

На правах рукописи

Дука Никита Евгеньевич



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

Специальность 2.10.3. Безопасность труда

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2024

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Рудаков Марат Леонидович

Официальные оппоненты:

Глебова Елена Витальевна

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», кафедра промышленной безопасности и охраны окружающей среды, заведующий кафедрой;

Климова Ирина Викторовна

кандидат технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», высшая школа техносферной безопасности, доцент.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово.

Защита диссертации состоится **27 сентября 2024 г. в 13:30** на заседании диссертационного совета ГУ.7 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д. 2, **аудитория № 1163**.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 27 июля 2024 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



АФАНАСЬЕВ
Павел Игоревич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 кол-

лективной 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 противозумных 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) шума 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 от 29.02.2024 г).

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 противозумных наушников на экспериментальном стенде.

На защиту выносятся следующие положения:

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 «Перспективы – 2023» (г. Красноярск, 2023 г.); IX Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса» (г. Донецк, 2023 г.).

Личный вклад автора заключается в анализе зарубежной и отечественной литературы по теме исследования, проведении анализа шумовой обстановки в угледобывающей промышленности России и в 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, 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 (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на полезную модель.

Структура 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимости исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен аналитический обзор шумовой обстановки на рабочих местах при добыче полезных ископаемых в России. Выполнен анализ состояния и развития научных исследований в области методов и средств защиты от повышенного производственного шума при подземной добыче угля; анализ различных методов измерений шума на рабочих местах. Показано, что на рабочих местах при подземной добыче полезных ископаемых зафиксированы уровни шума, превышающие предельно допустимые уровни. Выявлено, что за последние 7 лет при добыче полезных ископаемых подземным способом наблюдается тенденция роста количества диа-

гнозов профессиональных заболеваний органа слуха, связанных с повышенным уровнем шума на рабочих местах.

Во второй главе представлены результаты измерений уровней звукового давления, воздействующего на горнорабочих в угольных шахтах на рабочих местах проходчика, горнорабочего очистного забоя, машиниста горно-выемочных машин, горнорабочего подземного, машиниста подземных установок и частотные характеристики производственного шума основного горного оборудования. На основании анализа применяемых СИЗ ОС на угольных шахтах была определена их недостаточная акустическая эффективность.

В третьей главе представлены результаты теоретического исследования звукопоглощения производственного шума различными материалами. Выполнен выбор и обоснование материалов для конструирования СИЗ органа слуха с использованием математической модели звукопоглощения материалов, разработанной на основании уравнения Гельмгольца. Сделан вывод о целесообразности применения двухслойной структуры при конструировании СИЗ органа слуха для эффективного снижения производственного шума от горного оборудования.

В четвертой главе представлены результаты экспериментального исследования акустических характеристик применяемых материалов двухслойной конструкции. В результате проведенных исследований разработаны предложения по конструированию СИЗ ОС на угольных шахтах. Изложены результаты экспериментальных исследований сконструированных СИЗ ОС – противошумных наушников; представлена их конструкция. Проведен анализ экономической эффективности внедрения разработанных СИЗ ОС.

В заключении обобщены результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях.

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.

Производственный шум на рабочих местах проходчика, горнорабочего очистного забоя, машиниста горно-выемочных машин, горнорабочего подземного, машиниста подземных установок угольных шахт может превышать ПДУ на рабочих местах и достигать уровней, способных вызывать повреждение органа слуха. Продолжительное воздействие такого шума приводит к постепенному ухудшению слуха и развитию профессионального заболевания – НСТ. Основное горное оборудование, применяемое при подземной добыче угля, является источником непостоянного шума, следовательно, его оценка непостоянного шума на соответствие допустимым уровням проводится одновременно по эквивалентному и максимальному уровням звука.

В свою очередь, в настоящее время шумовая обстановка на рабочих местах в угольных шахтах характеризуется результатами специальной оценки условий труда (СОУТ) и оценивается по эквивалентному уровню звука. Согласно СП 51.13330.2011 «Защита от шума» эквивалентный уровень звука на рабочих местах при подземной добыче угля не должен превышать 80 дБА. Однако, при этом не учитывается особенности горного оборудования, применяемого при подземной добыче, а именно частотные характеристики излучаемого непостоянного шума.

В качестве основного горного оборудования, применяемое в угольной шахте ООО «ШУ «Садкинское» были выделены проходческий комбайн 1ГПКС, очистной комплекс КМ-

130 и перфоратор горный HRD100. Измеренные уровни эквивалентного шума на рабочих местах представлены на рисунке 1.

Уровни звукового давления в восьми октавных полосах со среднегеометрическими значениями частот и сравнение с ПДУ на рабочих местах проходчика, машиниста горно-выемочных машин, горнорабочего подземного, машиниста подземных установок представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1 – Уровни звукового давления (УЗД), дБ, от горного оборудования в октавных полосах частот

Оборудование		63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц
1ГП КС	УЗ Д	85,4	86,8	88,1	88,4	88	84,7	80,0	76,0
Превышение ПДУ, дБ		-	-	6,1	10,4	15,7	16,2	13,9	12,7
КМ -130	УЗ Д	90,0	91,4	92,7	93,0	92,3	89,3	85,1	76,3
Превышение ПДУ, дБ		-	4,4	10,7	15	17,3	16,3	14,1	7,3
HR D10	УЗ Д	94,3	95,7	97,0	97,3	96,9	93,6	89,4	84,9
Превышение ПДУ, дБ		-	8,7	15	19,3	21,9	20,6	18,4	15,9

Из таблицы 1 следует, что в диапазоне частот от 125 до 8000 Гц наблюдаются существенные (до 21,9 дБ) превышения ПДУ производственного шума на рабочих местах, что может являться причиной профессиональных заболеваний органа слуха. Стоит отметить, что применяемые на исследованных угольных шахтах противошумные наушники (например, РО-СОМЗ СОМЗ-88), относятся ко 2-му классу акустической эф-

фективности, обладают коэффициентом звукопоглощения до 0,68 и акустической эффективностью до 13 дБ, не обеспечивая, тем самым, защиту органа слуха работников.

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

С целью решения поставленной задачи и построения численной акустической модели было использовано уравнение Гельмгольца в частотной области для исследования распространения звукового давления и определения коэффициентов звукопоглощения (1):

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + k^2 \cdot p = 0, \quad (1)$$

где $p = p(x, y, z)$ – координатная часть звукового давления; $k = \frac{\omega}{c}$ – волновое число звуковой волны.

На жестких поверхностях, ограничивающих объем короба, составляющие колебательной скорости, нормальные к поверхности, должны обращаться в ноль, следовательно, граничными условиями для звукового давления являются (2):

$$\left. \frac{\partial p}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial p}{\partial y} \right|_{y=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial p}{\partial z} \right|_{z=0} = 0, \quad (2)$$

Коэффициент звукопоглощения определяется по формуле (3):

$$\alpha = \frac{4}{n + \frac{1}{n} + 2}, \quad (3)$$

где n – отношение УЗД на фронтальной и тыльной плоскостях исследуемого материала.

Для решения модели использовалась специальное программное обеспечение COMSOL Multiphysics, модуль акустика. Расчет проводился методом конечных элементов во вре-

менной области. В качестве акустической модели был принят звуковой короб, в котором не будет происходить усиления собственной частоты звука, на стене которого закреплен исследуемый материал (рисунок 3).

Звукопоглощающий материал для защиты от повышенных уровней шума в среднем и высоком диапазонах должен соответствовать 3-му классу акустической эффективности и обеспечивать коэффициент звукопоглощения не менее 0,8 согласно ТР ТС 19/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты».

Исходя из требуемых параметров, были исследованы шесть пористых материалов и акустическая мембрана, применяемых при изготовлении СИЗ ОС (акустический пенополиуретан SPG 2540, эластичный пенополиуретан 30, войлок акустический, вспененный пенополиуретан Бипласт 10К, акустическая мембрана Звукоизол ВЭМ 2, пеноалюминий 35%, акустический материал Wolf Vlies). Результаты расчетов для разных материалов представлены на рисунке 4.

Численный расчет показал, что для защиты от шума в средних и высоких частотных диапазонах предпочтительнее использовать акустический пенополиуретан SPG 2540 при толщине более 25 мм. Коэффициент звукопоглощения в исследуемом частотном диапазоне составил от 0,4 до 0,8 (таблица 2).

Для верификации полученных результатов был произведен теоретический расчет плоской модели в координатной плоскости XOZ по известной аналитической формуле коэффициента звукопоглощения. Коэффициент звукопоглощения в частотном диапазоне от 250 до 8000 Гц для акустического пенополиуретана SPG 2540 составил от 0,47 до 0,85 при толщинах 25 мм (таблица 2).

С целью подтверждения значения рассчитанных коэффициентов звукопоглощения акустического пенополиуретана

SPG 2540 была проведена серия экспериментальных измерений с использованием трубы Кундта по методике ISO 10534-2 (рисунок 5). Измеренный средний коэффициент звукопоглощения составил 0,8. Результаты расчетов коэффициента звукопоглощения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения коэффициента звукопоглощения в октавных полосах частот для акустического пенополиуретана SPG 2540

Среднегеометрическая частота, Гц	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Результаты численного моделирования	0,493	0,552	0,714	0,847	0,896	0,867	0,839
Результаты расчетов по аналитической формуле	0,511	0,591	0,694	0,851	0,903	0,864	0,841
Результаты экспериментальных измерений	0,481	0,587	0,723	0,864	0,911	0,897	0,829

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.

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.

Для снижения уровня воздействия непостоянного шума на орган слуха работника угольной шахты во всем слышимом диапазоне частот были рассмотрены сочетания исследуемых материалов при толщинах слоев от 10 до 20 мм, обусловленных размером вкладыша СИЗ ОС не более 22 мм. На основании результатов исследований была выбрана двухслойная структура, состоящая из акустической мембраны Звукоизол ВЭМ 2 и акустического пенополиуретана SPG 2540. Толщина акустического пенополиуретана (20 мм) и акустической мембраны (2 мм) позволяет использовать их при конструировании СИЗ ОС. Средний коэффициент звукопоглощения данной структуры составляет 0,86. Расчеты проведены с применением программного обеспечения COMSOL Multiphysics (модуль «Акустика») и экспериментально верифицированы на стенде, с применением трубы Кундта.

С целью обеспечения защиты органа слуха подземного персонала угольных шахт разработана полезная модель противошумных наушников с необходимыми защитными параметрами (рисунок 6).

Для оценки эффективности сконструированного СИЗ ОС были проведены экспериментальные измерения с использованием двухканальных индивидуальных шумомеров Svantek 102 в области уха и под защитным наушником (рисунок 7). Измерения проводились на основе ГОСТ EN 13819-1-2021 «Средства индивидуальной защиты органа слуха» и с применением специализированного программного комплекса «LMS». Измеренные УЗД с применением сконструированного СИЗ ОС представлены на рисунке 8. Акустическая эффективность разработанных наушников составила 27 дБ.

Представленная конструкция СИЗ ОС в частотном диапазоне от 250 Гц до 8000 Гц обеспечивает коэффициент зву-

копоглощения 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.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют, что сконструированные противошумные наушники с двухслойным звукопоглотителем позволяют защитить работников от воздействия непостоянного уровня шума в условиях подземной добыче угля.

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 наблю-

дались 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 ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

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

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

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Рудаков, М.Л. Изучение свойств звукопоглощающих материалов при конструировании средств индивидуальной защиты органа слуха // М.Л. Рудаков, **Н.Е. Дука** // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – №3. – С. 165-180. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_165.

4. 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. – 2021. – №11. – С. 165-179. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_165.

Публикация в прочем издании:

5. 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.

Патент:

6. Патент на полезную модель № 226029 U1 Российская Федерация, МПК А61F 11/06. Противошумные наушники: № 2024105661. заявл. 05.03.2024; опубл. 17.05.2024. Бюл. №14 / М.Л. Рудаков, Н.Е. Дука; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» (RU). – 7.

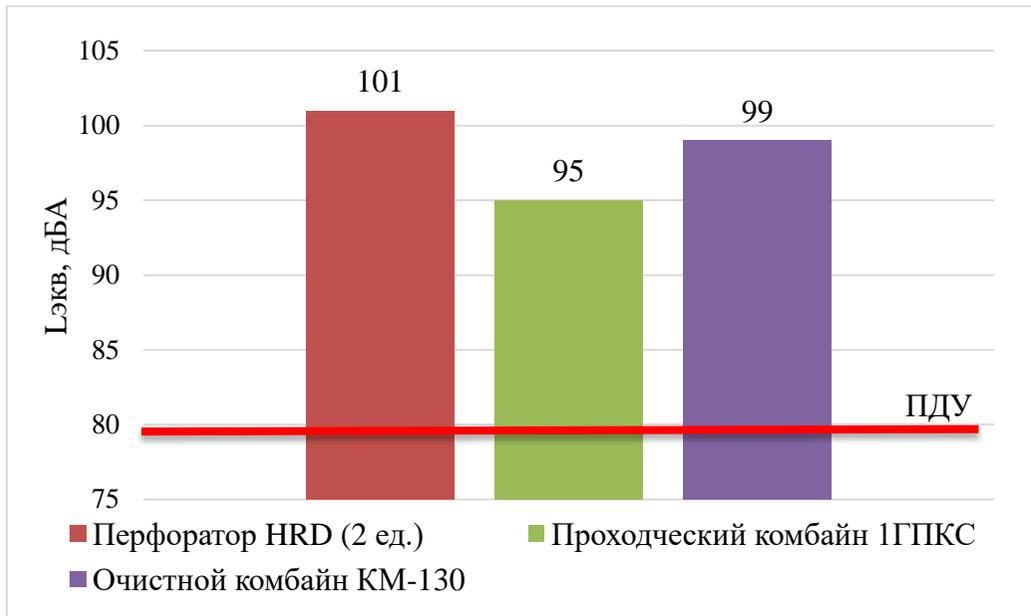


Рисунок 1 – Измеренные эквивалентные уровни шума горного оборудования

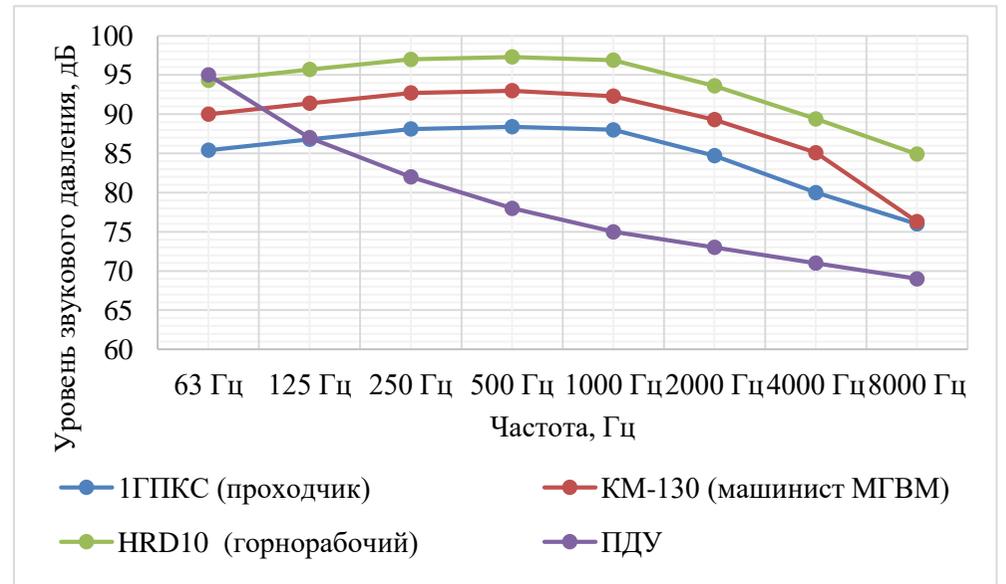


Рисунок 2 – УЗД горного оборудования на рабочих местах

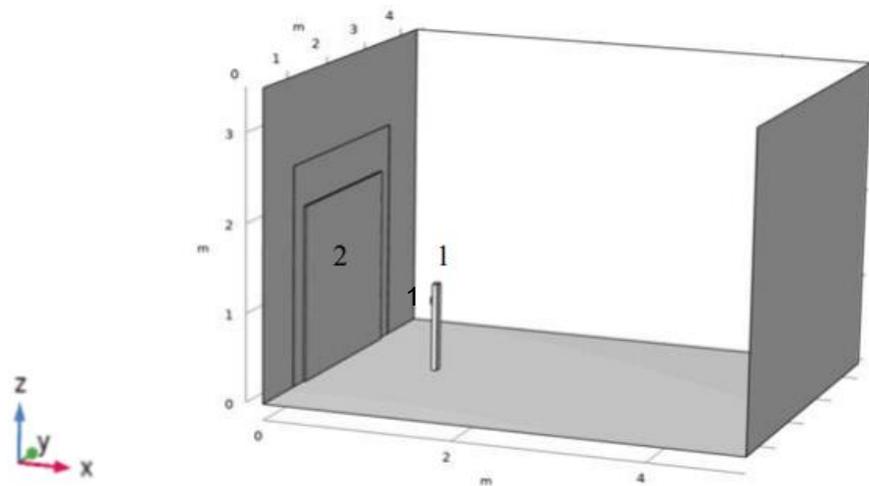


Рисунок 3 – Геометрия расчетной области COMSOL Multiphysics (акустический короб) (1 – плоский излучатель звука; 2 – исследуемый образец материала)

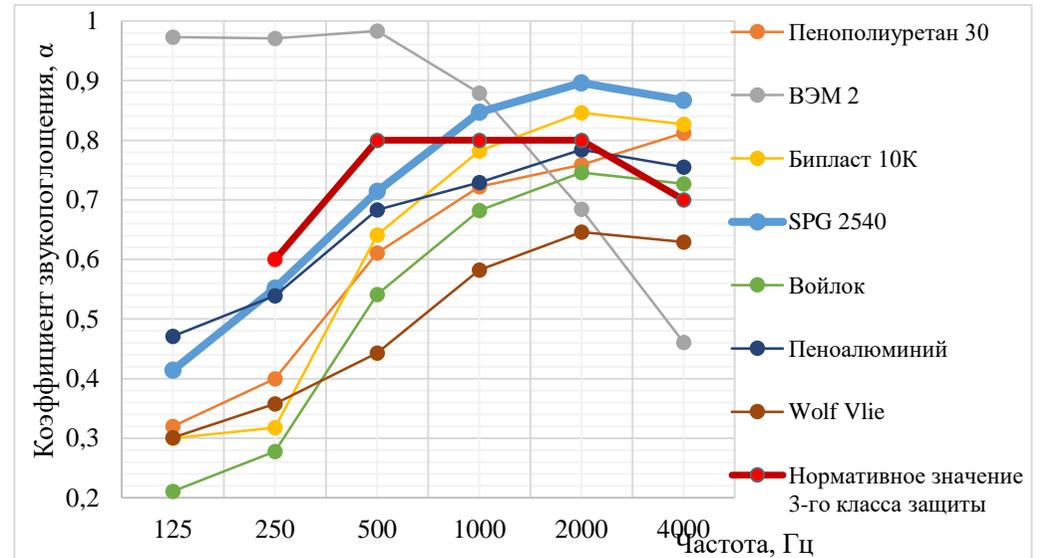
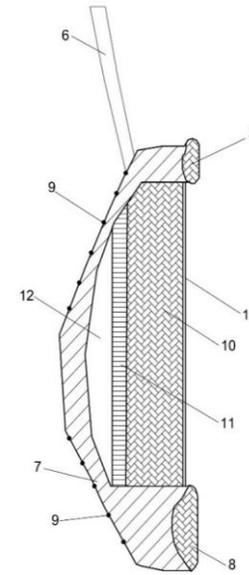


Рисунок 4 – Результаты расчета коэффициента звукопоглощения исследуемых материалов



Рисунок 5 – Экспериментальный стенд – труба Кундта



- 6 – дуга крепления оголовья;
- 7 – чашка наушника;
- 8 – прижимной амортизационный валик;
- 9 – противоскользящие насечки;
- 10 – первый слой звукопоглотителя акустического пенополиуретана SPG 2540;
- 11 – второй слой звукопоглотителя Звукоизол ВЭМ 2;
- 12 – свободный объем чашки наушника;
- 13 – защитная сетка звукопоглотителя.

Рисунок 6 – Принципиальная схема противошумных наушников с двухслойной структурой звукопоглотителя



Рисунок 7 – Экспериментальный стенд с искусственной головой

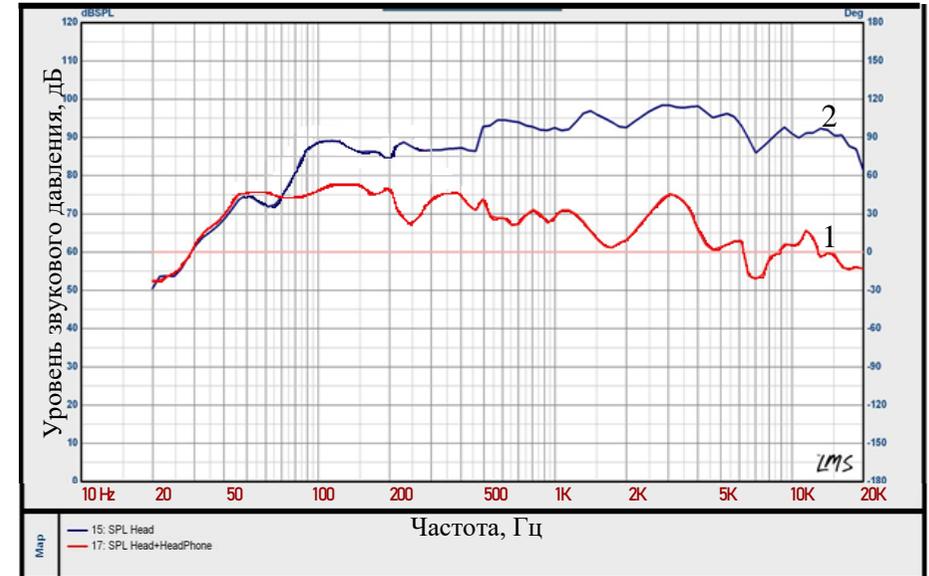


Рисунок 8 – УЗД, измеренные с использованием сконструированных СИЗ ОС (1) и искусственной головы без противошумных наушников (2)