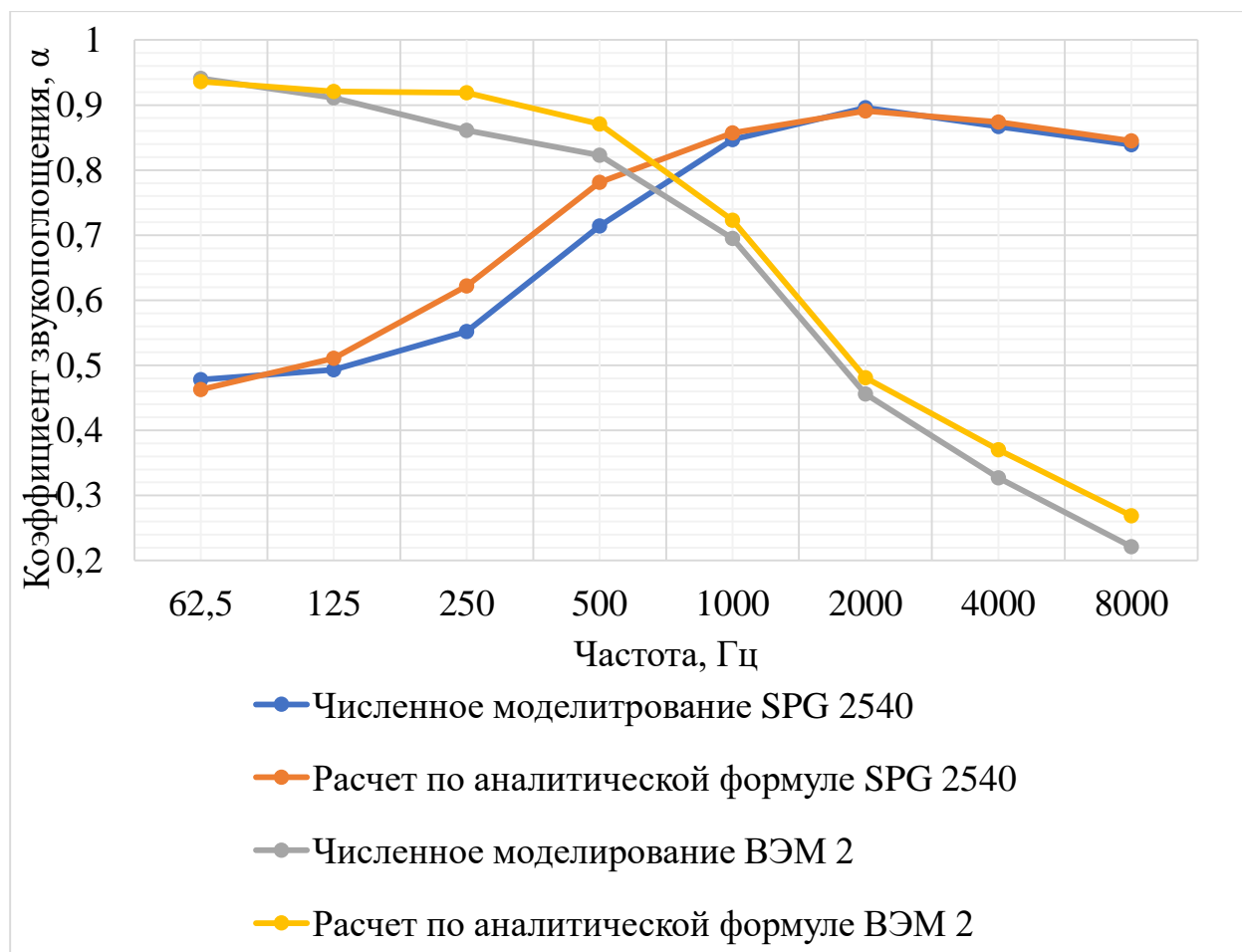


Рисунок 3.8 – Сравнение результатов численного моделирования и расчета по аналитической формуле коэффициента звукопоглощения акустического пенополиуретана SPG 2540 и акустической мембраны Звукоизол ВЭМ 2

3.6 Выводы по третьей главе

1. Для исследования акустических свойств были отобраны акустический пенополиуретан SPG 2540, эластичный пенополиуретан 30, войлок акустический, вспененный пенополиуретан Бипласт 10К, акустическая мембрана Звукоизол ВЭМ 2, пеноалюминий 35%, акустический материал Wolf Vlies. С целью определения коэффициентов звукопоглощения, было использовано численное моделирование методом конечных элементов.

3. Результаты математического моделирования звукопоглощения одного слоя материалов свидетельствуют о том, что использование

акустического пенополиуретана SPG 2540 обеспечит достаточно высокий уровень поглощения шума в среднем и высоком частотном диапазоне. Так, в диапазоне частот от 1000 до 4000 Гц установлен коэффициент звукопоглощения 0,83 – 0,87 при толщине материала 25 мм. Однако применение данного материала с такими геометрическими параметрами в конструкции СИЗ ОС невозможно в связи с ограниченным пространством в чашках противошумных наушников.

4. Анализ результатов математического моделирования двухслойных структур показал, что применение акустического пенополиуретана SPG 2540 толщиной 20 мм и акустической мембраны Звукоизол ВЭМ 2 толщиной 2 мм позволит добиться общего коэффициента звукопоглощения 0,86. Из верификации акустической модели, на основе сравнения результатов численного моделирования и расчёта коэффициентов звукопоглощения по аналитической формуле следует, что материалы подобраны верно. Следовательно, комбинация данных материалов подходит для изготовления звукопоглотителя в конструкции СИЗ ОС.

ГЛАВА 4 КОНСТРУИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНА СЛУХА

4.1 Экспериментальное определение акустических параметров материалов, применяемых в конструкции СИЗ ОС

С целью обоснования выбора материалов для использования в СИЗ ОС была проведена серия экспериментальных измерений акустических параметров с использованием трубы Кундта по методике ISO 10534-2 [98].

Методика испытаний согласно установленному стандарту предполагает измерение с применением импедансной трубки, двух мест расположения микрофонов и системы цифрового частотного анализа для определения коэффициента звукопоглощения материалов при нормальном уровне распространения звука. Выбранный метод измерений связан с тем, что коэффициенты полного сопротивления звукопоглощающего материалов напрямую связаны с его физическими свойствами, такими как сопротивление воздушному потоку, пористость, эластичность и плотность.

Экспериментальный стенд состоит из: трубы Кундта (тип 4002) двух размеров; генератора звука; многофункционального регистратора "Экофизика"; измерителя параметров микроклимата (тип "Метеоскоп-М"), осциллографа, частотомера (рисунок 4.1).

Все экспериментальные измерения проводились в аккредитованной лаборатории на базе ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова»; результаты проведенных испытаний включены в протоколы измерений акустических параметров образцов продукции звукопоглощающих материалов.

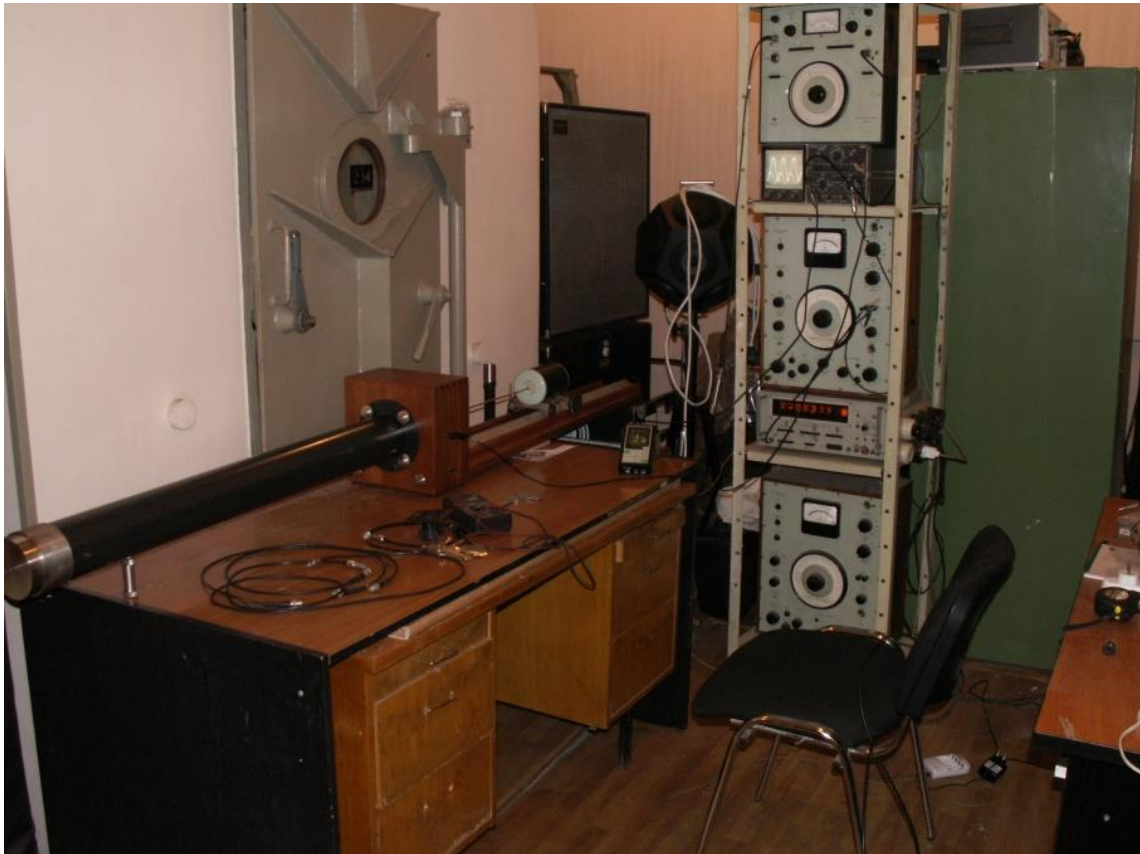


Рисунок 4.1 – Экспериментальный стенд – труба Кундта

Перед экспериментальным измерением расстояние между микрофонами и расстояние от ближайшего микрофона до жесткой стенки были откалиброваны путем многократного тестирования без противозвучных материалов. Цилиндрические образцы диаметром 100 и 30 мм были подготовлены из исследуемых материалов с помощью высекальной машины и закреплены на жесткой пластине на правом конце импедансной трубки (рисунок 4.2). Динамик-громкоговоритель генерирует широкополосные стационарные звуковые волны в диапазоне частот от 80 до 8000 Гц. Звуковая волна распространяется в импедансной трубке, попадает на образец и отражается. Наложение падающих и отраженных звуковых волн создает стоячую волну в импедансной трубке. Затем коэффициент звукопоглощения определяется путем одновременного измерения звукового давления с помощью двух микрофонов типа МРА 416 1/4. Микрофоны, установленные таким образом, чтобы диафрагма находилась на одном уровне с внутренней поверхностью трубки в двух фиксированных положениях, передают значения.

Зафиксированные данные необходимы для вычисления комплексной передаточной функции с помощью цифрового частотного анализатора. Каждый образец испытывался по три раза с целью определения среднего значения.



Рисунок 4.2 – Пример исследуемого образца материала

Для определения коэффициента звукопоглощения на частотах от 125 до 1600 Гц используется «короткая» импендансная трубка с диаметром 30 мм (рисунок 4.3). Определение акустических свойств материалов на частотах больше 1600 Гц происходит с применением «большой» импендансной трубки диаметром 100 мм [98].

Таблица 4.1 – Условия проведения измерений

Параметр	При измерениях в диапазоне частот 125 - 1600 Гц	При измерениях в диапазоне частот 80 - 8000 Гц
Температура, t, °С	22	24
Относительная влажность воздуха, Н, %	21	14

Продолжение таблицы 4.1

Параметр	При измерениях в диапазоне частот 125 - 1600 Гц	При измерениях в диапазоне частот 80 - 8000 Гц
Атмосферное давление, Р, мм.рт.ст.	744	748
Скорость распространения звука, V(зв), м/с	344,4	345,5
Плотность воздуха в заданных условиях, ρс	41,17	41,25



Рисунок 4.3 – «Короткая» трубка Кундта в экспериментальном стенде

Первоначально было проведено экспериментальное измерение отобранных образцов из наиболее подходящих для конструирования звукопоглощающих вкладышей СИЗ ОС материалов. В ходе каждого измерения фиксировалось максимальное и минимальное значение звукового

давления и расстояние, на котором фиксировались пики на каждой среднегеометрической частоте октавных полос. Установка значения среднегеометрических частот происходило в ручном режиме путем изменения силы поданного сигнала генератором. Исходя из данных измерений, были получены следующие акустические параметры: α – коэффициент звукопоглощения, r – коэффициент звукоотражения, Z – модуль импеданса согласно методике ISO 10534-2 Акустика [98].

Результаты измерений акустических параметров акустического пенополиуретана SPG 2540 и мембраны Звукоизол ВЭМ 2 представлены в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2 – Результаты расчета акустических параметров акустического пенополиуретана SPG 2540 в диапазоне 800 - 8000 Гц

f, Гц	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6200	8000
α	0,826	0,837	0,858	0,886	0,852	0,874	0,938	0,861	0,882	0,899	0,893
r	0,860	0,833	0,747	0,338	0,590	0,886	0,249	0,663	0,564	0,031	0,085
Z	13,32	10,24	9,36	23,71	11,47	2,91	24,59	8,32	11,51	43,12	36,49

Таблица 4.3 – Результаты расчета акустических параметров Звукоизол ВЭМ 2 в диапазоне 125 - 1600

f, Гц	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1601
α	0,92 7	0,93 1	0,90 6	0,847	0,815	0,80 3	0,79 1	0,78 3	0,74 7	0,70 6	0,65 3	0,52
r	0,26 9	0,51 9	0,86	0,695	0,664	0,68 7	0,73 1	0,77	0,82 2	0,85 2	0,88 8	0,947
Z	623, 78	497, 07	286, 2	308,7 2	165,9 3	167, 62	161, 79	143, 91	95,2 3	75,8 8	54,6 9	36,68

Экспериментальные данные акустических характеристик исследуемых материалов сравнивались с результатами численного моделирования и расчета по аналитической формуле, выполненными ранее. Полученные результаты отображены на рисунках 4.4 и 4.5.

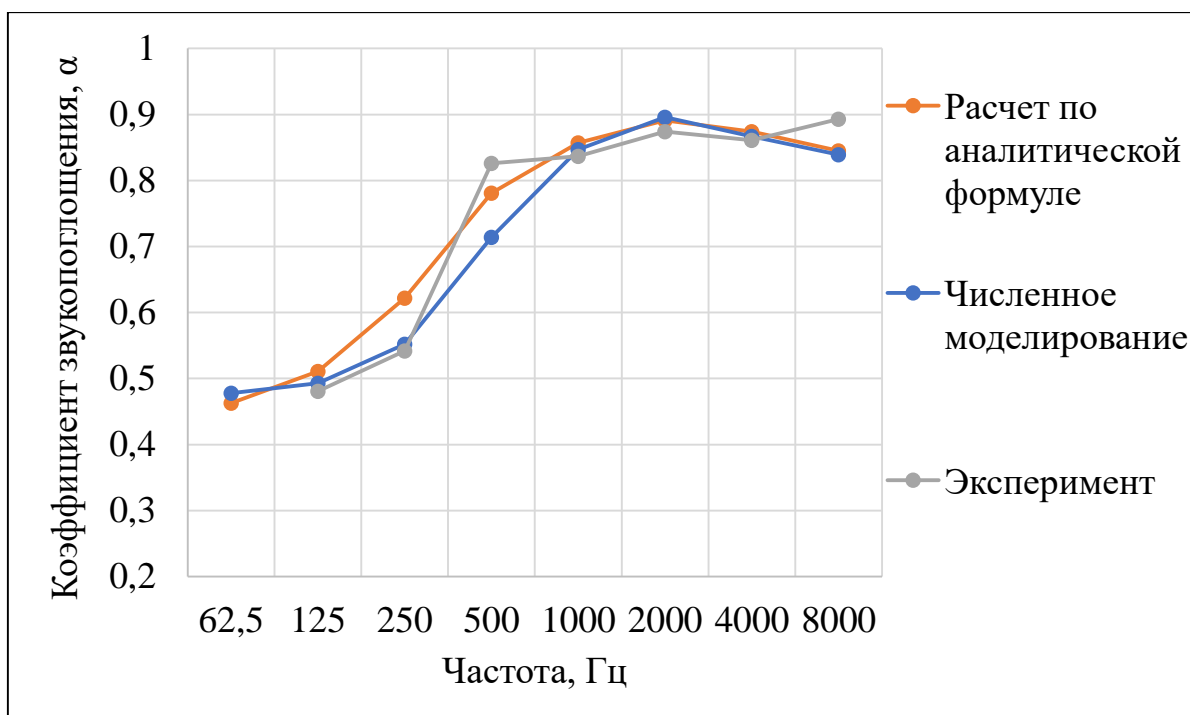


Рисунок 4.4 – Значения коэффициента звукопоглощения акустического пенополиуретана SPG 2540, полученные численным моделированием, расчетом по аналитической формуле и экспериментальным методом

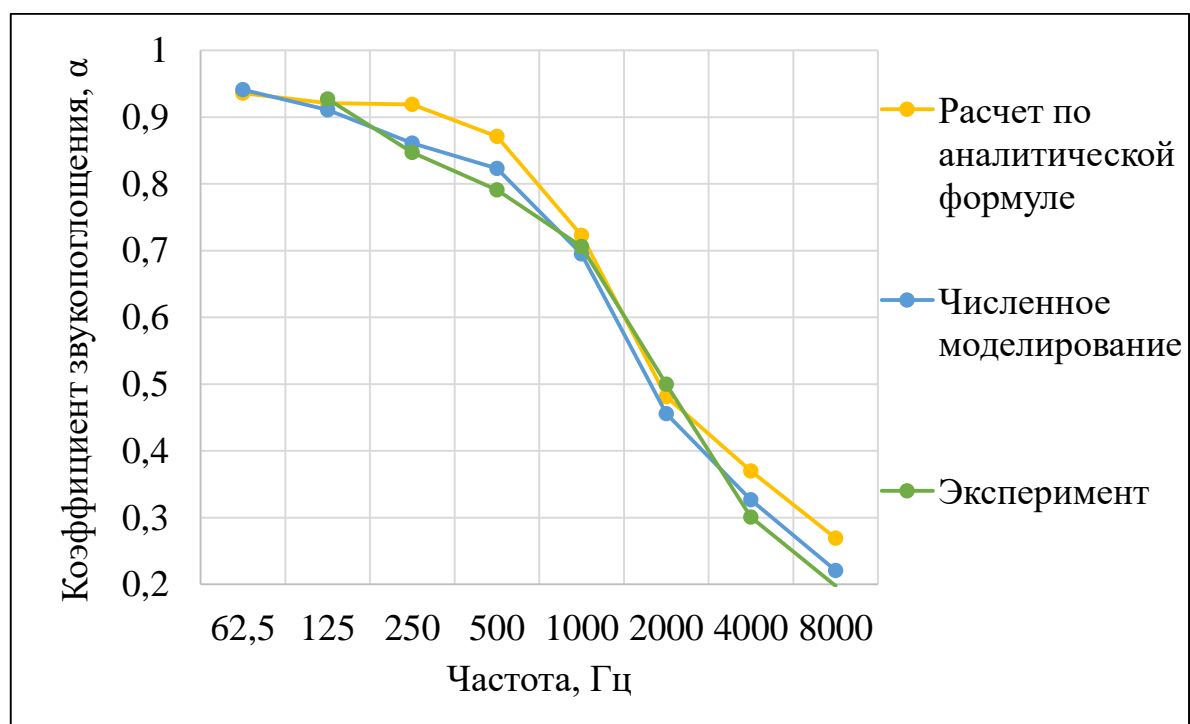


Рисунок 4.5 – Значения коэффициента звукопоглощения акустической мембраны Звукоизол ВЭМ 2, полученных численным моделированием, расчетом по аналитической формуле и экспериментальным методом

Таким образом, были определены следующие средние коэффициенты звукопоглощения с использованием трубы Кундта по методике ISO 10534-2: для акустического пенополиуретана SPG 2540 – 0,87; для акустической мембраны Звукоизола ВЭМ 2 – 0,78.

Стоит отметить, что акустическая мембрана обеспечивает высокую защиту от шума в низком частотном диапазоне, что было установлено и в процессе моделирования. Однако ее эффективность значительно снижается на частотах свыше 800 Гц.

Средний коэффициент звукопоглощения акустического пенополиуретана SPG 2540 толщиной в 20 мм составил 0,87, но данный материал малоэффективен в низкочастотном диапазоне. Он эффективно работает в качестве звукопоглотителя, начиная с частоты в 100 Гц. В связи с тем, что толщина наполнителя в защитных наушниках является критическим параметром, использование данного материала возможно с акустической мембраной.

Результаты определения коэффициентов звукопоглощения при комбинации данных материалов представлены на рисунке 4.6.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают, что использование однослойных материалов с целью конструирования СИЗ ОС в реальных условиях может не обеспечить требуемую защиту работников.

Следующим этапом экспериментального исследования явилось измерение акустических параметров двухслойной конструкции. Измерения проводились по методике, аналогично как в случае с однослойными материалами.

Структура, состоящая из первого слоя звукопоглотителя акустического пенополиуретана SPG 2540 и второго слоя звукопоглотителя акустической мембраны Звукоизол ВЭМ 2, характеризуется коэффициентами звукопоглощения, представленными в таблице 4.4.

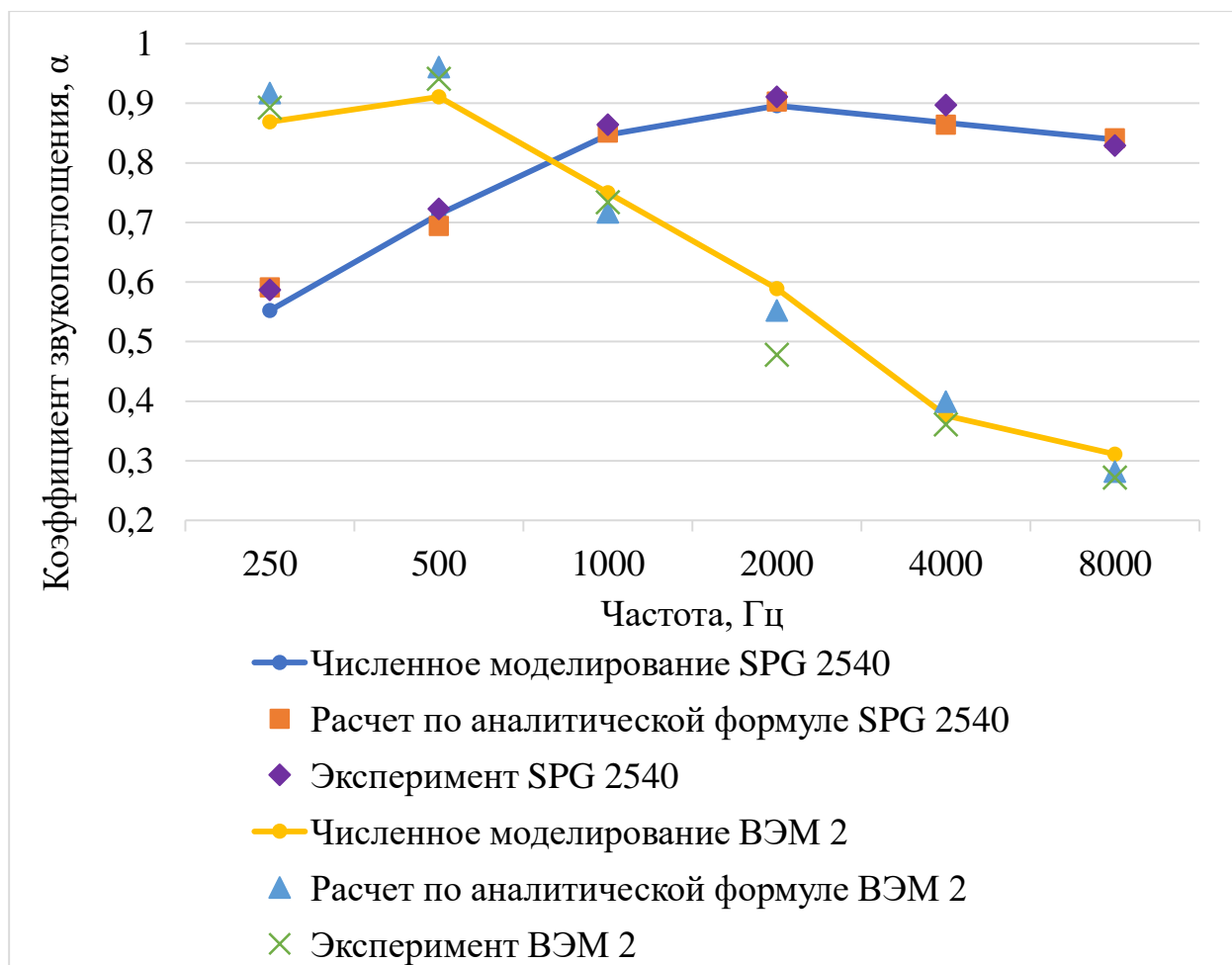


Рисунок 4.6 – Значения коэффициента звукопоглощения исследуемых материалов в октавных полосах частот, полученные численным моделированием, расчетом по аналитической формуле и экспериментальным методом

Таблица 4.4 – Результаты измерения коэффициента звукопоглощения (α) двуслойной структуры

Частота, Гц	125	250	500	1000	2000	4000	8000
α	0,937	0,923	0,961	0,864	0,861	0,857	0,809

Таким образом, экспериментально с использованием трубы Кундта на базе стандарта ISO 10534-2, было получено, что двухслойная структура, состоящая из акустического пенополиуретана SPG 2540 и акустической мембраны Звукоизол ВЭМ 2 имеет средний коэффициент звукопоглощения 0,88, что позволяет обеспечить необходимую степень защиты органа слуха работника.

4.2 Конструирование СИЗ ОС с необходимыми защитными параметрами

На основе проведенных теоретических расчетов и экспериментальных исследований сконструирована полезная модель противошумных наушников с двухслойной структурой вкладыша, обеспечивающая акустическую эффективность до 27 дБ во всех частотных диапазонах слышимого шума (рисунок 4.7).

Противошумные наушники для условий подземных горных работ в угольных шахтах включают пластиковое оголовье 1, изготовленное из негорючего композитного материала, на котором закреплен защитный кожух 2, выполненный из кожзаменителя. В нижней части оголовья 1 закреплена штанга-регулировка длины наушников 3. На верхней поверхности штанги-регулировки длины наушников 3 выполнены зубья 4 из композитного материала с возможностью фиксации настройки посадки на орган слуха. Оголовье 1 соединено с возможностью съема и вращения креплением 5 к дуге крепления 6 чашки наушников 7. Чашки наушников 7 соединены с возможностью съема и вращения креплением 5 с дугой крепления 6. Чашки наушников 7 выполнены из ABS-пластика и представляют собой полую конструкцию, в которой закреплена многослойная структура. Первый слой звукопоглотителя 10 выполнен из акустического пенополиуретана SPG 2540 толщиной от 18 до 20 мм и представляет собой открытопористую ячеистую структуру. Вторым слоем звукопоглотителя 11 выполнен из акустической мембраны Звукоизол ВЭМ 2 толщиной от 2 до 4 мм. Звукопоглотители выполнены в форме прямоугольника, которые соединены

между собой липким полимерным слоем, который нанесен на акустическую мембрану Звукоизол ВЭМ 2. За звукопоглотителями образован свободный объем 12. На чашках наушников 7 на верхней и нижней боковой части выполнены продольные противоскользящие насечки 9. Прижимной амортизационный валик 8, выполнен в форме цилиндра на всей внутренней боковой части чашек наушников 7. Прижимной амортизационный валик 8 выполнен из акустического пенополиуретана SPG 2540. С внутренней стороны чашки наушника 7, по верх первого слоя звукопоглотителя крепится защитная сетка звукопоглотителя 13 на тканевой основе.

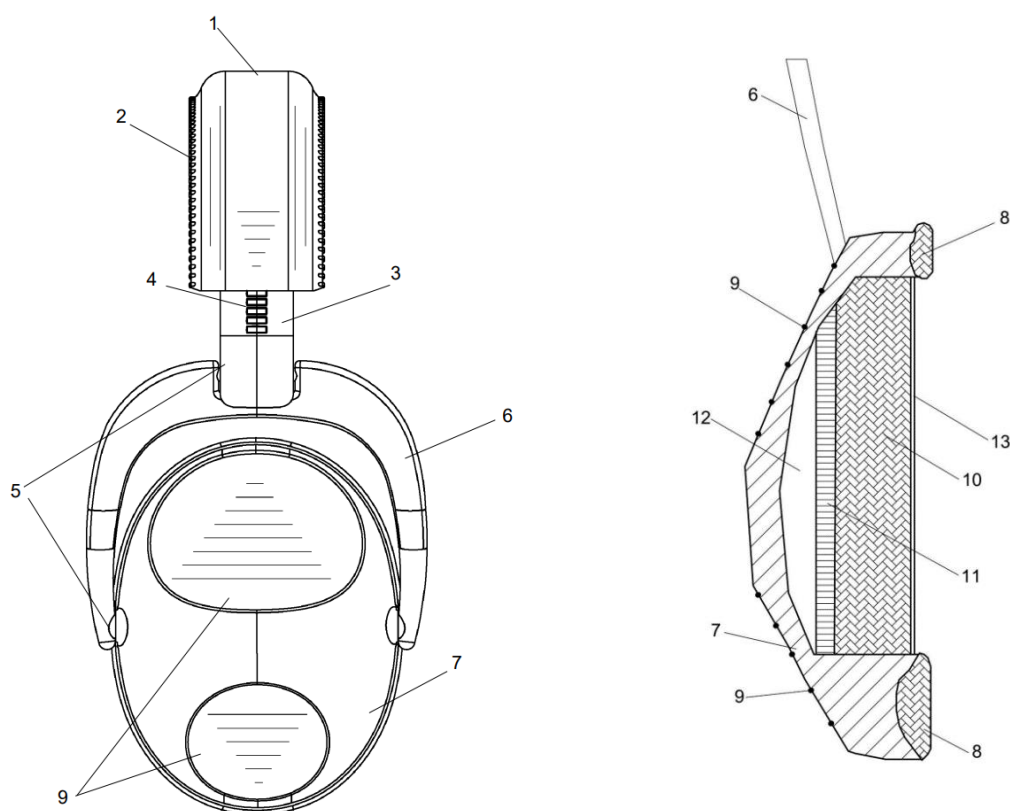


Рисунок 4.7 – Принципиальная схема сконструированных противошумных наушников с двухслойной структурой звукопоглотителя (1 – оголовье; 2 – защитный кожух; 3 – штанга-регулировка длины наушников; 4 – зубья; 5 – крепление; 6 – дуга крепления; 7 – чашка наушника; 8 – прижимной амортизационный валик; 9 – противоскользящие насечки; 10 – первый слой звукопоглотителя; 11 – второй слой звукопоглотителя; 12 – свободный объем чашки наушника; 13 – защитная сетка звукопоглотителя)

Устройство работает следующим образом. Корректировка длины наушников осуществляется штангой-регулировкой длины наушников 3 и зубьями 4. Крепление 5 представляет штифтовое соединение для обеспечения подвижности и обеспечения подбора комфортной посадки защитных наушников. Защита органа слуха от низких частот в диапазоне от 100 Гц до 500 Гц обеспечивается прижимом амортизационного валика 8, выполненного из акустического пенополиуретана SPG 2540 и вторым слоем звукопоглотителя 11 - мембраной Звукоизол ВЭМ 2. Данная конструкция в представленном частотном диапазоне обеспечивает коэффициент звукопоглощения от 0,89 до 0,92. Защита органа слуха от воздействия шума в среднем и высоком частотных диапазонах обеспечивается первым слоем звукопоглотителя 10, который входит в состав чашки наушников 7. Коэффициент звукопоглощения на частотах от 1000 Гц до 6000 Гц обеспечивается в диапазоне от 0,83 до 0,86. На частотах выше 4000 Гц дополнительное ослабление уровня шума в наушниках достигается интерференционным сложением звуковых волн во внутреннем объеме 12 за счет сдвига фаз колебаний звуковой волны в открытопористой ячеистой структуре. Для обеспечения защиты первого слоя звукопоглотителя 10 от загрязнений и физического воздействия по верх установлена защитная сетка 13.

Двухслойная структура имеет средний коэффициент звукопоглощения 0,88 и позволяет обеспечить высокую степень шумопоглощения на низких, средних и высоких частотах, обеспечивая эффективную защиту органа слуха от производственного шума горного оборудования в условиях подземных горных выработок.

Сконструированная полезная модель противозумных наушников защищена патентом №226029 от 17.05.2024 [47].

Для определения акустической эффективности сконструированного СИЗ ОС, была проведена серия экспериментальных измерений с

использованием искусственной бинауральной головы и поверенных внутриканальных наушников по методике ГОСТ 12.4.318-2019 (ISO 4869-3:2007) «Средства индивидуальной защиты органа слуха» [12] (рисунок 4.8).

В ходе выполнения измерений соблюдались необходимые условия, а именно:

1. Искусственная бинауральная голова закреплена под прямым углом к центральной оси на опоре, покрытой резиной и акустическим ковром для исключения дополнительного отражения звуковой волны.

2. Уровни звукового давления фонового шума зафиксированы во всех третьоктавных полос частот и отличается от тестового сигнала более чем на 20 дБ.

3. Уровни звукового давления, зафиксированные с правого и левого торцов искусственной головы, отличаются менее чем на 2 дБ.

4. Для исследования акустической эффективности использовалась акустически подготовленная комната из звуконепроницаемых стендов, которые исключают прохождение звука снаружи помещения.

Измерение акустической эффективности СИЗ ОС проводится в два этапа в подготовленной звуковой комнате: 1) измерение без использования противошумных наушников; 2) измерение уровней звукового давления с использованием защитных наушников. Была проведена серия измерений: по 5 измерений с интервалом между фиксацией значений звукового давления в 60 с. с применением многофункционального регистратора «Экофизика» и внутриканальные микрофоны DPA4060/61.

Акустическая эффективность определяется как разница уровней звукового давления без противошумных наушников и с их применением. Полученные результаты были зафиксированы и обработаны специализированным комплексом LMS Virtual.Lab. В его основе лежит формула 4.1 для расчета акустической эффективности в соответствии с нормативными документами.



Рисунок 4.8 – Экспериментальный стенд измерения акустической эффективности с использованием искусственной головы

Определение акустической эффективности проходило в соответствии с формулой 4.1.

$$\gamma = L_{open} - L_{occl} + \sum_{i=1}^3 \delta_i, \text{ дБ} \quad (4.1)$$

где L_{open} - уровень звукового давления, измеренный без применения противошумных наушников, дБ;

L_{occl} - уровень звукового давления, измеренный с использованием сконструированных противошумных наушников, дБ;

δ_i - погрешности: δ_1 - погрешность, определяемая отклонением от номинальных характеристик искусственной головы;

δ_2 - погрешность, определяемая отклонением характеристик звуковых волн;

δ_3 - погрешность, определяемая неопределенностью характеристик измерительного оборудования.

В связи с тем, что измерения проводились в соответствии с ГОСТ 12.4.318-2019 и измерительные приборы соответствуют изложенным требованиям, используются коэффициенты чувствительности равными 1 и среднее значение каждой ошибки δ_i считается равным нулю. В соответствии с этим суммарная стандартная неопределенность принимается равной 1,3 дБ [12].

В результате экспериментальных исследований определена акустическая эффективность разработанных наушников - 27 дБ (рисунок 4.9).

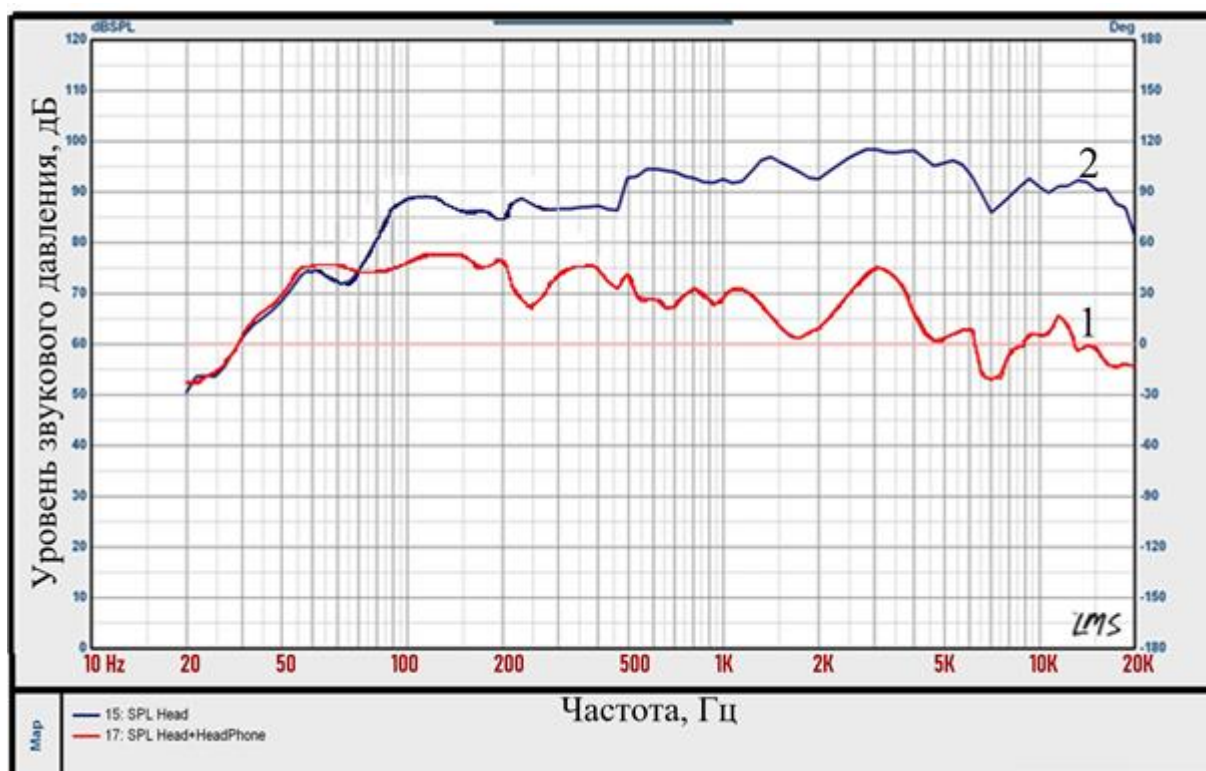


Рисунок 4.9 – Уровни звукового давления, измеренные с использованием сконструированных СИЗ ОС (1) и искусственной головы без СИЗ ОС (2)

Таким образом, представленная конструкция СИЗ ОС в частотном диапазоне от 125 Гц до 8000 Гц обеспечивает коэффициент звукопоглощения от 0,89 до 0,92, что позволяет обеспечить защиту работников во всем диапазоне слышимых частот.

На частотах выше 4000 Гц дополнительное ослабление уровня шума в наушниках достигается интерференционным сложением звуковых волн во

внутреннем объеме за счет сдвига фаз колебаний звуковой волны в открытопористой ячеистой структуре.

4.3 Оценка экономической эффективности применения СИЗ ОС разработанной конструкции

Уменьшение экономических потерь организации за счет внедрения мероприятий по охране труда, к которым относится и применение СИЗ ОС, может обеспечиваться возможным снижением класса (подкласса) условий труда за счет применения сконструированных и сертифицированных в установленном порядке СИЗ ОС, и, как следствие, снижением размера выплат компенсационного характера работникам [57, 60]. Однако произвести экономическую оценку по данным параметрам затруднительно, так как СОУТ производится в каждой организации по совокупности всех опасных и вредных производственных факторов, имеющих место на рабочих местах. Также руководители организаций по добыче угля устанавливают различные дополнительные условия назначений гарантий и компенсаций (в дополнение к установленным законодательно), размер которых является закрытой информацией.

Экономический эффект от внедрения разработанных СИЗ ОС оценивался по формуле (4.2) [82]:

$$\mathcal{E} = Y_{\text{п}} - Z, \text{ руб.} \quad (4.2)$$

где $Y_{\text{п}}$ – предотвращенный экономический ущерб от внедрения сконструированных СИЗ ОС, руб.;

Z – произведенные затраты на реализацию мероприятий по внедрению СИЗ ОС, руб.

При оценке затрат на внедрение сконструированных СИЗ ОС, ближайшим аналогом защитных средств были выбраны противошумные наушники 3М PELTOR Optime II, имеющие себестоимость при покупке 3 086 руб. Для организаций, ведущих добычу угля, затраты на приобретение и

эксплуатацию СИЗ ОС будут складываться из стоимости производства продукции, транспортировки и хранения [82]. Себестоимость внедрения сконструированных противошумных наушников складывается из:

Стоимости противошумных наушников – 3086 руб.

Стоимости транспортировки противошумных наушников – 1000 руб.

Хранения противошумных наушников – 2500 руб. [82].

Итоговые затраты в расчете на одни противошумные наушники рассчитываются как сумма стоимости наушников и стоимость их транспортировки и составят (4.3) [95]:

$$C_n = 3086 + 1000 = 4086 \text{ руб.} \quad (4.3)$$

Так как, согласно данным [19], 6 745 рабочих мест на угольных предприятиях занято во вредных условиях труда по шуму, затраты на приобретение наушников в год возможно рассчитать по формуле (4.4):

$$Z = C_n * n + C_{xp}, \text{ руб.} \quad (4.4)$$

где n – необходимое количество противошумных наушников, ед.;

C_{xp} – затраты на хранение противошумных наушников, руб.

Следовательно, затраты на приобретение СИЗ ОС составят 27 562 570 руб. в год.

В свою очередь, законодательство Российской Федерации позволяет страхователям снижать или повышать страховые тарифы с целью повышения экономической заинтересованности страхователей в снижении профессиональной заболеваемости и несчастных случаев на производстве (Порядок определения скидок и надбавок установлен Методикой расчета скидок и надбавок, утвержденной приказом Минтруда России № 39н. (с изменениями на 26 декабря 2022 года) [56]. Величина установленной скидки или надбавки не должна превышать 40% от установленного страхового тарифа. Скидки и надбавки рассчитываются страховщиком в текущем финансовом году и устанавливаются на следующий финансовый год на

основании данных о деятельности организации за последние три года. На величину скидки или надбавки влияют следующие характеристики:

- отношение суммы обеспечения по страхованию от всех страховых случаев, зафиксированных в организации, к начисленной сумме страховых взносов;

- количество страховых случаев, выявленных у организации, на 1 000 работников;

- количество дней временной нетрудоспособности в организации на один несчастный случай, признанный страховым, исключая случаи со смертельным исходом [56].

Размер надбавки по страховым тарифам определяется по формуле 4.5:

$$P = \left(\frac{\left(\frac{a_{\text{стр}}}{a_{\text{ВЭД}}} + \frac{b_{\text{стр}}}{b_{\text{ВЭД}}} + \frac{c_{\text{стр}}}{c_{\text{ВЭД}}} \right)}{3 - 1} \right) \cdot (1 - q_1) \cdot (1 - q_2) \cdot 100 + P_1, \% \quad (4.5)$$

где $a_{\text{стр}}$ - отношение суммы обеспечения по обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профзаболеваний в связи со всеми страховыми случаями к начисленной сумме страховых взносов по обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;

$b_{\text{стр}}$ - количество страховых случаев на тысячу работающих;

$c_{\text{стр}}$ - количество дней временной нетрудоспособности в связи со страховыми случаями;

$a_{\text{ВЭД}}$, $b_{\text{ВЭД}}$, $c_{\text{ВЭД}}$ - средние значения показателей по виду экономической деятельности (добыча угля, подземным способом; 0,09, 11,10, 153,60 соответственно [53]);

q_1 - коэффициент проведения специальной оценки условий труда;

q_2 - коэффициент уровня проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров в организации;

$P_1 = 0,1 \cdot N \cdot 100$, где N – количество погибших в групповом случае.

В соответствии с результатами мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации [17] и годового отчета Пенсионного фонда России и Фонда социального страхования за 2022 год [7], в 2022 году размер надбавки для организаций, ведущих добычу угля составляет 17%. Таким образом, величина отчислений в Социальный фонд России по страховому тарифу за 2022 год при добыче угля составила 12,9 млрд. руб.

Разница величины надбавки по страховому тарифу до внедрения противошумных наушников и после их внедрения можно рассматривать как предотвращенный экономический ущерб и определить по формуле (4.6):

$$Y_{\Pi} = T_1 - T_2, \text{ руб.}, \quad (4.6)$$

где T_1 – величина отчислений в Социальный фонд России по страховому тарифу с установленной надбавкой (до внедрения СИЗ ОС), руб.;

T_2 – величина отчислений в Социальный фонд России по страховому тарифу с рассчитанной надбавкой (после внедрения СИЗ ОС), руб.

Внедрение сконструированных СИЗ ОС позволит сократить количество зарегистрированных профессиональных заболеваний органа слуха. В таком случае организациям, ведущих добычу угля, возможно уменьшить величину надбавки по страховому тарифу в последующем году. Так как, на долю профессиональной заболеваемости органа слуха приходится 19,1% от всех зарегистрированных заболеваний, то в соответствии с формулой 4.5 можем рассчитать значение показателя $a_{\text{стр}}$ (4,7):

$$a_{\text{стр}} = \frac{O}{V}, \quad (4.7)$$

где O – сумма обеспечения по страхованию (2,8 млрд. руб.);

V – сумма начисленных страховых взносов (12,9 млрд. руб.).

Значение показателя $b_{\text{стр}}$ (4.8):

$$b_{\text{стр}} = \frac{K}{N} \cdot 100, \quad (4.8)$$

где K – количество случаев, признанных страховыми, без учета профессиональной заболеваемости органа слуха (10 120);

N – среднесписочная численность работников, занятых в организациях по добыче угля (140 600).

Значение показателя $c_{\text{стр}}$ в 2022 году составило 57 [18].

Таким образом, в соответствии с формулами (4.7) и (4.8) значения показателей $a_{\text{стр}}$ и $b_{\text{стр}}$ составят 0,21 и 7,19 соответственно. Принимая, q_1 и q_2 равными 1, согласно [56], значения по данным показателям устанавливаются в размере 0,1. Подставляя данные в формулу (4.5), рассчитанный размер надбавки по страховому тарифу после внедрения сконструированных СИЗ ОС составит 3% от страхового тарифа.

Таким образом, сокращение затрат организаций на выплату взносов за счет внедрения противошумных наушников достигнет 387 млн. руб. в год, и сумма страховых взносов в Социальный фонд России в последующем году с учетом рассчитанной надбавки составит 12,5 млрд. руб.

Используя формулу (4.2), оценен экономический эффект внедрения сконструированных СИЗ ОС в организациях, ведущих добычу угля, который составит 359,6 млн. руб. в год.

4.4 Выводы по четвертой главе

1. Двухслойная структура, состоящая из акустического пенополиуретана SPG 2540 и акустической мембраны Звукоизол ВЭМ 2 позволяет обеспечить средний коэффициент звукопоглощения 0,88, что является достаточным для защиты органа слуха работника от непостоянного шума горного оборудования.

2. На основе проведенных теоретических расчетов и экспериментальных исследований сконструирована полезная модель противошумных наушников с двухслойной структурой вкладыша, обеспечивающая акустическую эффективность до 27 дБ во всех частотных диапазонах слышимого шума. В результате применение противошумных наушников способны обеспечить снижение производственного шума до нормируемого ПДУ шума. Данные по рациональному применению СИЗ ОС

для условий подземных горных работ внедрены в ФГБГУ «НИИ медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова» (Приложение Б).

3. Внедрение сконструированных СИЗ ОС позволяет снизить значение надбавки по страховому тарифу для организаций, ведущих добычу угля до 3%, что позволяет оценить экономический эффект, который составит 359,6 млн. руб. в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации предлагается решение актуальной научной задачи – повышение безопасности труда персонала угольных шахт по шумовому фактору за счет обоснования и применения сконструированных средств индивидуальной защиты органа слуха с определенными параметрами.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы:

1. На основе анализа шумовой обстановки на угледобывающих предприятиях России за последние 7 лет была выявлена тенденция увеличения количества профессиональных заболеваний органа слуха у подземного персонала. Используемые СИЗ ОС не позволяют достичь необходимой акустической эффективности защиты органа слуха работников.

2. Исследованы эквивалентные уровни звука и уровни звуковой мощности в восьми октавных полосах со среднегеометрическими значениями частот на рабочих местах подземного персонала угольных шахт и исследованы акустические характеристики основного горного оборудования шахт ООО «ШУ «Садкинское»». При измерении и моделировании акустического воздействия было выявлено, что наибольшие превышения ПДУ звукового давления в октавных полосах наблюдались для частот от 500 до 8000 Гц. Сверхнормативные значения шума на данных частотах являются причиной нейросенсорной тугоухости у горнорабочих.

3. Разработана математическая модель звукопоглощения производственного шума и обоснован выбор параметров материалов для СИЗ ОС в целях защиты органа слуха работников от повышенного уровня шума от горного оборудования.

4. На основе проведенных теоретических расчетов и экспериментальных исследований сконструирована полезная модель противозумных наушников с двухслойной структурой вкладыша, обеспечивающая акустическую эффективность до 27 дБ во всех частотных диапазонах слышимого шума.

5. Разработаны рекомендации по конструированию и рациональному применению СИЗ ОС для условий подземных горных работ, внедренные в ФГБГУ «НИИ медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова».

6. Произведена оценка экономической эффективности использования сконструированных СИЗ ОС.

Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка и обоснование методики применения сменных многослойных модулей СИЗ ОС, обеспечивающих защиту работников в зависимости от применяемого горного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешков, Д.С. Исследование влияния использования наушников на органы слуха / Д.С. Алешков, Е.А. Бедрина // Безопасность жизнедеятельности. – 2016. – № 8. – С. 8-12.
2. Алексеев, А.М. Состояние условий труда и травматизм на горнодобывающих предприятиях США / А. М. Алексеев, И. М. Гаврильев // Science Time. – 2015. – № 5. – Т. 17. – С. 29-36.
3. Афанасьев, В.Д., Шум при перегрузке горной массы и средства его снижения / В.Д. Афанасьев, Н.А. Раченко, А.М. Нечай // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – №3. – С. 216-223.
4. Балакина, Н.А. Анализ и модернизация метода оценки производственного шума / Н.А. Балакина, А.И. Балакин // Бюллетень науки и практики. – 2019. – Т.5. – №4. – С. 264-270.
5. Булдакова Е. Г. Анализ производственного травматизма и этапов создания эффективной системы управления промышленной безопасностью на примере ОАО «ВОРКУТАУГОЛЬ» / Е.Г. Булдакова, Е.Б. Гридина // Записки Горного института. – 2014. – Т.207. – С. 95-98.
6. Васильев, А.В. Проблемы оценки сочетанного влияния шума и других физических факторов на здоровье человека. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – №6. – Т. 14. – С. 158 - 165.
7. Годовой отчет Пенсионного фонда России и Фонда социального страхования за 2022 год.
8. Голик, А.С. Охрана труда на предприятиях угольной промышленности: Учебное пособие / А.С. Голик, В.А. Зубарева, В.А. Огурецкий, Л. М. Поляк. – Москва : Горная книга. – 2009. – 626 с.
9. Головкова, Н.П. Оценка условий труда, профессионального риска, состояние профессиональной заболеваемости и производственного травматизма рабочих угольной промышленности / Н.П. Головкова,

А.Г. Чеботырëв, Н.О. Каледина, Н.А. Хелковский-Сергеев // Сб. статей Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – М., Издательство «Горная книга». – 2011. – № 7. – С. 940.

10. ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности»; введен 01.11.2015.

11. ГОСТ 12.4.275-2014 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования. Методы испытаний»; введен 01.12.2015.

12. ГОСТ 12.4.318-2019 (ISO 4869-3:2007) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Упрощенный метод измерения акустической эффективности противошумных наушников для оценки качества (с Поправками); введен 30.07.2019.

13. ГОСТ 23499-2009 «Материалы и изделия звукоизоляционные и звукопоглощающие строительные. Общие технические условия»; введен 01.04.2011.

14. ГОСТ 34100.3-2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения (с Поправкой); введен 01.09.2018.

15. ГОСТ ISO 9612-2016 «Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах»; введен 01.09.2017.

16. ГОСТ Р 53188.1-2019 «Шумомеры. Часть 1. Технические требования»; введен 01.12.2019.

17. Государственный доклад Роспотребнадзора «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году».

18. Готлиб, Я.Г. О роли средств индивидуальной защиты органов слуха от вредного воздействия производственного шума при специальной оценке

условий труда / Я.Г. Готлиб, Н.П. Алимов // Безопасность в техносфере. – 2015. – Т. 4. – № 2. – С. 40-47.

19. Девятловский, Д.Н. Влияние шумового воздействия на здоровье человека // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2010. – №27. – С. 55- 57.

20. Денисов, И.С. Борьба с шумом вентиляторов главного проветривания угольных шахт // Изд-во Б.И. – Москва. – 1977. – 16 с.

21. Денисов, Э.И. Шум на рабочем месте: ПДУ, оценка риска и прогнозирование потери слуха. // Анализ риска здоровью. – 2019. – №3. – С.13-23.

22. Дзю, И.М. Исследование акустической поглощательной способности конструкционных материалов / И.М. Дзю, С.В. Викулов, А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2011. – № 4(20). – С. 103-108.

23. Дьякович, М.П. Качество жизни, связанное со здоровьем, у пациентов с сенсоневральной тугоухостью профессионального генеза / М.П. Дьякович, В.А. Семенихин, С.Н. Раудина // Медицина в Кузбассе. – 2017. – №. 4. – С. 80-85.

24. Захаренков, В.В. Гигиеническая оценка условий труда и профессионального риска для здоровья работников угольной шахты / В.В. Захаренков, В.В. Кислицына // Успехи современного естествознания. – 2013. – №11. – С. 14-18.

25. Захарова, И.В. Практика защиты от шума вентиляторных установок на шахтах Кузбасса // Проблемы строительного производства и управления недвижимостью: Сборник научных статей V Международной научно-практической конференции, Кемерово, 27–28 ноября 2018 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. – 2018. – С. 12-16.

26. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация. Пер. с англ. / О. Зенкевич, К. Морган // – М.: Мир. – 1986. – С. 318.

27. Зинкин, В.Н. Производственный шум и инфразвук: профессиональная патология и проблемы / В.Н. Зинкин, Л.П. Сливина, П.М. Шешегов // Системный анализ в медицине (САМ 2022): Материалы XVI международной научной конференции, Благовещенск, 13–14 октября 2022 года / Под общей редакцией В.П. Колосова. – Благовещенск: Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания. – 2022. – С. 186-190.

28. Зубов, В.П. Состояние и направления совершенствования систем разработки угольных пластов на перспективных угольных шахтах Кузбасса // Записки Горного института. – 2017. – Т. 225. – С. 292-297.

29. Зыков, А.М. Исследование воздействия производственного шума на организм человека // Приоритеты и научное обеспечение технологического прогресса. Сборник статей Международной научно - практической конференции (10 октября 2016 г., г. Нижний Новгород). – Уфа: АЭТЕРНА. – 2016. – С. 49-51.

30. Иванов, М.В. Исследование гидроакустических свойств материалов / М.В. Иванов, С.А. Гаврильев, С.А. Трофимов, Б.С. Ксенофонтов, О.А. Иванова // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2018. – №4. – С. 71-83.

31. Измеров, Н.Ф. Условия, охрана труда и производственный травматизм в России / Н.Ф. Измеров, Г.И. Тихонова, А.Н. Чуранова, Т.Ю. Горчакова // Здравоохранение РФ. – 2013. – №1. – С. 3-7.

32. Каргополова, А.П. Анализ шума, как вредного производственного фактора при добыче угля подземным способом / А.П. Каргополова, М.Л. Рудаков, А.Н. Никулин, **Н.Е. Дука** // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности: Выпуск 4. – 2020. – № 4. – С. 70-78.

33. Комкин, А.И. Методы измерения акустических характеристик звукопоглощающих материалов // Измерительная техника. – 2003. – № 3. – С. 47-50.
34. Краев, И.Д. Обзор композиционных материалов, сочетающих звукозащитные и радиозащитные свойства / И.Д. Краев, Е.М. Шульдешов, М.М. Платонов, Г.Ю. Юрков // Авиационные материалы и технологии. – 2016. – №4. – С. 60-67.
35. Красовский, В.О. Гигиена труда при воздействии производственного шума: уч. пособие / Сост.: В.О. Красовский, Г.Г. Максимов, Л.Б. Овсянникова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Уфа: Изд-во ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России, 2014. – 143 с.
36. Левашов, С.П. Мониторинг и анализ профессиональных рисков в России и за рубежом: монография / С.П. Левашов; под ред. И.И. Манило. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та. – 2013. – 345 с.
37. Мешков, Г.Б. Итоги работы угольной промышленности России за 2023 год / Г.Б. Мешков, И.Е. Петренко, Д.А. Губанов // Уголь. – 2024. – №3. – С. 18-29.
38. Миронов, А.А. Акустические свойства многослойных защитных конструкций на основе микро- и макропористых материалов : автореф. дисс. ... магистра технических наук : 1-98 80 01 / А.А. Миронов ; науч. рук. С.Н. Петров. - Минск : БГУИР. – 2016. – 9 с.
39. Мурганцев, А.Л. Персональный дозиметр и методика его применения для контроля интегральной суточной оценки воздействия промышленных шумов. Автореферат. канд. техн. наук: – Казань. – 2006. – 16 с.
40. Никитин, С.А. Результаты исследований звукопоглощающих материалов / С.А. Никитин, Н.М. Волков, Д.Н. Дегтев [и др.] // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. – 2016. – № 1. – С. 258 - 266.

41. Никулин, А.Н. Воздействие повышенного уровня шума на горнорабочих угольных шахтах / А.Н. Никулин, И.С. Должиков // Безопасность в строительстве: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 21–22 ноября 2019 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – 2019. – С. 91-99.

42. Никулин, А.Н. Формирование эффективной системы управления охраной труда на угольном предприятии / А.Н. Никулин, И.С. Должиков // Научное и образовательное пространство: перспективы развития: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 9 апр. 2018 г.) / редкол.: О.Н. Широков [и др.] – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс». – 2018. – С. 94–102.

43. Осипов, Г.Л. Звукоизоляция и звукопоглощение. – М.: Астрель. – 2004. – 451 с.

44. Парханьски, Ю. Риск травматизма рабочих угольных шахт и его гистерезис // Записки Горного института. – 2016. – Т. 222. – С. 869-876.

45. Патент на полезную модель № 160395 U1 Российская Федерация, МПК А61F 11/06. противошумные наушники: № 2015146860/14: заявл. 30.10.2015: опубл. 20.03.2016 / Д.Ф. Ермаков; заявитель Ермаков Д.Ф. – 16 с.

46. Патент на полезную модель № 194893 U1 Российская Федерация, МПК А61F 11/06. противошумные наушники: № 2019133021: заявл. 16.10.2019: опубл. 26.12.2019 / В.Л. Мурзинов, П.В. Мурзинов, Ю.В. Мурзинов, С.В. Попов, Ю.В. Татарина; заявитель Мурзинов В.Л. – 8 с.

47. Патент на полезную модель № 226029 U1 Российская Федерация, МПК А61F 11/06. противошумные наушники: № 2024105661: заявл. 05.03.2024: опубл. 17.05.2024 / М.Л. Рудаков, **Н.Е. Дука**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II". – С. 10.

48. Патент на полезную модель № 2363433 С2 Российская Федерация, МПК А61F 11/14, G10K 11/178, H04R 1/10. защитные наушники: № 2006122809/14: заявл. 27.01.2008: опубл. 10.08.2009 / Х. Нордин, С. Нильссон; заявитель Пельтор ВБ (SE). – 13.

49. Пиктушанская, Т.Е. Профессиональная заболеваемость как критерий оценки и управления профессиональным риском (на примере шахтёров-угольщиков Восточного Донбасса). Автореферат дис. канд. мед. наук. – Москва. – 2008. – 36 с.

50. Пилиневич, Л.П. Влияние размеров частиц порошка пористых материалов на снижение уровня аэродинамического шума / Л.П. Пилиневич, М.В. Тумилович, А.Г. Кравцов, Д.М. Румянцев, К.В. Гриб // Доклады БГУИР. – 2019. – №7. – Т. 8. – С. 109-116.

51. Платонов, М.М. Пористоволокнистые полимерные материалы для изготовления широкодиапазонных ЗПК и исследование их акустических свойств / М.М. Платонов, Г.Ф. Железина, Т.А. Нестерова // Труды ВИАМ. – 2014. – №6. – С. 1-15.

52. Платонов, М.М. Метод определения акустических характеристик звукопоглощающих материалов в расширенном до 15 кГц диапазоне частот / М.М. Платонов, Е.М. Шульдешов, В.В. Лепешкин, А.М. Романов // Авиационные материалы и технологии. – 2016. – № 2(41). – С. 45-49.

53. Постановление ФСС РФ от 28.05.2021 N 17 «Об утверждении значений основных показателей по видам экономической деятельности на 2022 год».

54. Преображенская, Е.А. Вопросы патогенеза "шумовой" патологии профессиональная нейросенсорная тугоухость: диагностика, профилактика, экспертиза трудоспособности / В.Б. Панкова, И.Н. Федина, А.Д. Волгарева, Е.Е. Аденинская, А.Б. Бакиров и др. // Профессиональная нейросенсорная тугоухость: диагностика, профилактика, экспертиза трудоспособности. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2017. – С. 44-59.

55. Преображенская, Е.А. Особенности формирования профессиональной нейросенсорной тугоухости / Е.А. Преображенская, И.Н. Федина // Итоги и перспективы развития медицины труда в первой четверти XXI века. – 2019. – С. 244-248.

56. Приказ Минтруда России от 01.08.2012 N 39н (ред. от 26.12.2022) «Об утверждении Методики расчета скидок и надбавок к страховым тарифам на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний»

57. Приказ Минтруда России от 05.12.2014 N 976н (ред. от 14.11.2016) «Об утверждении методики снижения класса (подкласса) условий труда при применении работниками, занятыми на рабочих местах с вредными условиями труда, эффективных средств индивидуальной защиты, прошедших обязательную сертификацию в порядке, установленном соответствующим техническим регламентом».

58. Приказ Минтруда России от 24.01.2014 № 33н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению», зарегистрированный в Минюсте России 21.03.2014 № 31689.

59. Приказ Минтруда России от 29.10.2021 N 766н «Об утверждении Правил обеспечения работников средствами индивидуальной защиты и смывающими средствами», зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2021 N 66670.

60. Приказ ФНС России от 12.03.2009 N ММ-7-5/114 (ред. от 04.12.2023) «О введении условий оплаты труда работников территориальных органов Федеральной налоговой службы, осуществляющих профессиональную деятельность по профессиям рабочих», зарегистрировано в Минюсте России 07.04.2009 N 13700.

61. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.06.2020 № 1582-Р) [Электронный ресурс] URL: <https://minenergo.gov.ru/node/433> (Дата обращения 18.05.2024)

62. Р 2.2.2006-05 Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда" (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 29.07.2005); введен 01.11.2005.

63. Радоуцкий, В.Ю. Современные звукопоглощающие материалы и конструкции /В.Ю. Радоуцкий, В.Н. Шульженко, М.Н. Степанова // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. – 2016. – № 6. – С. 76-81.

64. Раудина, С.Н. Гигиеническая оценка условий труда и заболеваемость органа слуха у работников угольной промышленности / С.Н. Раудина, В.А. Семенихин, С.Н. Филимонов / Медицина в Кузбассе. – 2020. – Т.19. –№ 4. – С. 64-69.

65. Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2022 году, [Электронный ресурс] URL: <https://git36.rostrud.gov.ru/upload/iblock/f9a/rezultaty-obshcherossiyskogo-monitoringa-usloviy-i-okhrany-truda-za-2022-god> (дата обращения:15.06.2024).

66. Рудаков, М.Л. Экспериментальное изучение звукопоглощающих свойств материалов в целях конструирования средств индивидуальной защиты органа слуха горнорабочих / М.Л. Рудаков, Д. А. Куклин, Н.Н. Курьеров, **Н.Е. Дука** // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. № 3(63). – С. 120- 126.

67. Рудаков, М.Л. Изучение свойств звукопоглощающих материалов при конструировании средств индивидуальной защиты органа слуха / М.Л. Рудаков, **Н.Е. Дука** // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 3. – С. 165-180.

68. Рудаков, М.Л. Моделирование акустического воздействия горного оборудования на персонал при добыче угля подземным способом / М.Л. Рудаков, **Н.Е. Дука** // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 10. – С. 165-179.

69. Рудаков, М.Л. Исследование звукопоглощающих свойств материалов с целью разработки СИЗ органа слуха горнорабочих // М.Л. Рудаков, **Н.Е. Дука** // Инновационные перспективы Донбасса. Материалы 9-й Международной научно- практической конференции. – 2023. – С. 66-72.

70. Савельев, А.П. Снижение шумового воздействия на производственный персонал с применением индивидуальных средств защиты / А.П. Савельев, С.В. Пьянзов, А.Н. Скворцов // Безопасность труда в промышленности. 2016. № 2. С. 51-53.

71. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»; введен 01.03.2021.

72. СанПиН 4043-85 «Санитарные правила для предприятий угольной промышленности» (утв. Минздравом СССР 21.11.85); введен 01.07.1998.

73. Сафин, А.И. Разработка математической модели описания акустических характеристик звукопоглощающих элементов из упругопористого материала МР для газотурбинных двигателей / А.И. Сафин, А.А. Иголкин, А.Б. Прокофьев // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2014. – № 4. – С. 75-77.

74. Смирнякова, В.В. Анализ условий труда работников угольной промышленности / В.В. Смирнякова, С.М. Скударнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S7. – С. 425-430.

75. СП 51.13330.2011. Свод правил. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003" (утв. Приказом Минрегиона

России от 28.12.2010 N 825)»; введен 20.05.2011. [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

76. Сувидова, Т.А. Гигиенические аспекты профессиональной заболеваемости в Кемеровской области / Т.А. Сувидова, А.М. Олещенко // Медицина в Кузбассе. – 2018. – №1. – С. 44-49.

77. Тищенко, А.С. Проблема воздействия повышенного шума на рабочих местах в Российской Федерации и зарубежом / А.С. Тищенко, Д. А. Куклин, Н.В. Тюрина // Защита от повышенного шума и вибрации : сборник докладов, Санкт-Петербург, 21–23 марта 2017 года / Министерство образования и науки Российской Федерации Балтийский государственный технический университет "Военмех". – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2017. – С. 447-450.

78. Трубицын, А.А. Оценка значимости вредных производственных факторов на профессиональную заболеваемость в угольной отрасли /А.А. Трубицын, А.И. Фомин, Н.И. Сурков, А.Ю. Ермаков // Вестник КузГТУ. – 2006. – №2. – С. 32-38.

79. Федеральный закон от 28.12.2013 г. № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда»; введен 28.12.2013.

80. Флавицкий, Ю.В. Защита от шума и вибрации на предприятиях угольной промышленности: справочное пособие /Ю.В. Флавицкий, Л.А. Гешлин, И.Г. Резинков // – М.: Недра. – 1990. – 1340 с.

81. Фомин, А.И. Разработка прогрессивной модели управления рисками возникновения профессиональных заболеваний у работников при разработке угольных месторождений / А.И. Фомин, И.М. Анисимов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2018. – С. 43-48.

82. Хайруллин, В.А. Оценка экономического эффекта от внедрения новых конструктивных решений в строительстве / В.А. Хайруллин,

В.Н. Зенцов, Э.В. Шакирова // Известия вузов. Социология. Экономика. Политика. – 2015. – №1. – С. 75-79.

83. Харитонов, В.И. Экспериментальное изучение эффективности противошумов для профилактики интенсивного шумового воздействия // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. – 2018. – Т. 26. – № 4. – С. 484-492.

84. Хоменко, А.О. Влияние виброакустических факторов на безопасность и здоровье работников промышленных предприятий / А.О. Харитонов, Н.В. Якшина, В.С. Мушникова, С.М. Ильин, Н.А. Самарская, М.А. Чекмарева // Экономика труда. – 2022. – №12. – С. 2175-2195.

85. Чеботарёв, А.Г. Гигиеническая оценка шума и вибрации, воздействующих на работников горных предприятий / А.Г. Чеботарёв, Н.Н. Курьеров // Горная промышленность. – 2020. – №1. – С. 148-153.

86. Чемезов, Е.Н. Принципы обеспечения безопасности горных работ при добыче угля // Записки Горного института. – 2019. – Т. 240. – С.

87. Черкай, З.Н. Экспертная оценка состояния производственной безопасности в территориальных единицах минерально-сырьевого комплекса России / З.Н. Черкай, С.В. Ковшов // Записки Горного института. – 2016. – Т. 219. – С. 477-481.

88. Шувалов, Ю.В. Оценка воздействия и защита горнорабочих от негативного влияния окружающей среды / Ю.В. Шувалов, С.Д. Бурлаков, Н.А. Туча // Записки Горного института. - 2005. - Т. 164. - С. 128-133.

89. Щелоков, Ю.А. Комплексное исследование звукоизоляции акустически однородных конструкций на примере газобетонной стены / Ю. А. Щелоков // Защита от повышенного шума и вибрации : Сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 18–20 марта 2015 года / под редакцией Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью "Айсинг", 2015. – С. 207-213

90. Alyanin, A.F. Industrial noise. Problems and solutions / A.F. Alyanin, M.A. Gallyamov, E.N. Abdrakhmanova // *Oil and Gas Business*. – 2019, – № 2. – PP. 128—142.
91. Basner, M. Auditory and non-auditory effects of noise on health / M. Basner, W. Babisch, A. Davis, M. Brink, C. Charlotte, S. Janssen, S. Stansfeld // *Lancet*. Author manuscript. – 2014. – V. 383. – PP. 1325-1332.
92. Bauer, E.R. Equipment noise and worker exposure in the coal mining industry / E.R. Bauer, D.R. Babich, J.R. Vipperman // *Safer. Healthier. People*. – 2006. – № 20017-105. – PP. 1-77.
93. Cao, L. Porous materials for sound absorption / L. Cao, Q. Fu, Y. Si, B. Ding, J. Yu // *Composites Communications*. – 2015. – V. 10. – PP. 25–35.
94. Edwards, A.L. Profiles of noise exposure levels in South African Mining / A.L. Edwards, J.J. Dekker, R.M. Franz, T. van Dyk, A. Banyini // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. – 2011. – V. 111. – № 5. – PP. 315-322.
95. Gboe, N., Evaluation of environmentally friendly sound absorption materials made from agricultural waste fibers / N. Gboe, R. Grubliauskas // 27-oji Lietuvos jaunujų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers «Science – Future of Lithuania». – 2024. – PP. 49-54.
96. Hua, Q. Effect of thickness, density and cavity depth on the sound absorption properties of wool boards / Q. Hua, H. Yang // *Autex Research Journal*. – 2017. – V. 18. – PP. 203-209.
97. ISO 10534-2:2023 «Акустика. Определение акустических свойств импедансных труб. Часть 2. Метод с использованием двух микрофонов для определения нормального коэффициента звукопоглощения и нормального поверхностного импеданса»; введен 06.10.2023.
98. Israel, P. Nyarubeli. Occupational noise exposure and hearing loss: A study of knowledge, attitude and practice among Tanzanian iron and steel workers /

Israel P. Nyarubeli, A. M. Tungu, M. Bratveit, B. E. Moen. // Archives of Environmental and Occupational Health. – 2020. – V. 75. – PP. 216-225.

99. Jones, P. Prediction of the acoustic performance of small poroelastic foam filled mufflers: a case study. acoustics Australia // Australian Acoustical Society. – 2017. – V. 38. – PP. 69-75.

100. Joy, G.J. Noise exposure and hearing conservation in U.S. coal mines — A surveillance report / G.J. Joy, P.J. Middendorf // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. – 2007. – V. 4. – № 1. – PP. 26-35.

101. Kanji, A. Noise-induced hearing loss: What South African mineworkers know / A. Kanji, K. Khoza-Shangase, L. Ntlhakana // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. – 2019. – V. 25. – PP. 305-310.

102. Khrystoslavenko, O. Simulation of room acoustics using Comsol Multiphysics / O. Khrystoslavenko, R. Grubliauskas / Conference: Conference for Junior Researchers «Science – Future of Lithuania» /– 2017. – V.6. – PP. 1-7.

103. Lilic, N. Dust and noise environmental impact assessment and control in serbian mining practice // N. Lilic, A. Cvjetic, D. Knezevic, V. Milisavljevic // Minerals. – 2018. – № 8. – PP. 2 - 15.

104. Madahana, M.C. Engineering noise control for mines: Lessons from the world / M.C. Madahana, O.T. Nyandoro, N.F. Moroe // South African Journal of Communication Disorders. – 2020. – V. 67. – №. 2. – PP. 1-5.

105. Nansha, G. Mesophase pitch based carbon foams as sound absorbers / G. Nansha, C. Baozhu, H. Hong, R. Zhang // Materials Letters. – 2017. – V. 212. – PP. 1-13.

106. Nikulin, A.N. Assessment of noise impact on coal mine workers including way to/from workplace / A.N. Nikulin, I.S. Dolzhikov, V.A. Golod, L.V. Stepanova // Науковий Вісник Національного Гірничого університету. – 2021. – V. 2020. – № 2. – PP. 151-155.

107. Nikulin, A.N. Increasing labour safety on coal mines / A.N. Nikulin, D.A. Ikonnikov, I.S. Dolzhikov // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – 2019. – № 7. – V. 12. – PP. 842 - 848.

108. Nomfundo, F.M. Process evaluation of complex interventions: Medical Research Council guidance / F.M. Nomfundo, S. Audrey, M. Barker, L. Bond // BMJ: British Medical Journal. – 2015. – № 350. - PP. 1258-1265.

109. Nomfundo, F.M. Occupational noise-induced hearing loss in South African large-scale mines: exploring hearing conservation programmes as complex interventions embedded in a realist approach // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. – 2020. – V. 26. – PP. 753-761.

110. Patnaik, A. Materials used for acoustic textiles // Acoustic Textiles. Textile Science and Clothing Technology. – 2017. – PP. 73-92.

111. SangWoo T. Hearing difficulty attributable to employment by industry and occupation: an analysis of the national health interview survey - United States / T. SangWoo, G.M. Calvert // Journal of Occupational and Environmental Medicine. – 2008. – V. 50. – №. 1. – PP. 46-56.

112. Sidorenko, A.A. Underground mining of multiple coal seams: Problems and solutions / A.A. Sidorenko, J.M. Sishchuk, I.G. Gerasimova // Eurasian Mining. – 2016. – № 2. – PP. 11-15.

113. Sun K. Evaluating hearing loss risks in the mining industry through MSHA citations // K. Sun, A.S. Azman // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. – 2017. – №15. – PP. 215 – 243.

114. Sun, K. The potential use of a NIOSH sound level meter smart device application in mining operations / K. Sun, C.A. Kardous, P.B. Shaw, B. Kim, J. Mechling, A.S. Azman // Noise Control Engineering Journal. – 2019. - V. 67. – №. 1. – PP. 23-30.

115. Sun K. Risk assessment of recordable occupational hearing loss in the mining industry // K. Sun, A.S. Azman, H.E. Camargo, G.D. Patrick // International Journal of Audiology. – 2019. №. – 58.– PP. 761-768.

116. Tang, X. Acoustic energy absorption properties of fibrous materials: a review / X. Tang, X. Yan // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 2017. – V. 101. – PP. 360-380.

117. Tomozei, C. Actual stage of industrial noise reduction / C. Tomozei, V. Nedeff, G. Lazar // *Journal of Engineering Studies and Research*. – 2011. – V. 17. – №. 4. – PP. 89-96.

118. Von der Goltz, J. Mines: The local wealth and health effects of mineral mining in developing countries / J. Von der Goltz, P. Barnwal // *Journal of Development Economics*. – 2019. – V. 139. – PP. 1-16.

119. Zhengqing, L. Acoustic properties of multilayer sound absorbers with a 3D printed micro-perforated panel / L. Zhengqing, Z. Jiaying, F. Mohammad, D. John // *Applied Acoustics*. – 2017. – V. 121. – PP. 25-32.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Патент на полезную модель

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**226 029**⁽¹³⁾ **U1**(51) МПК
A61F 11/06 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ(52) СПК
A61F 11/06 (2024.01)

(21)(22) Заявка: **2024105661**, **05.03.2024**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.03.2024

Дата регистрации:
17.05.2024

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **05.03.2024**

(45) Опубликовано: **17.05.2024** Бюл. № 14

Адрес для переписки:
**190106, Санкт-Петербург, 21 линия, В.О., 2,
ФГБОУ ВО СПГУ, Патентно-лицензионный
отдел**

(72) Автор(ы):
**Рудаков Марат Леонидович (RU),
Дука Никита Евгеньевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):
**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II"
(RU)**

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: **RU 118189 U1, 20.07.2012. RU 2012301
C1, 15.05.1994. RU 46653 U1, 27.07.2005.**

(54) ПРОТИВОШУМНЫЕ НАУШНИКИ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к средствам индивидуальной защиты, а именно к средствам индивидуальной защиты органа слуха от шума в условиях подземной добычи угля. Техническим результатом является повышение степени защиты органа слуха путем обеспечения шумопоглощения. Повышение степени защиты органа слуха, в частности горнорабочих,

обеспечивается поглощением средних и высоких частот двухслойной структурой звукопоглотителя и прижимным амортизационным валиком чашки наушника. В результате применение противошумных наушников способно обеспечить снижение производственного шума до нормируемого ПДУ шума.

RU 226029 U1

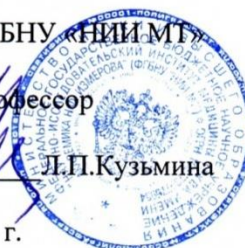
RU 226029 U1

ПРИЛОЖЕНИЕ Б**Акт об использовании результатов кандидатской диссертации****Утверждаю**

Зам. директора ФГБНУ «НИИ МТ»
по научной работе
З.д.н. РФ д.м.н, профессор

Л.П.Кузьмина

«29» февраля 2024 г.

**АКТ ВНЕДРЕНИЯ**

результатов диссертационного исследования аспиранта
кафедры Безопасности производств
Санкт-Петербургского горного университета

Дука Никиты Евгеньевича

на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему:
«Обоснование параметров средств индивидуальной защиты работников
угольных шахт от воздействия производственного шума»

по научной специальности 2.10.3 Безопасность труда

Комиссия в составе председателя - д.м.н, профессора, главного научного сотрудника Отдела по изучению гигиенических проблем в медицине труда ФГБНУ «НИИ МТ» Прокопенко Л.В., членов комиссии - к.б.н, ведущего научного сотрудника Курьерова Н.Н., к.б.н, ведущего научного сотрудника Лагутиной А.В. установила:

Материалы диссертации на тему: «Обоснование параметров средств индивидуальной защиты работников угольных шахт от воздействия производственного шума», в частности экспериментальные данные по исследованию акустических параметров шумопоглощающих материалов, использованы в ФГБНУ «Научно-исследовательского института медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова» при разработке следующих нормативно-методических документов:

1. методики расчета эффективности звукопоглощения пористых материалов;
2. технических предложений по конструированию средств индивидуальной защиты органа слуха с применением двухслойной структуры наполнителя чашки противозумного наушника;

3. рекомендаций по конструированию средств индивидуальной защиты органа слуха для применения на угольных шахтах.

Использование указанных результатов позволяет:



- повысить эффективность защиты органа слуха работников, занятых в условиях подземной добычи угля;
- повысить уровень подготовки специалистов в сфере охраны труда и промышленной безопасности.

Председатель комиссии



Прокопенко Л.В.

Члены комиссии:

Курьеров Н.Н.

Лагутина А.В.