

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II»
(МГУПС (МИИТ))

На правах рукописи

Васильева Дарья Николаевна

УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД НА ОСНОВЕ
СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ШУМА В КАБИНЕ ЛОКОМОТИВА

05.26.01- Охрана труда (транспорт)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

научный руководитель:

доктор технических наук,

профессор

Пономарев Валентин Михайлович

Москва-2017

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА | 9 |
| 1.1. Влияние шума на человека | 9 |
| 1.2. Анализ источников шума в кабинах локомотивов | 13 |
| 1.3. Нормирование уровней звука в кабинах локомотивов | 17 |
| 1.4. Анализ методов измерения и оценки уровней звука в кабинах локомотивов | 18 |
| 1.5. Анализ результатов исследования уровня шума в кабинах локомотивов | 31 |
| 1.6. Методы борьбы с шумом | 40 |
| Выводы | 49 |
| 2. Аналитические исследования процесса распространения шума в кабинах локомотивов | 51 |
| 2.1. Математическая модель распространения шума с учетом дополнительных источников | 52 |
| 2.2. Математическая модель распространения шума при движении локомотива | 60 |
| Выводы | 64 |
| 3. Экспериментальные исследования процесса распространения шума в кабинах локомотивов | 65 |
| 3.1. Результаты сравнительного анализа уровня звука при сертификационных испытаниях и специальной оценки условий труда | 65 |
| 3.2. Результаты экспериментального определения и оценки уровня звука в кабинах локомотивов при движении | 118 |
| 3.3. Результаты экспериментального определения и оценки эквивалентного уровня звука с учетом дополнительных источников шума | 136 |
| Выводы | 147 |
| 4. Методика определения эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов для условий эксплуатации | 148 |

| | |
|---|-----|
| 4.1. Методика определения эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов в зависимости от скорости движения | 148 |
| 4.2. Методика определения эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов за 8-ми часовой рабочий день | 151 |
| 4.3. Методика определения эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов с учетом дополнительных источников шума | 152 |
| 4.4. Результаты определения и оценки эквивалентного уровня звука для условий эксплуатации | 153 |
| 4.4.1. Результаты определения и оценки эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов в зависимости от скорости движения | 153 |
| 4.4.2. Результаты определения и оценки эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов и моторвагонного подвижного состава за 8-часовой рабочий день | 160 |
| 4.4.3. Результаты определения и оценки эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов и моторвагонного подвижного состава с учетом дополнительных источников | 163 |
| 4.5. Экономическая эффективность использования методических рекомендаций | 165 |
| Выводы | 165 |
| Глава 5. Рекомендации по улучшению условий труда по фактору «шум» в кабинах локомотивов | 166 |
| Выводы | 173 |
| Заключение | 174 |
| Словарь терминов | 176 |
| Список использованных источников | 179 |
| Приложение А | 186 |
| Приложение Б | 195 |
| Приложение В | 210 |

Введение

Актуальность темы исследования.

В настоящее время эксплуатируемый парк локомотивов в ОАО «РЖД» составляет около 20 тысяч единиц, 20 % из которых – это локомотивы нового поколения, остальные - локомотивы, прошедшие заводской ремонт.

Самыми массовыми профессиями в Дирекции тяги – филиале ОАО «РЖД», отвечающей за эксплуатацию локомотивов, являются профессии машиниста и помощника машиниста локомотивов.

Одним из основных вредных факторов, неблагоприятно влияющих на состояние здоровья машинистов и их помощников, является шум, создаваемый работающим оборудованием локомотива и его движением по железнодорожному пути. Доля шума в пофакторной оценке условий труда машинистов и помощников машинистов локомотивов составляет более 35%.

Исследования вредного влияния шума на машинистов отечественных локомотивов проводились профессором Волковым А.М. Эти исследования показали, что шум приводит к снижению умственной работоспособности и внимания, увеличению времени реакции, повышению порога слышимости, преждевременному утомлению.

Все локомотивы на стадии выпуска проходят сертификацию опытного образца, а в процессе эксплуатации один раз в 5 лет на каждом рабочем месте проводится специальная оценка условий труда (далее – СОУТ).

Завод-изготовитель локомотивов получает разрешение на серийное производство локомотива после подтверждения соответствия всех оцениваемых показателей нормируемым значениям. Однако при проведении СОУТ зачастую выявляются несоответствия оцениваемых показателей нормируемым значениям. Следует предположить, что такое отличие обусловлено различиями в проведении процедур сертификации и СОУТ.

Так главной целью сертификационных испытаний является определение соответствия локомотива заданным техническим требованиям по

регламентированным процедурам испытаний, тогда как для СОУТ – оценка условий труда на рабочих местах в реальных условиях эксплуатации. Ввиду разных целей данных процедур наблюдаются и различия в конечном результате.

Измерение шума при проведении сертификации и СОУТ регламентируются различными нормативно-методическими документами, в результате чего полученные значения уровней звука отличны друг от друга.

Необходимо провести исследование эквивалентных уровней звука фактора «шум» в кабине локомотива в условиях эксплуатации в зависимости от скорости движения, переговоров по радию и движения с открытыми окнами, а также сравнить со значениями при сертификационных испытаниях.

Степень разработанности темы диссертационного исследования. В исследованиях, выполненных под руководством доктора технических наук, профессора Иванова Н.И., наиболее полно изучены процессы шумообразования дорожно-строительных машин, получены аналитические зависимости для расчета уровней шума на рабочих местах операторов. Однако недостаточно теоретических и экспериментальных исследований акустических характеристик в кабинах локомотивов, существующие модели шумообразования дорожно-строительных машин не учитывают характерных для локомотивов процессов. В связи с чем были проведены исследования Пронниковым Ю.В. по разработке научной базы для акустического расчета и проектирования кабин локомотивов, в которых уровни вибрации и шума соответствуют предельно-допустимым уровням.

В этом же направлении была проведена работа сотрудниками ВНИИЖГ Роспотребнадзора: Волковым А.М., Каменским Ю.Н., Юшковой О.И., Школьниковым Б.И., Лексиным А.Г., Панковой В.Б.

Однако проведенные исследования не включали изучение зависимости изменения шума в кабинах локомотивов с учетом дополнительных источников (рация, электропневматический клапан (ЭПК), открытые окна), а также отличительных особенностей результатов уровней звука, полученных при проведении СОУТ и сертификации.

Цель исследования – научное обоснование и разработка методики определения эквивалентных уровней звука в условиях эксплуатации, а также разработка рекомендаций по улучшению условий труда локомотивных бригад.

Задачи исследования.

1. Анализ результатов измерения эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов в зависимости от срока эксплуатации.

2. Разработать математические модели определения эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов, учитывающей отличительные особенности сертификационных испытаний и СОУТ (рация, электропневматический клапан, окно, скорость).

3. Провести экспериментальные исследования по определению эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов, учитывающие отличительные особенности сертификационных испытаний и СОУТ (рация, электропневматический клапан, окно, скорость).

4. Определить коэффициенты пересчета эквивалентных уровней звука, полученных при сертификационных испытаниях, на прогнозируемые уровни звука для условий эксплуатации.

5. Разработать методику по определению эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов для условий эксплуатации.

6. Разработать рекомендаций по улучшению условий труда по неблагоприятному фактору «шум».

Научная новизна работы.

- разработаны математические модели определения эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов, учитывающая отличительные особенности сертификационных испытаний и СОУТ;

- установлены зависимости эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов от скорости движения, воздействия переговоров по рации, срабатывания электропневматического клапана, движения с открытыми окнами;

Теоретическая значимость работы:

Результаты работы позволили научно обосновать использование акустического материала, обеспечивающего улучшение условий труда в кабинах локомотивов.

Практическая значимость работы:

- рассчитаны коэффициенты, позволяющие определить эквивалентный уровень звука в кабине локомотива в зависимости от переговоров по рации, срабатывания электропневматического клапана, движения с открытыми окнами;

- рассчитаны коэффициенты пересчета уровня звука, позволяющие сравнить эквивалентные уровни звука в кабинах различных типов локомотивов, полученных при сертификационных испытаниях с уровнями звука, полученными при СОУТ;

- рассчитан коэффициент, позволяющий определить эквивалентный уровень звука в кабине локомотива в зависимости от скорости движения;

-рассчитанные коэффициенты позволили разработать методику определения эквивалентного уровня звука в кабине локомотивов для условий эксплуатации.

Методология и методы исследований. В работе использованы методы математического моделирования зависимости.

Положения, выносимые на защиту.

1. Математическая модель определения эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов, учитывающая отличительные особенности сертификационных испытаний и СОУТ.

2. Зависимость эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов от скорости движения, воздействия переговоров по рации, срабатывания электропневматического клапана, открытых окон.

3. Коэффициенты, позволяющие определять эквивалентный уровень звука в кабине локомотива в зависимости от скорости движения, переговоров по рации, срабатывания электропневматического клапана, движения с открытыми окнами, а также коэффициент пересчета уровня звука, позволяющий сравнить

эквивалентные уровни звука в кабинах локомотивов, полученных при сертификационных испытаниях с уровнями звука, полученными при СОУТ.

4. Методика определения эквивалентного уровня звука с учетом скорости движения, времени воздействия за рабочую смену, дополнительных источников шума.

Степень достоверности обеспечена корректным применением апробированных методов исследований, использованием измерительного оборудования, прошедшего поверку и откалиброванного для соответствующих условий, и подтверждается хорошим соответствием расчетных и экспериментальных данных.

Апробация результатов исследования.

Основные положения и результаты диссертации докладывались на конференциях: X Международная научно-практическая конференция «Trans-Mech-Art-Chem», III Международная научно-практическая конференция в год 70-летия победы в Великой Отечественной Войне «Инновации и исследования в транспортном комплексе», V научно-практической конференции «Образование, наука и транспорт в XXI веке: опыт, перспективы, инновации», научный семинар молодых ученых и специалистов «Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической и экологической безопасности на железнодорожном транспорте», на заседании кафедры «Управление безопасностью в техносфере» МГУ путей сообщения (г. Москва, 2016 г.).

Результаты исследований внедрены в ООО «ОЦПБ» и ООО «ЦОТиПБ».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе 3 статьи в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников, содержащего 62 наименований и трех приложений. Работа содержит 218 страниц машинописного текста, 19 рисунков, 26 таблиц.

Глава 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Влияние шума на человека

В настоящее время эксплуатируемый парк локомотивов в ОАО «РЖД» составляет около 20 тысяч единиц, 20 % из которых – это локомотивы нового поколения, остальные - локомотивы, прошедшие заводской ремонт.

Самыми массовыми профессиями в Дирекции тяги – филиале ОАО «РЖД», отвечающей за эксплуатацию локомотивов, являются профессии машиниста и помощника машиниста локомотивов.

Анализ результатов аттестации рабочих мест по условиям труда, проведенный в Дирекции тяги в 2011-2013гг. показывает, что количество рабочих мест с вредными условиями труда составляет порядка 70 % от общего количества аттестованных рабочих мест. Анализ результатов аттестации рабочих мест по условиям труда, проведенный в Дирекции тяги в 2011-2013гг. приведен на рисунке 1.1.

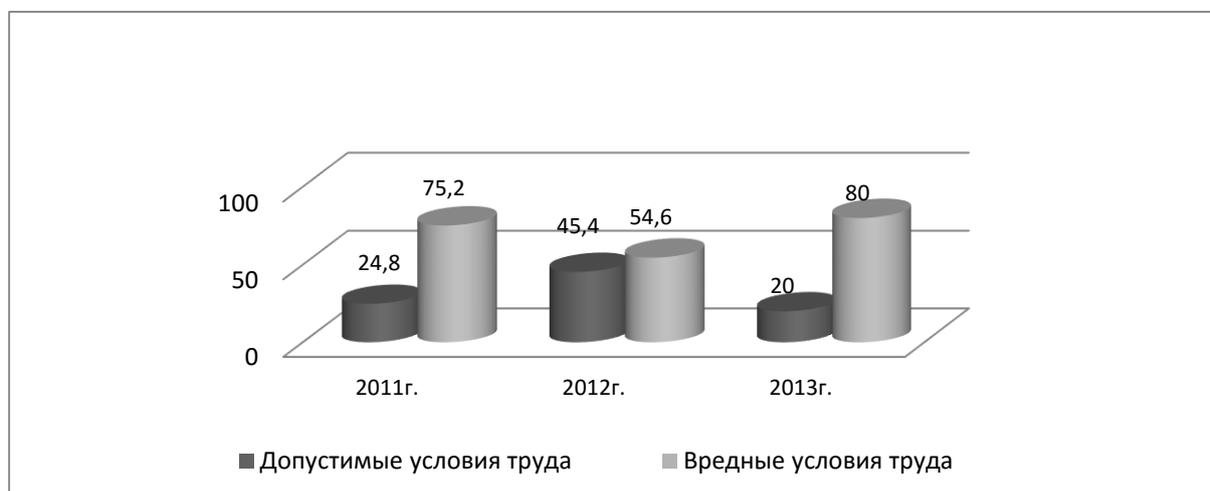


Рисунок 1.1 - Анализ результатов аттестации рабочих мест по условиям труда, проведенный в Дирекции тяги в 2011-2013гг

Одним из основных антропогенных факторов, неблагоприятно влияющих на окружающую среду и состояние здоровья машинистов локомотивов и их помощников, является шум, создаваемый работающим оборудованием локомотива и его движением по железнодорожному пути. Наибольшее

воздействие шума приходится на частоту от 800 Гц до 4000 Гц. Длительное воздействие шума влияет на орган слуха, понижая его чувствительность. Шум обладает аккумулятивным характером: накапливаясь в организме, он угнетает нервную систему. Исследования вредного влияния шума на машинистов отечественных локомотивов проводились профессором Волковым А.М. Эти исследования показали, что шум приводит к снижению умственной работоспособности и внимания, увеличению времени реакции, повышению порога слышимости, преждевременному утомлению. Из этого далеко неполного перечня последствий вредного действия шума видно, что у машиниста ухудшаются все те психологические качества, к которым предъявляются весьма высокие требования, эти качества совершенно необходимы для четкой и безаварийной работы.

Доля шума в пофакторной оценке условий труда машинистов и помощников машинистов локомотивов составляет более 35%. Доля шума в пофакторной оценке условий труда машинистов и помощников машинистов локомотивов приведен на рисунке 1.2.

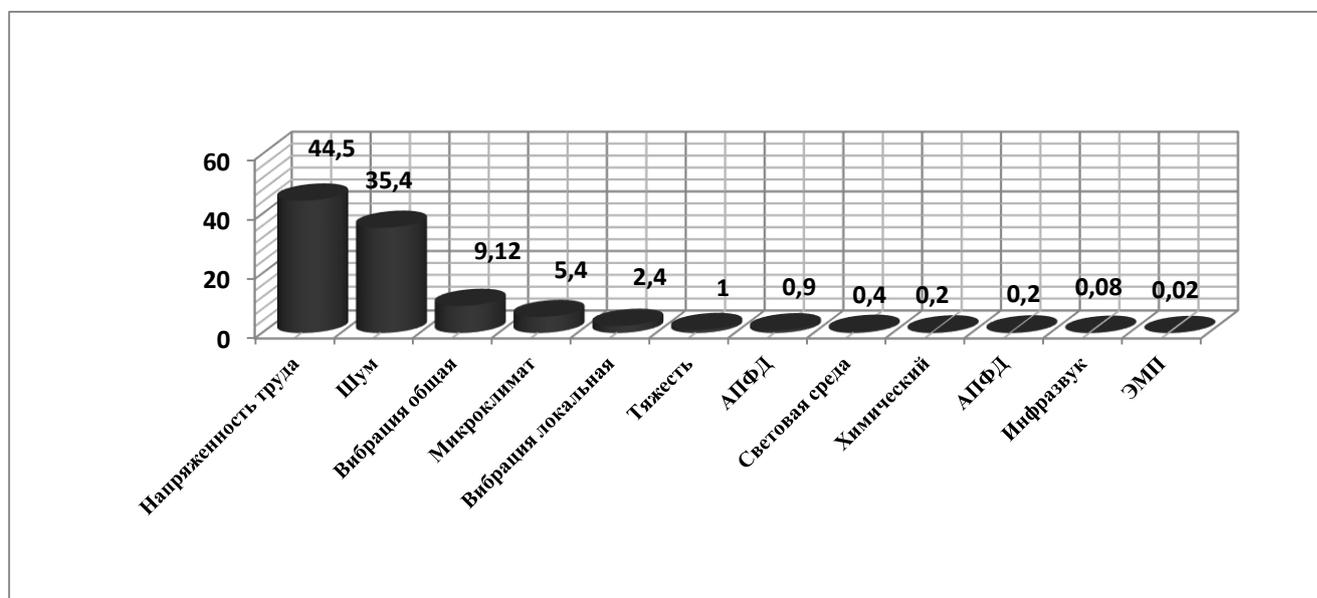


Рисунок 1.2 - Доля шума в пофакторной оценке условий труда машинистов и помощников машинистов локомотивов

По данным исследований ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора установлено, что именно шум оказывает наиболее вредное влияние на здоровье работников,

вызывая такое специфическое профессиональное заболевание, как тугоухость, которая составляет 66-75% от всех профессиональных заболеваний работников локомотивных бригад [1]. Развитие тугоухости увеличивает риск возникновения аварийных ситуаций, что может привести к крушению подвижного состава, загрязнению окружающей среды и нанести вред здоровью самих работников локомотивных бригад и пассажиров [2].

Анализ результатов измерения шума на рабочих местах машинистов локомотивов и их помощников при проведении аттестации рабочих мест по условиям труда показывает, что в новых локомотивах также регистрируются повышенные уровни шума, несмотря на то, что весь подвижной состав на стадии ввода в эксплуатацию проходит сертификационные испытания, в том числе и на соответствие виброакустических факторов нормируемым значениям. Это подтверждается и данными анализа профессиональной заболеваемости. Так у работников локомотивных бригад электровозов и тепловозов новых серий частота развития тугоухости примерно одинакова и составляет 27,3 % и 28,4 % соответственно [1].

По результатам анализа материалов аттестации рабочих мест машинистов и помощников машинистов некоторых новых локомотивов были получены следующие данные:

- на рабочих местах машинистов в кабинах тепловозов типа 2ТЭ10У установлены превышения эквивалентного уровня звука за смену на 5 дБА, на рабочих местах помощников машинистов – на 9-10 дБА;

- на рабочих местах машинистов в кабинах электровозов 2ЭС-6 шум не превышает нормы и составляет 73 дБ, а на рабочих местах помощников машиниста установлены превышения шума на 14 дБА;

- в электровозах типа 3ЭС5К на рабочих места машинистов в кабинах выявлены превышения эквивалентного уровня звука за смену на 4 дБА, для помощников машинистов – на 5 дБА;

- на рабочих местах машинистов в кабинах тепловозов 2ТЭМ18ДМ эквивалентный уровень звука за смену превышает норму на 4 дБА, на рабочих местах помощников машинистов – на 5 дБА;

- в электровозах типа ЭП1 в кабинах на рабочих местах машинистов эквивалентный уровень звука превышает на 3 дБА, а у помощников машинистов – на 4 дБА;

- в кабинах электровозов типа ЭП1П на рабочих местах машинистов эквивалентный уровень звука превышает на 2 дБА, для помощников машинистов – на 3 дБА.

Превышение шума на рабочих местах машинистов и помощников машинистов в перечисленных выше локомотивах обусловлено следующими факторами: недостаточной герметизацией дверей между кабиной и машинным отделением, требованиями технологического регламента о необходимости краткосрочного пребывания помощника машиниста в машинном отделении, ведением постоянных переговоров по радиации, конструкционными недостатками тормозной системы локомотива, срабатыванием электро-пневматического клапана, периодическим открыванием окон, обусловленным требованиями технологического регламента.

Отличие результатов сертификационных испытаний и результатов аттестации рабочих мест обусловлено тем, что аттестация проводится в реальных условиях эксплуатации, при которых невозможно обеспечить стандартные требования, указанные в действующих методиках измерений шума. Кроме того при проведении аттестации рабочих мест обнаруживаются отдельные конструкционные недостатки кабин новых локомотивов, возникшие в процессе непродолжительной эксплуатации и непосредственно влияющие на уровень шума в кабинах локомотивов.

Начиная с 2014 года, процедура «аттестации рабочих мест по условиям труда» заменена на «специальную оценку условий труда», при этом ряд факторов выведен из процедуры оценки условий труда [3,4,5]. Однако такой значимый для

сохранения здоровья работающих фактор, как шум, сохранен в новой процедуре [6].

1.2 Анализ источников шума в кабинах локомотивов

Все источники шума, воздействующие на локомотивную бригаду можно разделить на три группы: 1) возникающие при движении локомотива (взаимодействия локомотива и железнодорожного пути, локомотива и вагонов поезда, завихрения воздушных потоков при высоких скоростях); 2) от основного оборудования (дизель-генераторная установка и её системы, тяговые электродвигатели, тяговые редукторы, возбуждатель); 3) от вспомогательного оборудования (вентиляторы охлаждения электрических машин и выпрямительной установки, тормозной компрессор, редукторы, водяной насос, вспомогательный генератор, вентиляционно-отопительная система кабины машиниста).

Шум, возникающий в результате взаимодействия локомотива и железнодорожного пути, представляет собой широкополосные процессы. Все остальное оборудование генерирует периодические полигармонические звуковые и механические колебания.

Главной особенностью возникновения шума в локомотиве является то, что их уровни при эксплуатации меняются в зависимости от профиля и участка пути, массы поезда, графика движения и других факторов. Поэтому колебательная энергия и спектры от источников шума также меняются.

Одним из главных источников шума являются динамические силы взаимодействия подвижного состава и железнодорожного пути при движении. Основная причина возникновения этих сил – неровности поверхности колеса и рельса. Значения динамических сил возрастают при волнообразном износе рельсов, на рельсовых стыках, неровностях в зоне остриков стрелочных переводов, неровностях в крестовинах, при изолированных неровностях на колесе (особенно при ползунах). Процесс взаимодействия в данном случае носит ударный характер, поэтому в момент ударов пиковые значения динамических сил, а также ускорения на буксе могут достигать высоких уровней.

Во время движения поезда происходят удары автосцепных устройств из-за относительных боковых, продольных и вертикальных колебаний локомотива и вагонов. Шум в данном случае представляет собой нестационарные случайные импульсные процессы.

Источниками шума в локомотиве являются вентиляторы систем охлаждения двигателя, электрических машин и выпрямительных установок. Уровень звуковой мощности вентилятора связан сложной зависимостью с его параметрами. Например, при увеличении окружной скорости колеса аэродинамический шум растет быстрее, чем механический. Поэтому у правильно спроектированного вентилятора преобладает шум аэродинамического происхождения.

Шум от вентиляторов системы охлаждения дизеля в тепловозах выше, чем от вентиляторов охлаждения электрических машин. В электрических машинах тепловоза генерируется небольшая колебательная энергия. Спектры шума этих машин обычно стационарны и широкополосны. Дискретные составляющие могут быть обусловлены системой вентиляции или остаточной неуравновешенностью.

В тепловозах широко применяются различные редукторы, которые могут генерировать значительный шум. Известно, что износ зубчатых колес вызывает резкое увеличение вибрации тягового редуктора и остова тягового электродвигателя.

Тормозной компрессор, находящийся в машинном отделении локомотива, генерирует шум слышимый на фоне общего шума. Основная доля шума компрессора приходится на аэродинамическую составляющую.

Усовершенствованный метод анализа структуры шума в кабине тепловоза предусматривает разделение общего шума в кабине по источникам, а не по ограждениям. Используются энергетическое суммирование и вычитание уровней, частотный анализ и проводятся измерения на стоянке с работающим дизелем и при движении с заглушенным дизелем. Это позволило повысить точность метода и расширить его возможности.

Общий уровень шума в кабине при движении может быть представлен суммой пяти основных компонент

$$L_{общ} = 10 \lg \left[\left(10^{0,1L_{ДВ}} + 10^{0,1L_{Д\omega}} + 10^{0,1L_{ДС}} \right) + \left(10^{0,1L_{КВ}} + 10^{0,1L_{КС}} \right) \right] \quad (1.1)$$

где $L_{ДВ}$, $L_{Д\omega}$, $L_{КВ}$ – уровни компонент воздушного шума, генерируемого соответственно дизелем, выпуском и качением колес, дБ;

$L_{ДС}$, $L_{КС}$ – уровни компонент структурного шума, генерируемого соответственно дизелем и качением колес, дБ.

Первая серия измерений производится на стоянке для определения компонент шума, генерируемого дизелем при нагрузке реостатом. Здесь измеряются спектр суммарного шума в кабине при определенной мощности дизеля

$$L_{Д} = 10 \lg \left(10^{0,1L_{ДВ}} + 10^{0,1L_{Д\omega}} + 10^{0,1L_{ДС}} \right), \quad (1.2)$$

а также спектры шума $L_{м}$ в машинном отделении и спектр шума L_0 снаружи тепловоза возле выпускного отверстия (рис. 23).

При выключенном дизеле в машинном отделении с помощью громкоговорителей, расположенных в точке, где определялся спектр $L_{м}$, воспроизводится «белый шум» и измеряются его спектры в кабине L_{β} и в машинном отделении L_{α} . По полученным данным рассчитывается спектр компоненты воздушного шума

$$L_{ДВ} = L_{м} - (L_{\alpha} - L_{\beta}). \quad (1.3)$$

Затем громкоговорители располагают в точке, где измерялся спектр L_0 и измеряют спектры «белого шума» L_{λ} у громкоговорителей и в кабине L_{ω} . По полученным данным рассчитывают спектр следующей компоненты воздушного шума:

$$L_{Д\omega} = L_0 - (L_{\lambda} - L_{\omega}). \quad (1.4)$$

Спектр компоненты структурного шума в кабине рассчитывают по формуле

$$L_{ДС} = 10 \lg \left[10^{0,1L_{Д}} - \left(10^{0,1L_{ДВ}} + 10^{0,1L_{Д\omega}} \right) \right] \quad (1.5)$$

Вторую серию измерений производят при движении с заглушенным дизелем для определения компонент воздушного и структурного шума, генерируемого взаимодействием тепловоза и пути. При определенном значении скорости измеряют спектр суммарного шума в кабине

$$L_k = 10 \lg(10^{0,1L_{KB}} + 10^{0,1L_{KC}}) \quad (1.6)$$

и спектр внешнего шума возле колес L_H .

Затем на стоянке при заглушенном дизеле с помощью громкоговорителей, расположенных у колес, воспроизводят «белый шум» и измеряют его спектры в кабине L_η и у колес L_γ . По этим данным рассчитывают спектр компоненты воздушного шума

$$L_{KB} = L_H - (L_\gamma - L_\eta). \quad (1.7)$$

Спектр компоненты структурного шума вычисляют по формуле:

$$L_{KC} = 10 \lg(10^{0,1L_K} - 10^{0,1L_{KB}}) \quad (1.8)$$

Подобные измерения и расчеты производятся при разных значениях мощности силовой установки и скорости движения, что позволяет получить анализ структуры шума в кабинах тепловозов при ряде заданных режимов работы тепловоза. Метод позволяет выбирать рациональные способы снижения шума и определить эффективность отдельных средств защиты.

Располагая спектрами компонент шума в кабине и допустимыми уровнями шума N в кабине по соответствующим нормам, можно определить требуемое снижение шума для каждой компоненты

$$\Delta L_i = L_i - (N - 10 \lg n), \quad (1.9)$$

где L_i – уровень i -й компоненты;

$n=5$ – количество компонент шума.

Данный метод будет использован для разработки математических моделей распространения шума с учетом дополнительных источников и распространения шума при движении подвижного состава и усовершенствован с учетом задач, поставленных в настоящей работе [7].

1.3 Нормирование уровней звука в кабинах локомотивов

Весь подвижной состав на стадии выпуска проходит сертификацию опытного образца, на стадии эксплуатации один раз в 5 лет на каждом рабочем месте проводится СОУТ, кроме того на каждой единице подвижного состава ежегодно должен проводиться производственный контроль.

Для целей сертификации нормативно-методическим документом является ГОСТ 33463.2-2015 «Системы жизнеобеспечения на железнодорожном подвижном составе. Часть 2. Методы испытаний по определению виброакустических показателей» [8], для СОУТ – ГОСТ Р ИСО 9612-2013 «Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека» [9], для производственного контроля - СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [10].

Главной целью сертификационных исследований является определение соответствия подвижного состава заданным техническим требованиям по регламентированным процедурам испытаний, для СОУТ – оценка условий труда на рабочих местах в реальных условиях эксплуатации, для производственного контроля - обеспечение безопасности и (или) безвредности для человека и среды обитания вредного влияния объектов производственного контроля путем должного выполнения санитарных правил, санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий, организации и осуществления контроля за их соблюдением.

Для целей сертификации нормируемым параметром является уровень звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, для СОУТ – эквивалентный уровень звука или уровень звука, для производственного контроля – уровень звука.

Нормативное значение уровня звука в кабинах локомотивов для сертификационных испытаний, СОУТ и производственного контроля является единым и составляет 80дБА (дБ). Нормативное значение уровня звука в кабинах

моторвагонного подвижного состава для сертификационных испытаний и производственного контроля составляет 75 дБА, а при СОУТ – 80 дБ.

Предельно-допустимые уровни звука и звукового давления в кабинах локомотивов и моторвагонного подвижного состава для целей сертификации и производственного контроля приведены в таблице 1.1 [10].

Таблица 1.1 - Предельно-допустимые уровни звука и звукового давления в кабинах локомотивов и моторвагонного подвижного состава для целей сертификации и производственного контроля

| Место измерения шума | Предельно допустимые уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | | Уровн и звука, дБА |
|----------------------|---|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--------------------|
| | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| Кабины локомотивов | 99 | 95 | 87 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 69 | 80 |
| Кабины и салоны МВПС | 99 | 91 | 83 | 77 | 73 | 70 | 68 | 66 | 64 | 75 |

1.4 Анализ методов измерения и оценки уровней звука в кабинах локомотивов

До 1 декабря 2014 года в качестве метода измерений уровней звука в кабинах подвижного состава при проведении СОУТ применялся ГОСТ 12.1.050-86 «Методы измерения шума на рабочих местах» (далее - ГОСТ 12.1.050-86) [11].

В соответствии с данным документом измерения уровней звука должны проводиться при работе не менее 2/3 обычно используемых в данном помещении единиц установленного оборудования в наиболее характерном режиме.

Измерения уровней звука не проводят при разговорах работающих, а также при подаче различных звуковых сигналов и громкоговорящей связи. Для непостоянного шума, причины колебания которого не связаны с характером выполняемой работы, измерения проводят 30 минут (три цикла измерений по 10 минут) или менее, если результаты измерений при меньшей продолжительности не отличаются более чем на 0,5 дБ (дБА). Измерения проводят в фиксированных точках (если положение головы работника известно точно) или с помощью микрофона, закрепляемого на работнике и перемещающегося вместе с ним.

В настоящее время в качестве метода измерений уровней звука в кабинах подвижного состава для СОУТ используется ГОСТ Р ИСО 9612-2013 «Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека» (далее - ГОСТ Р ИСО 9612-2013) [9], который включает три стратегии проведения измерений и устанавливает более жесткие требования к расчету неопределенности измерений.

В зависимости от базового элемента измерения ГОСТ Р ИСО 9612-2013 определяет следующие стратегии:

1. измерения на основе рабочей операции;
2. измерения на основе трудовой функции;
3. измерения на основе рабочего дня.

Первая стратегия основывается на проведенном анализе работ, выполняемых в течение дня данным работником, что позволяет разбить эти работы на ряд представительных рабочих операций, для каждой из которых выполняют несколько измерений. Под данную стратегию подходит, например, измерение уровней звука на рабочем месте сварщика.

Вторая стратегия основывается на выборочных измерениях, которые проводят в процессе выполнения данной рабочей функции. Под данную стратегию подходит, например, измерение уровней звука на рабочем месте работника на поточной линии.

Третья стратегия основывается на непрерывном измерении шума на рабочем месте в течение всего рабочего дня. Под данную стратегию подходит, например, измерение уровней звука на рабочем месте водителя вилочного автопогрузчика.

К особенностям эксплуатации пригородных электропоездов относятся наличие данных об их ежедневном пути следования по заданному маршруту в соответствии с расписанием движения электропоездов. Поэтому для измерения уровней звука в кабине машиниста была выбрана вторая стратегия и определены участки пути, наиболее полно характеризующие рабочий день машиниста и помощника машиниста электропоезда.

Целью проводимого исследования являлось сравнение результатов измерения шума в кабинах машинистов электропоездов одинаковых серий и номеров, полученных по старому и новому методам.

Измерения уровней звука на основе ГОСТ 12.1.050-86 в кабинах машинистов электропоездов серий ЭД4М, ЭР2Р, ЭР2Т проводились в течение 10 минут по 3 цикла при работе 2/3 мощности оборудования. Измерительный микрофон был расположен в центре кабины на высоте 1,6 м от уровня пола и на расстоянии 0,2 м от головы машиниста и его помощника в направлении центра кабины.

Результаты измерений уровней звука представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Результаты измерений уровней звука в кабинах машинистов электропоездов по ГОСТ 12.1.050-86

| Серия электропоезда | Фактические уровни звука (дБА) |
|---------------------|--------------------------------|
| ЭД4М | 76,1; 75,4; 78 |
| ЭР2Р | 78; 80,5; 79 |
| ЭР2Т | 79,8; 77,8; 77,5 |

Эквивалентный уровень звука за заданный интервал времени (30 минут) рассчитывают по формуле:

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^m T_i \cdot 10^{L_{Aeq,T_i}/10} \right), \quad (1.10)$$

где L_{Aeq,T_i} – эквивалентный уровень звука в интервале T_i ;

m – номер интервала.

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД4М в формулу 1, получим:

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left(\frac{1}{0,5} \left(0,17 \cdot 10^{76,1/10} + 0,17 \cdot 10^{75,4/10} + 0,17 \cdot 10^{78/10} \right) \right) = 76,7 \text{ дБА}.$$

Эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день рассчитывают по следующей формуле:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,T_e} + 10 \lg \frac{T_e}{T_0}, \quad (1.11)$$

где T_e – продолжительность воздействия шума в течение рабочей смены, ч;
 T_0 – 8 ч.

Подставляя полученный по формуле 1 эквивалентный уровень звука за заданный интервал времени в формулу 2, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электропоезда ЭД4М:

$$L_{EX,8h} = 76,7 + 10 \lg \frac{12}{8} = 78,5 \text{ дБА}.$$

Далее необходимо определить степень точности проведенных измерений.

Сначала рассчитывают среднее арифметическое значение выборки по формуле:

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i, \text{ дБА} \quad (1.12)$$

где, L_i – эквивалентный уровень звука за заданный интервал времени;
 n – количество измерений.

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД4М в формулу 3, получим:

$$\bar{L} = \frac{1}{3} (76,1 + 75,4 + 78) = 76,5 \text{ дБА}$$

Стандартное отклонение выборки рассчитывают по формуле:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n-1}}, \text{ дБА} \quad (1.13)$$

где, L_i – эквивалентный уровень звука за заданный интервал времени;

\bar{L} – среднее арифметическое значение выборки.

Подставляя среднее арифметическое значение выборки и фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД4М в формулу 4, получим:

$$s = \sqrt{\frac{(76,1 - 76,5)^2 + (75,4 - 76,5)^2 + (78 - 76,5)^2}{3 - 1}} = 1,3 \text{ дБА}$$

Доверительный интервал для эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день рассчитывают по формуле:

$$CL = u_s = \pm \sqrt{\frac{s^2}{n} + \frac{0,026 \cdot s^4}{n-1}} \cdot t_{n-1} \quad (1.14)$$

Подставляя стандартное отклонение выборки в формулу 5, получим:

$$CL = u_s = \pm \sqrt{\frac{1,3^2}{3} + \frac{0,026 \cdot 1,3^4}{2}} \cdot 5,840 = \pm 4,5$$

При использовании интегрирующего шумомера 1 класса точности и калибратора 1 класса точности неопределенность измерений, обусловленная измерительной аппаратурой u_i равна 1.

Общая неопределенность измерений рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \sqrt{u_i^2 + u_s^2} \quad (1.15)$$

Подставляя значение неопределенности измерений, обусловленной измерительной аппаратурой и стандартное отклонение выборки в формулу 6, получим:

$$\varepsilon = \sqrt{1^2 + 4,5^2} = 4,6$$

Аналогично были рассчитаны эквивалентные уровни звука за 8-часовую рабочую смену с учетом общей неопределенности измерений в кабинах электропоездов серии ЭР2Р и ЭР2Т. Результаты расчета представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Результаты расчета эквивалентных уровней звука за 8-часовой рабочий день в кабинах машинистов электропоездов по ГОСТ 12.1.050-86

| Серия электропоезда | Эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день (дБА) |
|---------------------|---|
| ЭД4М | 78,5±4,5 |
| ЭР2Р | 81,2±4,5 |
| ЭР2Т | 80,4±4,5 |

Измерения уровней звука по новому методу, изложенному в ГОСТ Р ИСО 9612-2013, проводились в кабинах машинистов электропоездов тех же серий и номеров, движущихся по тем же маршрутам. Измерения проводились на нескольких участках пути при движении и во время остановок электропоездов. Скорость движения электропоездов составляла от 43-106 км/ч, при работе 2/3 мощности оборудования. Измерительный микрофон был расположен в центре кабины на высоте 1,6 м от уровня пола и на расстоянии 0,2 м от головы машиниста и его помощника в направлении центра кабины.

Результаты измерений уровней звука представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Результаты измерений уровней звука в кабинах машинистов электропоездов по ГОСТ Р ИСО 9612-2013

| Серия электропоезда | Фактические уровни звука (дБА) |
|---------------------|--------------------------------|
| ЭД4М | 76,1; 75,4; 78; 75,9; 77,5 |
| ЭР2Р | 78; 80,5; 79; 76,4; 75,7 |
| ЭР2Т | 79,8; 77,8; 77,5; 77,9; 80,6 |

Эквивалентный уровень звука L_{p,A,eqT_e} , дБ, для эффективной длительности рабочего дня T_e вычисляют по формуле:

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 \cdot L_{p,A,eqT,n}} \right), \quad (1.16)$$

где $L_{p,A,eqT,n}$ – эквивалентный уровень звука n - го выборочного измерения длительностью T ;

n - номер выборочного измерения;

N – число выборочных измерений.

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД4М в формулу 1, получим:

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 76,1} + 10^{0,1 \cdot 75,4} + 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 75,9} + 10^{0,1 \cdot 77,5} \right) = 76,7 \text{ дБ.}$$

Эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день $L_{EX,8h}$, дБ, рассчитывают по формуле:

$$L_{EX,8h} = L_{p,A,eqTe} + 10 \lg \left(\frac{T_e}{T_0} \right), \quad (1.17)$$

где $L_{p,A,eqTe}$ – эквивалентный уровень звука $L_{p,A,eqTe}$, дБ, для эффективной длительности рабочего дня;

T_e – эффективная длительность рабочего дня, ч;

T_0 – базовая длительность рабочего дня, равная 8 ч.

Подставляя полученный по формуле 7 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 8, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электропоезда ЭД4М:

$$L_{EX,8h} = 76,7 + 10 \lg \left(\frac{12}{8} \right) = 78,5 \text{ дБ.}$$

Далее необходимо определить степень точности проведенных измерений.

Суммарную стандартную неопределенность рассчитывают по формуле:

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2), \quad (1.18)$$

где u_1 – стандартная неопределенность;

u_2 – инструментальная неопределенность;

u_3 – стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона;

c_2 – коэффициент чувствительности, определяющий влияние на неопределенность измерения средства измерения.

Стандартная неопределенность u_1 рассчитывается по формуле:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[\sum_{n=1}^N \left(L_{p,A,eqT,n} - L_{p,A,eqT} \right)^2 \right]}, \quad (1.19)$$

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

$\bar{L}_{p,A,eqT}$ – среднее арифметическое по результатам N измерений

$$\text{эквивалентного уровня звука, т.е. } \bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N L_{p,A,eqT,n}; \quad (1.20)$$

n – номер выборочного измерения при выполнении заданной функции;

N – число выборочных измерений при выполнении заданной функции.

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (76,1 + 75,4 + 78 + 75,9 + 77,5) = 76,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД4М и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 11, в формулу 10, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-4} [(76,1-76,6)^2 + (75,4-76,6)^2 + (78-76,6)^2 + (75,9-76,6)^2 + (77,5-76,6)^2]} = 1,11$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равное 1,11 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $c_1 u_1$ равно 0,8.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 9, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,8^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 2,13 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,5 \text{ дБ.}$$

Аналогично были рассчитаны эквивалентные уровни звука за 8-часовую рабочую смену с учетом суммарных стандартных неопределенностей измерений в кабинах электропоездов серии ЭР2Р и ЭР2Т. Результаты расчета представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 - Результаты расчета эквивалентных уровней звука за 8-часовой рабочий день в кабинах машинистов электропоездов по ГОСТ Р ИСО 9612-2013

| Серия электропоезда | Эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день (дБА) |
|---------------------|---|
| ЭД4М | 78,5±1,5 |
| ЭР2Р | 80,1±2 |
| ЭР2Т | 80,7±1,6 |

При сравнении эквивалентных уровней звука, скорректированных на 8-часовую рабочую смену, в кабинах машинистов электропоездов одинаковых серий и номеров, полученных по различным методам, было установлено, что их расчетные значения либо практически совпадают, либо имеют близкие значения. Отличие заключается только в величине суммарной стандартной неопределенности, которая может повлиять на итоговый класс условий труда при проведении СОУТ.

По новой методике в суммарную стандартную неопределенность входит инструментальная неопределенность, неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона, коэффициенты чувствительности, определяющие влияние на неопределенность измерения средства измерения и выбора точки измерения, а также вклад выборки объема измерений в неопределенность. По старой методике в общую неопределенность входит неопределенность измерений, обусловленная применяемой измерительной аппаратурой и неопределенность, обусловленная объемом выборки. Таким образом, расчет суммарной стандартной неопределенности по новой методике дает более точное значение эквивалентного уровня звука, скорректированного на 8-часовую рабочую смену.

Как видно из таблицы 5, эквивалентный уровень звука, скорректированный на 8-часовую рабочую смену в кабинах машинистов электропоездов при расчете по старому методу имеет большую величину неопределенности, а по новому методу величина суммарной стандартной неопределенности в 2-3 раза меньше. При этом класс условий труда по фактору «шум» при оценке условий труда в

кабинах машинистов электропоездов ЭД4М и ЭР2Р на одну степень вредности ниже [12].

Таблица 1.6 - Результаты оценки условий труда по фактору «шум» при проведении измерений по ГОСТ 12.1.050-86 и по ГОСТ Р ИСО 9612-2013

| Серия электропоезда | Эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день (дБА) по ГОСТ 12.1.050-86 | Класс условий труда по фактору «шум» | Эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день (дБА) по ГОСТ Р ИСО 9612-2013 | Класс условий труда по фактору «шум» |
|---------------------|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| ЭД4М | 78,5±4,5 | 3.1 | 78,5±1,5 | 2 |
| ЭР2Р | 81,2±4,5 | 3.2 | 80,1±2 | 3.1 |
| ЭР2Т | 80,4±4,5 | 3.1 | 80,7±1,6 | 3.1 |

Рассмотрим отличия методики измерения шума при проведении сертификационных испытаний по ГОСТ33463.2-2015 и методики измерения шума при проведении СОУТ по ГОСТ Р ИСО 9612-2013, приведенные в сравнительной таблице 1.7:

1. Эти методики оценивают различные контролируемые параметры: если при сертификации - это уровни звука и уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, то при СОУТ – эквивалентный уровень звука.

2. Сертификацию проходит новый или модернизированный подвижной состав на специально подготовленных для испытаний железнодорожных путях. СОУТ проводят на уже эксплуатирующемся подвижном составе в реальных условиях эксплуатации.

3. Испытания при сертификации проводят при движении подвижного состава со скоростью $2/3$ конструкционной ± 5 км/ч и мощности локомотива равной $2/3$ номинальной $\pm 10\%$. Участок пути при проведении сертификации должен быть бесстыковым, кривые должны быть не менее 1000 м, не должно

быть стрелочных переводов, подъемов и уклонов больше 5 %. Участок пути не должен проходить по мостам или в тоннелях, ближе 50 м от строений, через лес.

При этом окна и двери кабины подвижного состава должны быть закрыты, система обеспечения микроклимата должна работать в штатном режиме. При сертификации исключают влияние посторонних источников шума, связанных с прохождением по другому пути подвижного состава, радиопереговоры и звуковые сигналы, а также иные не оговоренные помехи. Испытания не проводят при неблагоприятных атмосферных условиях.

При СОУТ выбирают несколько представительных шумовых участков, распределенных по рабочей смене. Для машинистов и помощников машинистов подвижного состава это один рабочий цикл, состоящий из поездки, посадки и высадки пассажиров (пассажирский тепловоз или электровоз, электропоезд). Скорость при проведении измерений равна максимально разрешенной на данном участке пути $\pm 10\%$. Радиопереговоры, звуковые сигналы могут быть учтены только у маневровых локомотивов, так как они являются неотъемлемой частью трудового процесса.

4. Порядок проведения испытаний при сертификации и при СОУТ различны. Так при сертификации вначале определяют характер шума во времени. Если это постоянный шум, то проводят не менее 3-х измерений последовательно в дБА и в каждой октавной полосе. При измерении колеблющегося во времени шума и непостоянного прерывистого шума переключатель прибора устанавливают в положении «медленно» и значения уровней звука принимают по показаниям прибора в момент отсчета.

При СОУТ измеряют только эквивалентный уровень звука при выполнении типичных трудовых функций. По каждой трудовой функции выполняют не менее трех измерений. Продолжительность каждого измерения определяется в процессе проведения измерений, но должна быть не менее 3 минут.

При сертификации микрофон располагают в центре кабины на уровне 1,2-1,6 м от уровня пола. При СОУТ микрофон для сидящего работника располагают

в центральной плоскости сиденья на высоте $(0,80 \pm 0,05)$ м над его поверхностью [13].

Таблица 1.7 - Сравнение методик измерения шума при сертификации и при СОУТ

| Области сравнения | СТ ССФЖТ ЦТ 019-99 | ГОСТ Р ИСО 9612-2013 |
|--------------------------|---|---|
| Область применения | Настоящий стандарт применяют при проведении сертификации локомотивов и МВПС в Системе сертификации на федеральном железнодорожном транспорте (ССФЖТ). Настоящая методика является обязательной при проведении сертификационных испытаний локомотивов и МВПС. Данная методика по приведенным показателям может также применяться при приемочных и других испытаниях. | Настоящий стандарт устанавливает метод измерения шума, воздействующего на работника на его рабочем месте, и расчета основной нормируемой характеристики шумового воздействия - эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день. |
| Контролируемые параметры | Уровни звука и уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами | Эквивалентный уровень звука |
| Объект испытаний | Объектами испытаний являются кабина локомотивов или МВПС. Испытываемый объект должен быть изготовлен в полном соответствии с ТУ, утвержденными рабочими чертежами, принят в установленном порядке ОТК завода-изготовителя и представителем приемки заказчика на предприятии (при его наличии). | Эксплуатирующийся подвижной состав |

| | | |
|------------------------------|--|--|
| Условия проведения испытаний | <p>Испытания проводят:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. при движении со скоростью равной 2/3 конструкционной ± 5 км/ч и мощности локомотива равной 2/3 номинальной $\pm 10\%$. 2. на бесстыковых участках пути с железобетонными шпалами в количестве 1840 шт/км, на щебеночном основании. 3. рельсы должны быть типа Р50 или тяжелее без волнообразного износа. 4. на участке пути, на котором нет кривых радиусом менее 1000 м, стрелочных переводов, подъемов или уклонов больше 5 ‰. он не должен проходить по мостам, в тоннелях, ближе 50 м от строений, в глубокой выемке, через лес. состояние пути должно соответствовать оценке "Хорошо". | <p>Для проведения измерений:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. формируют группы равного шумового воздействия 2. определяют минимальную суммарную длительность измерения 3. выбирают несколько представительных шумовых участков |
| Порядок проведения испытаний | <ol style="list-style-type: none"> 1. Перед началом испытаний проверяют готовность приборов к работе, включая калибровку измерительного тракта. 2. Испытываемый объект приводят в рабочее состояние. 3. Измерительный микрофон, главная ось которого должна быть направлена вниз, устанавливают в центре кабины машиниста на высоте 1,2-1,6 м от уровня пола кабины. 4. Определяют характер шума в дБА во времени. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Проводят калибровку перед каждой серией измерений 2. Микрофон располагают на высоте $0,80 \pm 0,05$ м над поверхностью сиденья |

1.5 Анализ результатов исследования уровня шума в кабинах локомотивов

По данным отечественных литературных источников фактические значения в кабинах и машинных отделениях локомотива - от 81 дБА до 96 дБА.

Были проведены исследования уровня звука в кабине локомотивов серии ВЛ60, ВЛ60к, ВЛ85, ВЛ80Т, ВЛ80С, ЗЭС5К, ЭП-1 на Восточно-Сибирской железной дороге. Исследования уровня звука в кабине локомотивов приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 - Исследования уровня звука в кабине локомотивов на Восточно-Сибирской железной дороге

| Тип электровоза | Место замера | Локомотивное депо | | | |
|--|--------------|-------------------|----------|------------|---------|
| | | Вихоревка | Улан-Удэ | Нижеудинск | Зима |
| Допустимый эквивалентный уровень звука, дБА | | | | | |
| | кабина | 80 | 80 | 80 | 80 |
| Фактический эквивалентный уровень звука, дБА | | | | | |
| ВЛ-60, ВЛ-60К | кабина | - | - | - | 81,6 |
| ВЛ-85 | кабина | - | 84-85 | 82,0 | 81,7 |
| ВЛ-80Т, ВЛ-80С | кабина | - | 81-84,7 | 82,4 | 82-83,2 |
| ЗЭС5К | кабина | 74 | - | - | - |
| ЭП-1 | кабина | - | - | - | 78 |

Авторами сделан вывод о том, что шумоизоляция кабин обеспечивает шум на рабочих местах на уровне требований безопасности до определенной скорости его движения. Так у электровоза ЭП-1 она не превышает 82 км/ч, электровоза ВЛ-80 – 62-64 км/ч, электровоза ВЛ-85 – 75 км/ч, электровоза ЗЭС5К – 70 км/ч. При закрытых окнах шум распределен по кабине равномерно. При подаче сигналов свистками и тифонами шум в кабинах при его оценке по эквивалентному уровню не превышает допустимого значения, однако он является импульсным, а их максимальные уровни превышают допустимое значение. При открытых окнах шум в кабине электровозов увеличивается и данное увеличение зависит от скорости движения. Сделаны следующие выводы:

1. открытие окон в кабинах локомотивов приводит к ухудшению

шумовой обстановки на рабочих местах членов локомотивных бригад;

2. при открытых окнах кабин превышение шума над нормами фиксируется при меньших скоростях движения локомотивов по сравнению с движением с закрытыми окнами;

3. при открывании и закрывании окон возникают дополнительные нагрузки на органы слуха от действия воздушной волны аэродинамического происхождения;

4. при движении локомотива недопустимо производить осмотр состава и давать визуальную оценку дорожной обстановки при открытых окнах кабины [14,15].

По данным отечественных литературных источников измерения шума в кабинах электропоездов производились для скоростей движения, лежащих в пределах от 60 до 115 км/ч, на участке пути с балластным слоем из сухого непромерзшего щебня и железобетонными шпалами. Рельсы измерительного участка пути не имели стыков и волнообразного износа. Результаты измерений уровней звука представлены в таблице 1.9 [16,17].

Таблица 1.9 - Измерения уровней звука в кабинах электропоездов

| Скорость, км/ч | Уровень звука, дБА |
|----------------|--------------------|
| 65 | 85 |
| 77 | 93 |
| 91 | 94,8 |
| 93 | 95,4 |
| 102 | 96,7 |
| 113 | 98,9 |

Сделан вывод о том, что уровни шума электропоездов возрастают с возрастанием скорости. При этом уровни звука лежат в диапазоне от 85 до 99 дБА. В полученных спектрах имеется ряд характерных особенностей. Спектры воздушного шума носят в основном среднечастотный и высокочастотный характер. При скорости движения 65 км/ч имеется четко выраженный максимум на частоте 630 Гц. Соседние среднегеометрические частоты 500 и 800 Гц имеют

уровни звукового давления на 5 дБ ниже и составляют 87 дБ. Авторы предполагают, что процессы шумообразования в электропоездах связаны с взаимодействием колесо-рельс и интенсивным звуковым излучением контактного провода на крышу электропоезда [18,19].

Следует выделить исследования, выполненные научной школой доктора технических наук, профессора Иванова Н.И. Им были наиболее полно изучены процессы шумообразования дорожно-строительных машин, получены аналитические зависимости для расчета уровней шума на рабочих местах операторов. В кабинах локомотивов недостаточно теоретических и экспериментальных исследований акустических характеристик, существующие модели шумообразования дорожно-строительных машин не учитывают характерных для локомотивов процессов, в частности, изменения шума с увеличением скорости, дополнительных источников (рация, электропневматический клапан, открытые окна), ухудшение акустических свойств кабин при эксплуатации [20, 21].

Пронниковым Ю.В. получены зависимости для определения уровней шума в кабинах локомотивов на рабочих местах машинистов. Было установлено, что расчет уровней шума в кабине учитывает остекление как отдельный «слабый» элемент соответствующих панелей кабины, а также уровни шума в отсеке электросиловой установки, что позволило существенно уточнить закономерности шумообразования в кабинах, также разработана методика акустического расчета и проектирования кабин локомотивов, позволяющая как при проектировании, так и при ремонте или модернизации обеспечить выполнение предельно-допустимых виброакустических характеристик. Проведенные исследования не включали изучение зависимости изменения шума с увеличением скорости, дополнительных источников (рация, электропневматический клапан, открытые окна) [22,23].

По данным зарубежной литературы на железных дорогах Германии внешний шум от подвижного состава составляет от 88 дБА до 94 дБА, в кабинах локомотивов семейства Prima (Франция) эквивалентный уровень звука при

движении составляет 72 дБА, что ниже допустимого нижнего дневного значения равного 80 дБА [24].

По материалам аттестации рабочих мест по условиям труда (далее – АРМ) были выявлены превышения значений эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов. Следует предположить, что в процессе эксплуатации ухудшаются звукоизолирующие свойства кабин локомотивов, т.е. величина эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов зависит от года выпуска локомотива и его конструктивных особенностей.

Был проведен анализ результатов АРМ машинистов и помощников локомотивов, проведенной в 2009-2013 гг. ООО «Отраслевой Центр Промышленной Безопасности» на сети железных дорог России. Анализу подвергалось 40 типов локомотивов различных видов движения (пассажирское, грузовое и маневровое), выпущенных в 1965-2013 гг. Измерения на данных типах локомотивов проводились в соответствии с методиками, изложенными в действующих нормативных актах [25,26,27,28]. Для рабочих мест машиниста и помощника машиниста локомотива при проведении АРМ были выделены следующие рабочие зоны: кабина локомотива при движении, кабина локомотива на стоянке, машинное отделение, открытая территория (около локомотива при его осмотре). Измерения проводились на стоянках при холостых оборотах двигателя и во время движения со скоростью, равной $2/3 \pm 10\%$ от максимальной разрешенной на данном участке эксплуатации и при реализации $2/3$ номинальной мощности двигателя. Для каждой рабочей зоны была определена величина эквивалентного уровня звука с учетом времени его воздействия. Для каждого локомотива была рассчитана величина эквивалентного уровня звука, воздействующего на машиниста и помощника машиниста в течение смены.

Расчетные значения эквивалентных уровней звука в кабинах всех типов локомотивов, принятых к аналитической обработке, составили от 80 до 93 дБА. Как видно из таблицы 1, средний эквивалентный уровень звука в кабинах локомотивов с вероятностью 0,80 составил $84,3 \pm 0,16$ дБА, т.е. превысил нормируемый уровень звука 80 дБА на 4,3 дБА [3]. На основе рассчитанных

данных была построена диаграмма зависимости эквивалентного уровня звука в зависимости от года выпуска локомотива, представленная на рисунке 1.3.

Таблица 1.10 - Результаты расчета среднего эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов, введенных в эксплуатацию с 1965 по 2013гг.

| Год введения в эксплуатацию локомотива | Средние значения эквивалентного уровня звука в локомотиве, дБА |
|--|--|
| 1965 | 84,8 |
| 1970 | 84,3 |
| 1975 | 84,4 |
| 1980 | 84,2 |
| 1985 | 84,9 |
| 1990 | 81,8 |
| 1996 | 84,5 |
| 2002 | 82,0 |
| 2005 | 84,1 |
| 2010 | 85,4 |
| 2013 | 85,0 |
| Среднее значение | 84,3±0,16 |

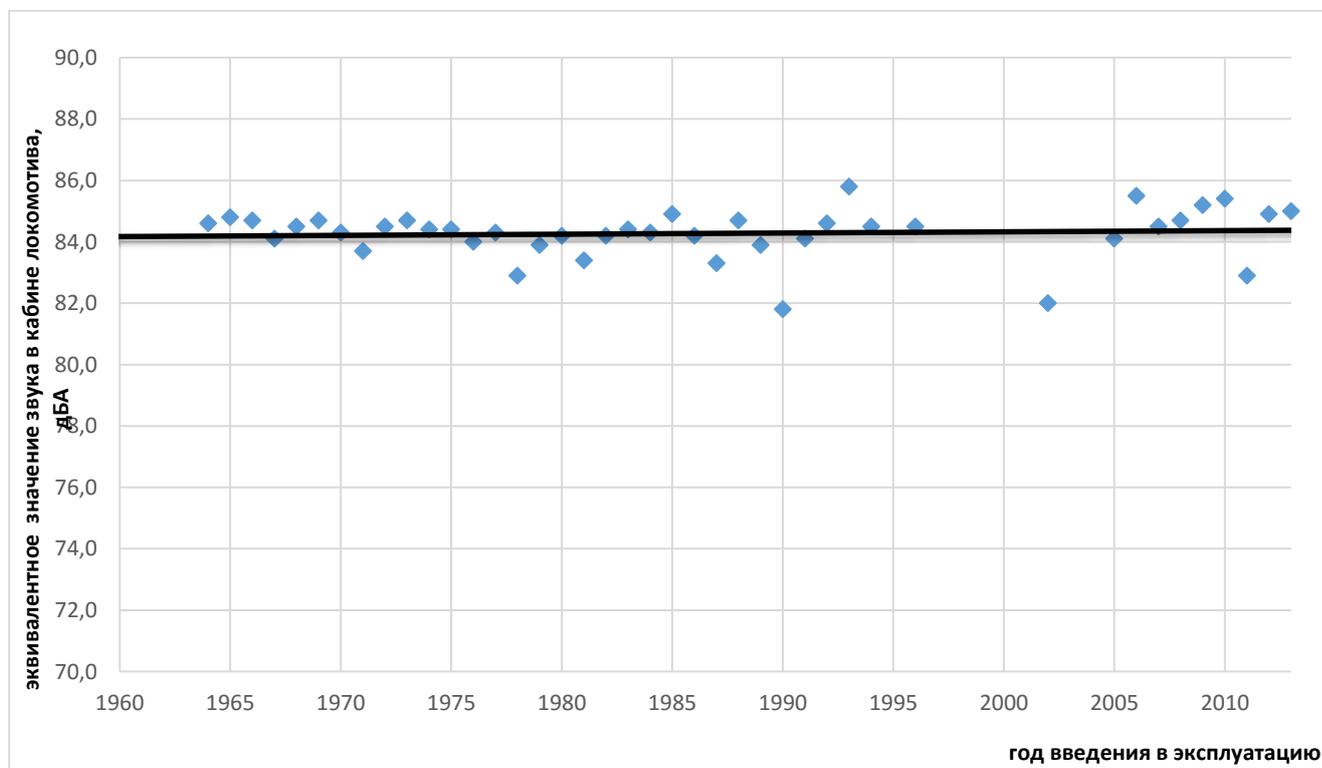


Рисунок 1.3 - Зависимость среднего эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов, введенных в эксплуатацию с 1965 по 2013гг

Анализ результатов расчета, приведенных на рисунке 1, свидетельствует о том, что отсутствует прямая зависимость значений эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов от года их выпуска.

Выборки по видам движения локомотивов – грузовым, маневровым и пассажирским, а также по типу - тепловоз, электровоз, выпущенным различными заводами, отечественными и иностранными, также подтвердили вывод об отсутствии прямой зависимости значений эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов от года их выпуска .

Так средние эквивалентные уровни звука в кабине электровозов серии ВЛ составили $84,6 \pm 0,21$ дБА, в кабине тепловозов серии ТЭМ – $85,3 \pm 0,27$ дБА, в кабине тепловоза серии ЧМЭЗ – $82,5 \pm 0,03$ дБА. Средние эквивалентные уровни звука в кабинах электровозов серии ВЛ, тепловозов серии ТЭМ и тепловозов серии ЧМЭЗ представлены в таблицах 1.11, 1.12 и 1.13 соответственно. По рассчитанным данным были построены диаграммы зависимости эквивалентного уровня звука в кабинах различных типов локомотивов от года их выпуска, представленные на рисунке 1.4, 1.5 и 1.6 соответственно [29].

Таблица 1.11 - Результаты расчета среднего значения эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов серии ВЛ60 и ВЛ80

| Год введения в эксплуатацию локомотива | Средние значения эквивалентного уровня звука в локомотиве, дБА |
|--|--|
| 1965 | 85,0 |
| 1966 | 85,7 |
| 1971 | 85,5 |
| 1972 | 85,2 |
| 1974 | 83,5 |
| 1977 | 83,0 |
| 1979 | 83,0 |
| 1980 | 85,0 |
| 1981 | 84,6 |
| 1982 | 83,9 |
| 1983 | 85,0 |
| 1984 | 84,8 |
| 1985 | 84,8 |

Продолжение таблицы 1.11

| | |
|------|------|
| 1986 | 84,9 |
| 1987 | 84,8 |
| 1988 | 85,8 |
| 1991 | 84,3 |
| 1992 | 85,5 |
| 1994 | 85,0 |

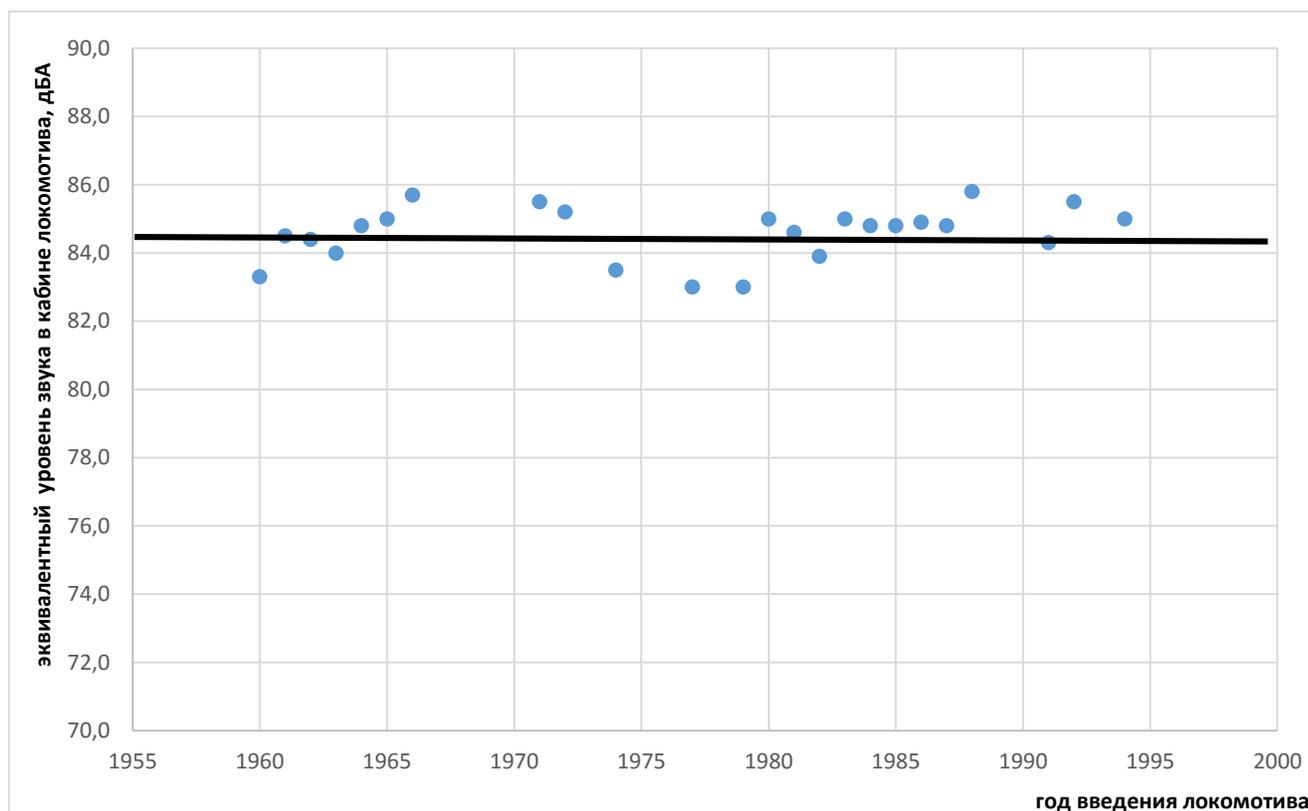


Рисунок 1.4 - Зависимость эквивалентного уровня звука в кабине локомотива серии ВЛ60 и ВЛ80

Таблица 1.12 - Результаты расчета среднего значения эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов серии ТЭМ

| Год введения в эксплуатацию локомотива | Средние значения эквивалентного уровня звука в локомотиве, дБА |
|--|--|
| 1969 | 86,7 |
| 1970 | 85,8 |
| 1971 | 84,5 |
| 1972 | 84,6 |
| 1973 | 83,8 |

Продолжение таблицы 1.12

| | |
|------|------|
| 1974 | 84,3 |
| 1975 | 85,0 |
| 1976 | 84,1 |
| 1977 | 85,0 |
| 1978 | 86,4 |
| 1979 | 85,9 |
| 1980 | 86,3 |
| 1981 | 85,4 |
| 1983 | 85,0 |
| 1984 | 85,8 |
| 1985 | 86,1 |
| 1987 | 84,5 |
| 1988 | 86,0 |

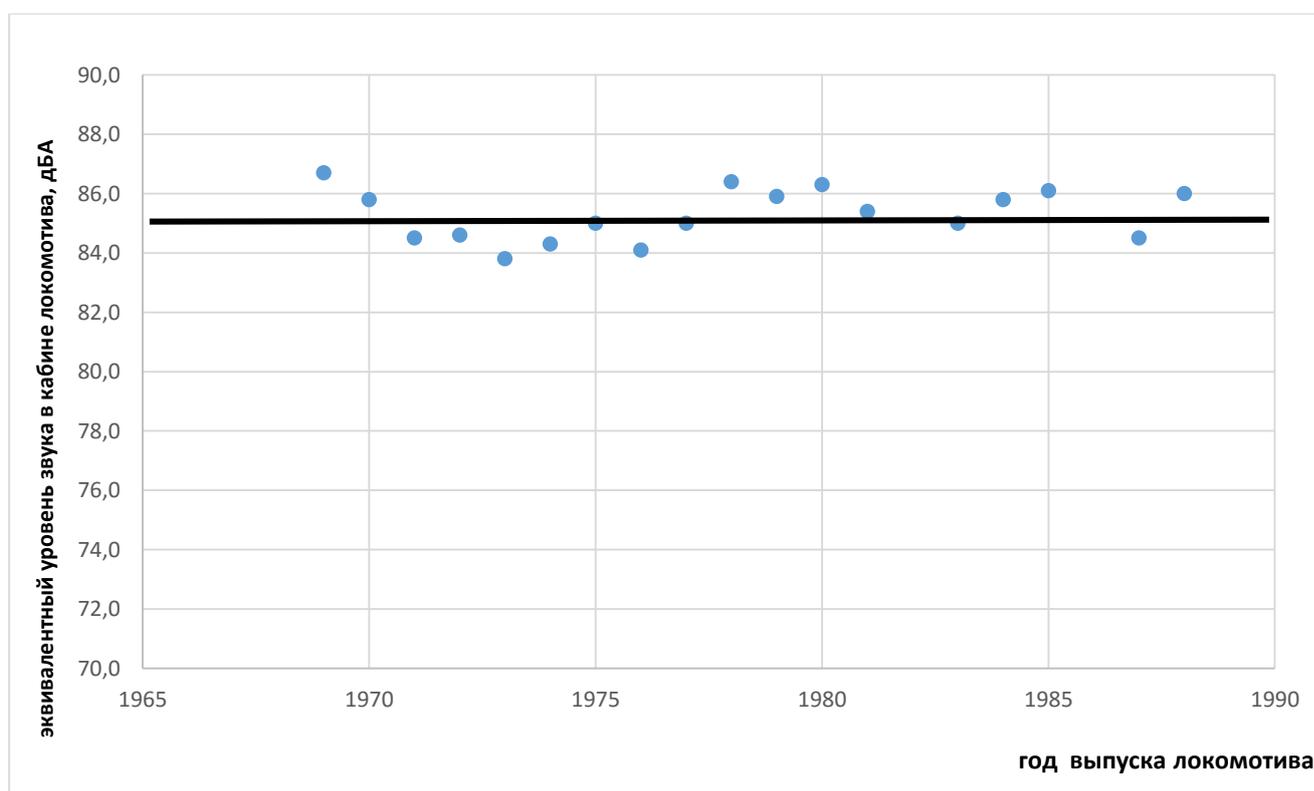


Рисунок 1.5- Зависимость эквивалентного уровня звука в кабине локомотива серии ТЭМ

Таблица 1.13 - Результаты расчета среднего значения эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов серии ЧМЭЗ

| Год введения в эксплуатацию локомотива | Средние значения эквивалентного уровня звука в локомотиве, дБА |
|--|--|
| 1978 | 82,5 |
| 1979 | 82,5 |
| 1980 | 82,5 |
| 1981 | 82,5 |
| 1983 | 82,5 |
| 1985 | 82,7 |
| 1986 | 82,5 |
| 1987 | 82,5 |
| 1988 | 82,5 |
| 1989 | 82,5 |
| 1990 | 82,5 |

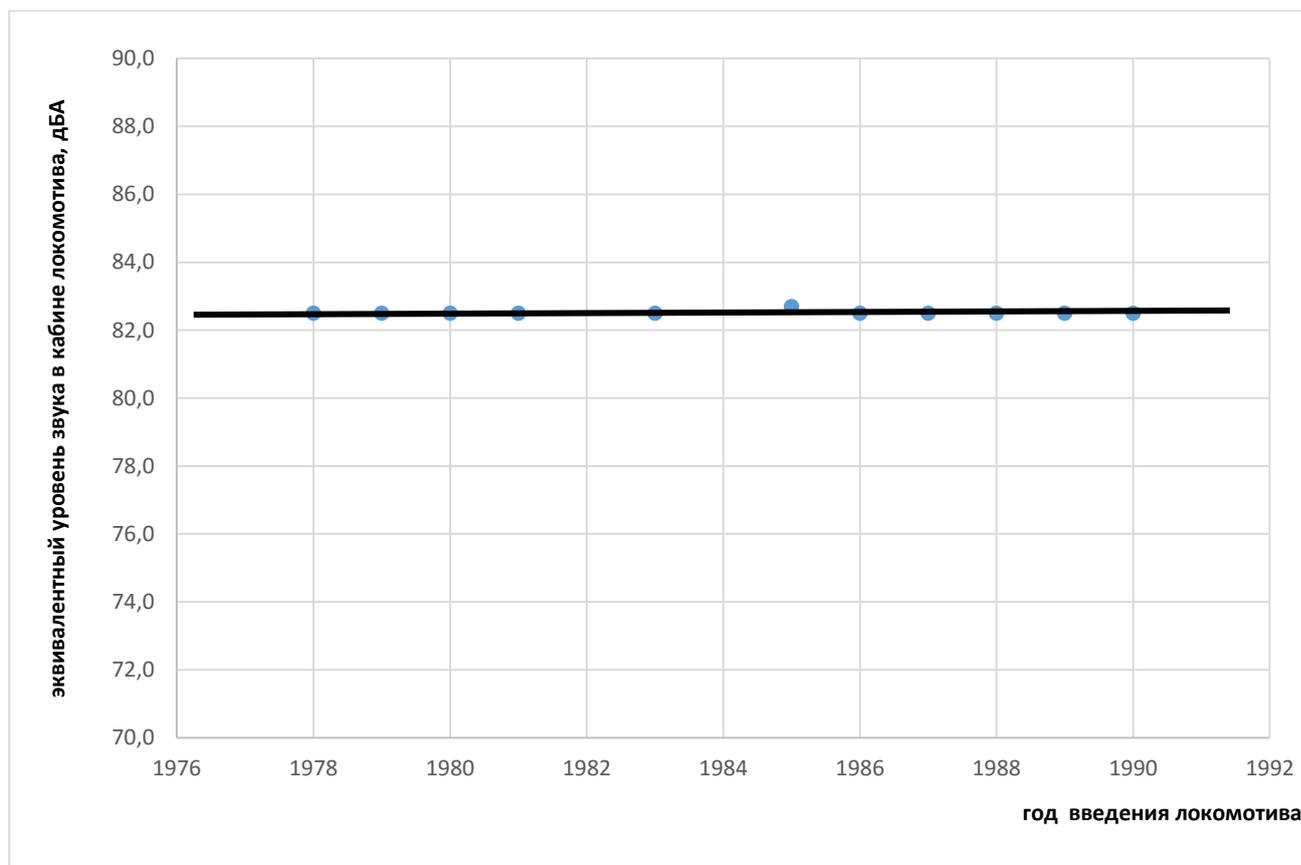


Рисунок 1.6 - Зависимость эквивалентного уровня звука в кабине локомотива серии ЧМЭЗ

1.6 Методы борьбы с шумом

Важной частью общей проблемы уменьшения вредного воздействия неблагоприятных факторов на локомотивную бригаду железнодорожного транспорта является борьба с шумом. Особое значение имеет частотная характеристика шума - это важная составляющая акустического комфорта в салоне поезда. Так, железнодорожный транспорт может «вписываться» в самые жесткие стандарты по общему уровню шума, но частотная характеристика шума будет такова, что на всех или некоторых режимах движения можно услышать неприятные звуки высокой или низкой тональности, скрипы, стуки [30].

Методы борьбы с шумом разделяются на конструктивный и пассивный. Конструктивный метод включает: применение отбалансированных силовых агрегатов и узлов трансмиссии; правильный подбор и расчет элементов подвески. Пассивный метод включает применение звукопоглощающих, звукоизолирующих и уплотнительных материалов, защитных кожухов [31].

Применение шумоизолирующих материалов - последняя ступень в создании «тихого» транспорта, т.е. прежде всего вагоны «доводятся» конструкционно, а уже потом, если возможности конструкции исчерпаны, используются звукопоглощающие, звукоизолирующие и уплотнительные материалы.

Большой вклад в разработку теоретических основ звукоизоляции внесли отечественные ученые Е.Я. Юдин, Б.И. Заборов, И.Г. Дрейзен, И.И. Клюкин, В.Н. Никольский и другие, а также ряд зарубежных ученых - Л.Кремер, К.Газель и другие. Ими было показано, что звукоизоляционные изделия занимают промежуточное положение между твердым телом, для которого характерны свойства упругости и прочности, и жидкостью, для которой характерно свойство вязкости. Поэтому звукоизоляционные прокладочные изделия носят название упруго-вязких. Одним из первых вопрос о прохождении звука через слоистые ограждения рассмотрел Л. Беранек. Он исследовал прохождение нормально падающих звуковых волн через систему чередующихся между собой слоев. Для определения акустических параметров такой конструкции использовался

импедансный метод. Весьма сложной задачей по определению звукоизоляции слоистой плиты в диффузном поле посвящена работа А. Лондона.

Использование матричного метода для описания уравнения движения приводится в работе Томсона. Автор указывает, что когда слоистая среда состоит из параллельных твёрдых пластин без жидких слоев между ними, задача не может быть сведена к случаю одиночной однослойной панели. Уравнения для отдельного взятого слоя должны быть связаны с уравнениями примыкающего слоя непрерывностью скорости частиц, и нормальных и касательных напряжений на их границе. Данный метод позволяет учесть также потери энергии в любом из составляющих слоев [32].

Анализ колебаний трёхслойных демпфированных панелей впервые был проведён Кервиным для основного одномерного случая, при котором не принимались в расчёт граничные условия. Автор представляет выражения для определения коэффициента потерь слоистой конструкции в зависимости от свойств и размеров различных слоев и оптимальные толщины демпфирующих материалов.

Метод для анализа эффективности демпфирования слоистых пластин с вязкоупругим слоем представили Росс, Унгар и Кервин. Демпфирование возникает при растяжении-сжатии и при сдвиговых деформациях вязкоупругих слоев. Авторами сделана оценка максимально возможного демпфирования, которое может быть достигнуто. Эта оценка представлена как функция относительных размеров демпфирующей панели. Изгибная жёсткость и эффективное внутреннее трение являются сложной функцией модулей упругости, внутренних трений и размеров этих слоев. Внутреннее трение в такой пластине может быть определено через общую эффективную изгибную жёсткость [33].

Значительный вклад в теорию акустического расчёта системы упругих слоев внесли Б.Д. Тартаковский, С.А. Рыбак, Н.Н. Морозова и др.. Ими проделана большая работа по уточнению и дальнейшему развитию метода Томсона, а также разработаны и предложены стандартные программы, позволяющие определять эффективность слоистых ограждений на ЭВМ.

Широкие теоретические исследования позволили выявить конструкции, снижающие прохождение звука и типы материалов, пригодных для их изготовления. Перед промышленностью стоит задача создания новых шумоизоляционных материалов на основе полимерных материалов с улучшенными экологическими и эксплуатационными показателями. Основные свойства шумо-виброзащитных материалов, давно используемых промышленностью, представлены в таблице 1.14.

Таблица 1.14- Эффективный коэффициент механических потерь в звуковом диапазоне частот

| Наименование материалов | при 20 °С | при 140 °С |
|-----------------------------|-------------|-------------|
| Слоистые материалы: | | |
| Полиакрил ВС, Полиакрил ВСМ | 0,2 – 0,3 | — |
| Полиакрил ТР | 0,18 – 0,20 | — |
| Мастичные материалы: | | |
| Адем | 0,2 – 0,3 | — |
| Адем-М | 0,17 – 0,2 | — |
| Адем-Т | 0,15 – 0,2 | — |
| Пеноматериал Атерм | — | 0,10 – 0,13 |
| Пресс-материал Атерм-М | — | 0,10 – 0,12 |

Условно все шумодемпфирующие материалы могут быть разделены на звукоизолирующие и звукопоглощающие.

Звукоизоляция - метод защиты от воздушного шума, основанный на отражении звука от бесконечной плотной звукоизоляционной преграды.

Звукоизолирующие материалы в первую очередь применяются для шумоизоляции салона.

Звукоизолирующие конструкции подразделяются на: однослойные, двухслойные, трехслойные, многослойные, двухстенные, комбинированные.

Звукопоглощение - метод защиты от воздушного шума, основанный на поглощении звука при переходе звуковой энергии в тепловую в мягкой звукопоглощающей конструкции (волокнистой или пористой). Материалы подобного типа используются в качестве обивки конструкций салонов вагонов

для снижения отраженного шума. Чем выше коэффициент звукопоглощения (α), тем меньшая часть энергии отражается от поверхности. Коэффициент звукопоглощения зависит как от отражающих свойств поверхности, так и от свойств материала, который ее покрывает [34].

В работах было предложено для увеличения звукопоглощения на низких частотах между пористым слоем и стеной устраивать воздушный промежуток, а для увеличения прочности и предохранения от высыпания звукопоглощающие конструкции покрывать слоем перфорированного твердого материала (алюминием, деревом, пластиком, базальтопластиком, сталью и др.). Экспериментально показано, что наличие такого покрытия несколько меняет характер поглощений звукопоглощающей конструкции: на низких частотах звукопоглощение несколько повышается, а на высоких падает. Площадь перфорации может колебаться в пределах от 15 до 75 % [35, 36,37].

В области создания легковесных звукопоглощающих и теплоизоляционных материалов для защитных экранов любых видов транспорта преимуществом будет обладать более легкий материал. Разработанный материал, включающий полые зольные микросферы, фосфатное связующее и микропорошок на основе электрокорунда, при небольшом весе имеет широкую полосу звукопоглощения и повышенную прочность при сжатии [38,39,40].

Уникальным изобретением из области светопрозрачных материалов, отличающимся большим числом полезных качеств, улучшающих жизнь человека, является триплекс. Это многослойная (от двух слоёв и больше) прозрачная перегородка, представляющая собой сочетание неорганического (или органического) стекла с полимерным материалом в виде заливки или плёнки (рисунок 1.7).

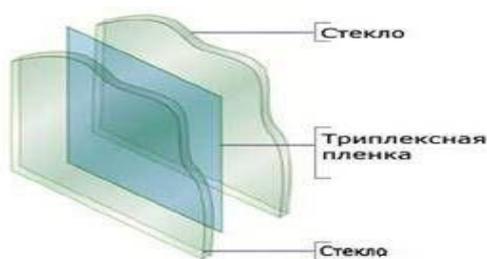


Рисунок 1.7 - Триплекс

Из триплекса, как из особопрочного стекла, изготавливаются стёкла для самолетов, железнодорожных пассажирских вагонов, современных стеклопакетов пластиковых окон, лобовых стёкол всех автомобилей, иллюминаторы космических кораблей, батискафов, подводных лодок, различных устройств в промышленности. Большое значение имеют шумозащитные свойства триплекса, который поглощает и отражает шумовые волны на 20 - 30 % эффективнее, чем одинарное стекло такой же толщины. Поэтому лист триплекса часто используется в шумоизолирующих стеклопакетах.

Для снижения корпусных шумов и вибраций панелей потолка в железнодорожном транспорте традиционно применяются вибродемпфирующие материалы из арамидных отходов. Однако, они не только не позволяют в полной мере обеспечить требуемый уровень снижения вибрации и шума, но и повышают угрозу возникновения пожара в закрытой надпотолочной зоне, поскольку на ворсистой поверхности нетканого арамидного материала скапливается значительное количество пожароопасной и биологической пыли, которую практически невозможно удалить.

На мировом рынке шумопонижающих материалов сегодня есть много различных фирм, которые развивают производство по следующим направлениям:

Американская фирма «SCHULLER» производит волокнистые шумопоглощающие материалы на базе стекловолокна, дублированного различными облицовочными и защитными покрытиями типа малифлиз.

Словацкая фирма «SLOVENSCE ZAVODY TECHNIKENO SKLA A.S.» создает материалы типа ИЗОМАТ, обладающие звукопоглощающими и теплоизолирующими свойствами. Данные композиционные материалы состоят из

слоев стеклянного переплета, открытоячеистого пенополиуретана «Молитан», холста из термопластичных полиуретановых волокон «Петекс», алюминиевой фольги, защитного клеевого слоя.

Немецкая фирма «HR-CHEMI PELZER. GmbH» производит плоские звукопоглощающие материалы, представляющие собой открытоячеистые акустические пенополиуретаны, облицованные защитной полиэфирной, алюминизированной или уретановой пленкой, содержащие клеевой адгезионный слой, защищенный специальной бумагой.

Немецкая фирма «Carl Freudenberg» производит цельноформованную шумоизоляцию для моторных отсеков транспорта.

Французская фирма «Rieter Automative France S.A.», которая входит в международный концерн «Rieter» (Швейцария), является одним из ведущих производителей деталей шумоизоляции на основе битума для транспорта.

Не вызывает сомнений, что получение звукоизоляционных прокладочных изделий с заданными свойствами (высокая пористость, упругость, долговечность, нетоксичность и т.д.) определяется выбором исходных сырьевых материалов и способов их переработки.

Из анализа приведенных данных следует, что предпочтение должно быть отдано изделиям на основе волокнистого сырья. Кроме шумоизоляционных свойств, материалы на основе волокон обеспечивают теплоизоляцию. Свойства волокнистого теплоизоляционного материала во многом зависят от его состава. Каждый компонент, входящий в его состав, оказывает значительное влияние как на формовочные свойства смесей, так и на физико-механические, теплофизические и другие свойства волокнистого материала.

Основные физико-технические свойства волокнистых теплошумоизоляционных материалов (ВТИМ) в значительной мере зависят от количества и природы волокна. Роль волокон весьма многообразна. Они выполняют функцию каркасообразующего элемента, формирующего пористость материала, его физико-механические и эксплуатационные свойства. Для изготовления ВТИМ используют как органические, так и минеральные волокна [41,42,43].

Органические волокна могут быть получены как из природного сырья, так и из искусственных и синтетических материалов. Плотность волокон изменяется в широком диапазоне значений: от 440 до 1540 кг/м³. Свойства волокон определяются их химическим составом и строением. Геометрические размеры (диаметр 30... 15000 мкм, длина 0,05...80 мм) природных органических волокон определяются способом получения волокна (древесное волокно) или природными условиями (торф, костра), а искусственных и синтетических волокон - только способом получения.

Практически все свойства органических волокон зависят от их влажности, так как они обладают значительным водопоглощением (40...60 %) и гигроскопичностью (5,6...33%). Например, прочность органических волокон в сухом состоянии составляет 120...940 МПа, а при увлажнении наблюдается снижение прочности до 70%. Коэффициент теплопроводности органических волокон равен 0,21...0,36 Вт/(м·К), удельная теплоемкость 1200...2300 Дж/(кг·К). Высокая удельная теплоемкость и низкий коэффициент теплопроводности органических волокон создают более благоприятные условия для получения эффективных ВТИМ по сравнению с материалами на основе минеральных волокон. Оптимальное содержание волокнистого компонента в эффективных ВТИМ составляет 70 – 98 %. Увеличение количества волокна выше оптимального приводит к снижению прочностных характеристик изделий, а уменьшение их содержания — к увеличению средней плотности и теплопроводности материала.

В последнее время все больше внимания уделяют волокнистым материалам, металлизированным алюминием, что обеспечивает высокие показатели теплошумоизоляции. Фиксирование слоев осуществляется за счет подплавления при нагреве контактирующей с ним термопластичной пленки.

Еще один вариант трудногорючего теплошумоизоляционного материала представлен в работе.). Он включает фенилоновую ткань с кислородным индексом не менее 28% O₂, промежуточный слой из 22 – 25 % раствора фторопласта Ф-26 и наружный алюминиевый слой. Недостатками перечисленных шумотеплоотражательных материалов являются невысокая устойчивость к

стирающим нагрузкам, повышенная прогреваемость, недостаточные коэффициент отражения звуковых волн, горючесть и высокие затраты при изготовлении.

Лучших технических показателей можно достичь при использовании в качестве основы нетканых материалов. При этом теплозащитный волокнистый слой может иметь малую теплопроводность и относительно небольшой вес. Структура теплоизоляционного слоя обеспечивает неподвижность заключенного в нем воздуха, являющегося плохим проводником тепла, что способствует повышению изоляционной способности материала.

В ряде работ приводятся сведения об использовании в качестве волокнистой основы нетканых материалов из стекловолокон и асбеста. Такие материалы не требуют дополнительного введения антипиренов в силу изначально высокой устойчивости к действию высоких температур и пламени. Однако, низкая экологичность при изготовлении и эксплуатации подобных теплошумоизоляционных панелей является причиной постепенного перехода к материалам из натуральных волокон на железнодорожном транспорте.

В статье Н. Громов и А.Быковский показывают, что наибольший эффект вибропоглощения достигается при использовании мастик в комбинации с шумопоглощающими армированными покрытиями типа «БИЗОН-МЕДУЗА», которые разработаны и производятся специалистами Института специальных систем и технологий г. Киев (ИССиТ ИМиС). Эти материалы не токсичны, трудногорючие, маслобензостойкие, не образуют пыли, немагнитные.

Коэффициент механических потерь 0,2; модуль Юнга 109 Н/м²; вес в 2,7 раза меньше, чем у дюралюминия. Исследования эффективности использования виброзащитных материалов проводилось на различных типах транспортных средств (вагонах, тракторах, автомобилях, тепловозах, судах).

Был определен спектр распределения шумов в наиболее виброактивных зонах рабочего объема кабины путем составления соответствующих акустических карт. Это позволило эффективно разместить листовые вибро- изоляционные покрытия типа БИЗОН-Ф, толщиной 5 - 6 мм и МЕДУЗА, толщиной 6 - 7 мм на

полу кабины оператора, а мастику ДЕМПФИШТОРМ для уплотнения конструктивных и технологических отверстий (крепления щитка приборов, передней перегородки, рычагов, педалей и т.п.). Благодаря этому, уровень шума в различных зонах кабины в сравнении с серийными транспортными средствами варьируется в границах 84 - 90 дБА. В кабине, оборудованной шумовибропоглощающими материалами, разработанными в ИССиТ ИМиС, зафиксировано снижение уровня звукового давления в пределах 7 - 15 дБА. Авторами делается вывод, что использование покрытий типа БИЗОН-МЕДУЗА, ДЕМПФИШТОРМ для шумоизоляции кабин транспортных средств (по сравнению с серийными), дало возможность снизить уровень звукового давления по октавным спектрам шума при максимальных оборотах двигателя на частотах 125 - 8000 Гц на 7 - 12 дБ [40].

Как показал анализ литературных источников, легкие ограждающие конструкции, применяемые в железнодорожном транспорте, постоянно совершенствуются. При этом эффективность использования легких ограждающих конструкций с утеплителями из волокнистых материалов обусловлена следующими основными преимуществами:

- возможностью обеспечения высокой производительности и малой трудоемкости производства конструкций на технологических линиях;
- небольшой массой и размерами (толщиной) элементов теплоизолирующего слоя;
- применением в конструкциях высококачественных материалов и эффективных полимерных утеплителей, позволяющих обеспечить высокую долговечность ограждений и существенно снизить эксплуатационные расходы.

Процесс поглощения звуковой энергии преградой происходит вследствие преобразования механической энергии, переносимой молекулами воздуха, в тепловую за счет потерь на трение в порах материала. Поэтому в целях звукопоглощения чаще всего применяют пористые и рыхлые волокнистые материалы. Однако, они не позволяют в полной мере обеспечить требуемый уровень звукоизоляции.

Опыт применения на железнодорожном транспорте ограждающих конструкций и многочисленные случаи их повреждения в процессе эксплуатации позволили сформулировать основные требования, которыми они должны обладать в современных условиях. Эти требования включают: минимальную массу панели и толщину их конструкции; стабильные теплотехнические характеристики конструкции; хорошие звукоизолирующие и вибропоглощающие характеристики ограждений; стойкость к агрессивному воздействию окружающей среды; низкую себестоимость конструкций.

Среди современных требований, которые стимулируют разработку и применение новых материалов в ограждающих конструкциях подвижного состава, необходимо выделить ужесточение экологических показателей к этим материалам. Экологически чистые материалы, обладающие высокими эксплуатационными и теплотехническими свойствами в экстремальных условиях, позволяют обеспечивать значительное энергосбережение при эксплуатации ограждающих конструкций на подвижном составе. Непременным условием использования шумоизоляционных конструкций на железной дороге является также обеспечение высоких пожарно-технических характеристик.

В настоящее время применяемые материалы не обеспечивают высокий уровень всех перечисленных показателей. Поэтому необходимо проводить дальнейшие исследования и разработку новых, более совершенных материалов, подходящих для применения на транспортных объектах железнодорожного транспорта [40].

1.7. Цель и задачи исследования:

Целью научной работы является научное обоснование и разработка методики определения эквивалентных уровней звука в условиях эксплуатации, а также разработка рекомендаций по улучшению условий труда локомотивных бригад.

В рамках поставленной цели рассматриваются следующие задачи:

- анализ результатов измерения эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов в зависимости от срока эксплуатации.

-разработка математической модели определения эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов, учитывающей отличительные особенности сертификационных испытаний и СОУТ (рация, электропневматический клапан, окно, скорость).

- проведение экспериментальных исследований по определению эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов, учитывающих отличительные особенности сертификационных испытаний и СОУТ (рация, электропневматический клапан, окно, скорость).

- определение коэффициентов пересчета эквивалентных уровней звука, полученных при сертификационных испытаниях, на прогнозируемые уровни звука для условий эксплуатации.

- разработка методики по определению эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов для условий эксплуатации.

- разработка рекомендаций по улучшению условий труда по неблагоприятному фактору «шум».

Глава 2 Аналитические исследования процесса распространения шума в кабинах локомотивов

Шум в кабинах локомотивов в зависимости от источника можно разделить на три группы: шум, возникающий от движения локомотива по железнодорожному пути; шумы от аппаратов и устройств, расположенных в кабине управления; шумы от источников, расположенных в машинном отделении.

К воздушному шуму относится шум, возникающий от движения локомотива по железнодорожному пути, т.е. шум, который проникает через слабые уплотнения в окнах и дверях. К структурному шуму относятся шумы от аппаратов и устройств, расположенных в кабине управления, шумы от источников, расположенных в машинном отделении, который проникает в кабину через щели внутренней двери [44].

Для исследования процесса распространения шума в кабинах локомотива были предложены две математические модели.

Первая математическая модель позволяет сравнить эквивалентные уровни звука в кабинах локомотивов, полученных при сертификационных испытаниях с уровнями звука, полученными при СОУТ.

Вторая математическая модель позволит определить значения эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов, полученных при измерениях на стоянке, на уровни звука при скоростях движения локомотива, заданных по ТУ.

2.1. Математическая модель распространения шума с учетом дополнительных источников

В соответствии с Распоряжением от 26 сентября 2003 г. N 876р «О регламенте переговоров при поездной и маневровой работе на железнодорожном транспорте общего пользования» и Распоряжением от 24 апреля 2006 г. N 788р «Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации локомотивов и моторвагонного подвижного состава в ОАО «РЖД» переговоры по радию, периодическое открывание окон, срабатывание электропневматического клапана (далее - ЭПК) являются неотъемлемой частью трудового процесса [22,23].

Для разработки данной математической модели за основу был взят усовершенствованный метод анализа структуры шума в кабине локомотива. Данный метод предусматривал разделение общего шума в кабине на следующие компоненты: воздушный шум, генерируемый дизелем, выпуском и качением колес по железнодорожному пути, и структурный шум, генерируемый дизелем и качением колес. Однако в данном методе не было учтено разделение шума по дополнительными источникам шума в кабине: переговоры по радию, срабатывание ЭПК, открытые окна, что явилось предметом его усовершенствования [7]. Также метод не учитывал отличительных особенностей проведения измерений в реальных условиях эксплуатации локомотивов: изменение рельефа местности и рельефа пути (подъем, спуск, прямой участок), изменение кривизны участков путей, конструкционные особенности звукоизоляции кабин (наличие неплотностей, щелей).

Схема распространения шума в кабине локомотива представлена на рисунке 2.1.

При этом общий уровень шума в кабине при движении может быть представлен следующей зависимостью:

$$L_{\text{общ}} = 10 \lg \left(10^{0,1 \cdot L_M} + 10^{0,1 \cdot L_k} + 10^{0,1 \cdot L_B} + 10^{0,1 \cdot L_{\text{рация}}} + 10^{0,1 \cdot L_{\text{ЭПК}}} \right), \quad (2.1)$$

где L_M - уровень шума, генерируемого тяговым электродвигателем или дизелем, дБ;

L_K - уровень шума, от колес, возникающий от движения подвижного состава по железнодорожному пути, дБ;

L_B – воздушный уровень шума, дБ;

$L_{рация}$ – уровень шума, генерируемого соответственно тяговым электродвигателем, дизелем, скоростным режимом, состоянием участка пути и переговорами по рации, дБ;

$L_{ЭПК}$ – уровень шума, генерируемого соответственно тяговым электродвигателем, дизелем, скоростным режимом, состоянием участка пути и срабатыванием ЭПК, дБ.

В условиях реальной эксплуатации уровни шума, генерируемые тяговым электродвигателем, дизелем, скоростным режимом, состоянием участка пути учитываются единой величиной- эквивалентным уровнем звука L_A :

$$L_A = 10 \lg \left(10^{0,1 L_M} + 10^{0,1 L_K} + 10^{0,1 L_B} \right). \quad (2.2)$$

В связи с выше изложенным формула 2.1 примет следующий вид:

$$L_{общ} = 10 \lg \left(10^{0,1 L_A} + 10^{0,1 L_{рация}} + 10^{0,1 L_{ЭПК}} \right). \quad (2.3)$$

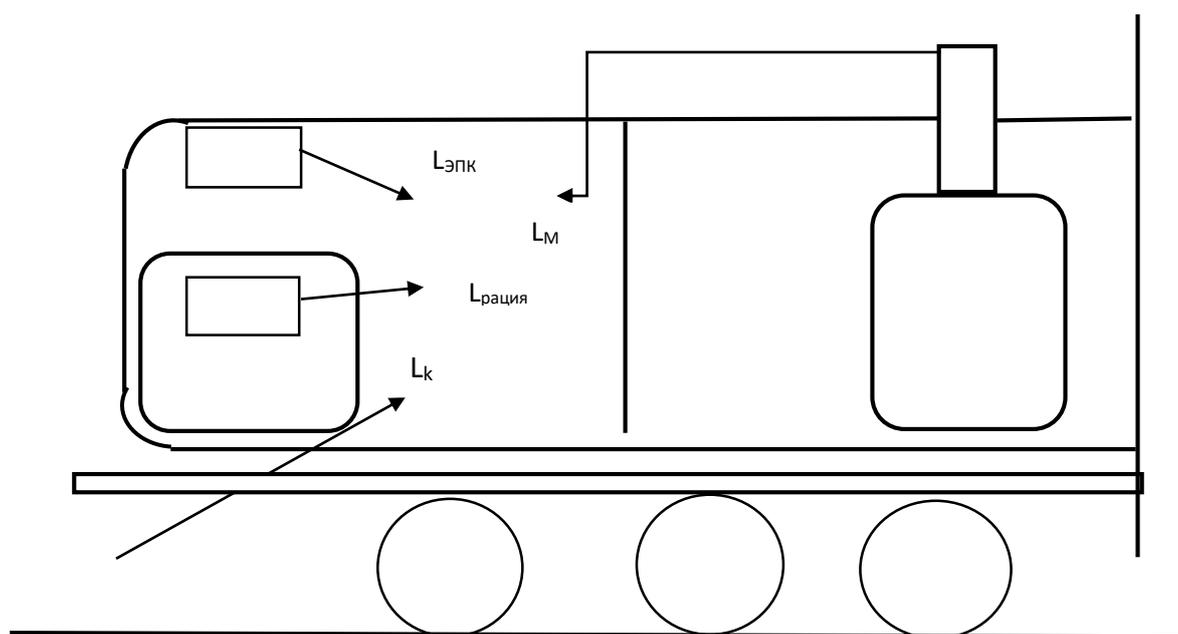


Рисунок 2.1 - Схема распространения шума в кабине локомотива

Исследования по первой математической модели производятся в движении с учетом скоростного режима, изменение рельефа местности и рельефа пути (подъем, спуск, прямой участок), изменение кривизны участков путей, состояния участка пути, переговоров по рации, срабатывания электропневматического (ЭПК) и при периодическом открывании окон [45,46,47].

В целях СОУТ для оценки воздействия уровня звука в течение дня используется эквивалентный уровень звука за рабочую смену – L_{p,A,eqT_e} , дБ.

Согласно ГОСТ Р ИСО 9612-2013 L_{p,A,eqT_e} , дБ, для эффективной длительности рабочего дня T_e вычисляют по формуле:

$$L_{p,A,eqT_e} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 \cdot L_{p,A,eqT,n}} \right), \quad (2.4)$$

где $L_{p,A,eqT,n}$ – эквивалентный уровень звука n -го выборочного измерения длительностью T ;

n – номер выборочного измерения;

N – число выборочных измерений.

Эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день $L_{EX,8h}$, дБ, рассчитывают по формуле:

$$L_{EX,8h} = L_{p,A,eqT_e} + 10 \lg \left(\frac{T_e}{T_0} \right), \quad (2.5)$$

где L_{p,A,eqT_e} – эквивалентный уровень звука L_{p,A,eqT_e} , дБ, для эффективной длительности рабочего дня;

T_e – эффективная длительность рабочего дня, ч;

T_0 – базовая длительность рабочего дня, равная 8 ч.

Объединив формулу 2.4 и 2.5 получаем следующую формулу:

$$L_{EX,8h} = 10 \lg \frac{T_e}{T_0} \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 \cdot L_{p,A,eqT,n}} \right). \quad (2.6)$$

Далее определяем степень точности проведенных измерений.

Суммарную стандартную неопределенность рассчитывают по формуле:

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2), \quad (2.7)$$

где u_1 —стандартная неопределенность;

u_2 —инструментальная неопределенность;

u_3 —стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона;

c_2 —коэффициент чувствительности, определяющий влияние на неопределенность измерения средства измерения.

Стандартная неопределенность u_1 рассчитывается по формуле:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[\sum_{n=1}^N \left(L_{p,A,eqT,n} - \bar{L}_{p,A,eqT} \right)^2 \right]}, \quad (2.8)$$

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

$\bar{L}_{p,A,eqT}$ — среднее арифметическое по результатам N измерений эквивалентного уровня звука, т.е. $\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N L_{p,A,eqT,n}$; (2.9)

n — номер выборочного измерения при выполнении заданной функции;

N — число выборочных измерений при выполнении заданной функции.

Для оценки вклада шумового воздействия переговоров по рации $\Delta_{\text{рация}}$, срабатывания электропневматического клапана $\Delta_{\text{ЭПК}}$, открывания окон $\Delta_{\text{окно}}$, а также отличия уровня шума в реальных условиях эксплуатации локомотива от уровня шума, полученного при сертификационных испытаниях вводим следующие формулы:

$$\Delta_{\text{рация}} = L_{A(\text{рация})} - L_A \quad (2.10)$$

$$\Delta_{\text{ЭПК}} = L_{A(\text{ЭПК})} - L_A \quad (2.11)$$

$$\Delta_{\text{окно}} = L_{A(\text{окно})} - L_A \quad (2.12)$$

$$\Delta = L_A - L_{\text{серт}} \quad (2.13)$$

Тогда процент вклада переговоров по рации — $\%_{\text{рация}}$, срабатывании ЭПК — $\%_{\text{ЭПК}}$ и открытых окон — $\%_{\text{окно}}$, а также отличия уровня шума в реальных условиях эксплуатации локомотива от уровня шума, полученного при сертификационных

испытаниях в общий эквивалентный уровень звука в кабине локомотива рассчитывается по формулам следующим образом:

$$\%_{рация} = \frac{\Delta_{рация} \cdot 100\%}{L_A} \quad (2.14)$$

$$\%_{ЭПК} = \frac{\Delta_{ЭПК} \cdot 100\%}{L_A} \quad (2.15)$$

$$\%_{окно} = \frac{\Delta_{окно} \cdot 100\%}{L_A} \quad (2.16)$$

$$\% = \frac{\Delta \cdot 100\%}{L_{серт}} \quad (2.17)$$

Для оценки шумового воздействия от переговоров по рации, срабатывания ЭПК, движения с открытыми окнами вводим следующие коэффициенты воздействия: переговоров по рации - k_p , срабатывания ЭПК - $k_э$, движения с открытыми окнами - $k_о$. Для оценки отличия уровня шума в реальных условиях эксплуатации локомотива от уровня шума, полученного при сертификационных испытаниях вводим коэффициент пересчета уровня звука k_y . Данные коэффициенты позволят спрогнозировать наихудшие условия труда по фактору «шум», в которых может находиться локомотивная бригада в условиях эксплуатации.

Коэффициент воздействия переговоров по рации вычисляется по формуле:

$$k_p = \frac{L_A(рация)}{L_A} \quad (2.18)$$

где $L_A(рация)$ – эквивалентный уровень звука при движении с учетом переговоров по рации, дБ;

L_A - эквивалентный уровень звука при движении, дБ.

Коэффициент воздействия переговоров по рации показывает, во сколько раз эквивалентный уровень звука при работе рации превышает эквивалентный уровень звука, полученный при неработающей рации.

Следует предполагать, что коэффициенты k_p для кабин различных типов локомотивов будут примерно одинаковы. Поэтому для оценки воздействия переговоров по радиации по сравнению с эквивалентным уровнем звука без учета воздействия радиации вводим средний коэффициент k_{pcp} :

$$k_{pcp} = \frac{\sum k_p}{n} \quad (2.19)$$

Коэффициент воздействия срабатывания ЭПК вычисляется по формуле:

$$k_э = \frac{L_A(\text{ЭПК})}{L_A} \quad (2.20)$$

где $L_A(\text{ЭПК})$ – эквивалентный уровень звука при движении с учетом срабатывания ЭПК, дБ;

L_A - эквивалентный уровень звука при движении, дБ.

Коэффициент воздействия срабатывания ЭПК показывает, во сколько раз эквивалентный уровень звука при срабатывании ЭПК превышает эквивалентный уровень звука без учета срабатывания ЭПК.

Следует предполагать, что коэффициенты $k_э$ для кабин различных типов локомотивов будут примерно одинаковы. Поэтому для оценки воздействия срабатывания ЭПК с эквивалентными уровнями звука без учета срабатывания ЭПК вводим средний коэффициент $k_{эcp}$:

$$k_{эcp} = \frac{\sum k_э}{n} \quad (2.21)$$

Коэффициент воздействия при движении с открытыми окнами вычисляется по формуле:

$$k_o = \frac{L_A(\text{окно})}{L_A} \quad (2.22)$$

где $L_A(\text{окно})$ – эквивалентный уровень звука при движении с учетом открытых окон, дБ;

L_A - эквивалентный уровень звука при движении, дБ.

Коэффициент воздействия при движении с открытыми окнами показывает, во сколько раз эквивалентный уровень звука от открытых окон превышает эквивалентный уровень звука, полученный при закрытых окнах [33].

Следует предполагать, что коэффициенты k_o для кабин различных типов локомотивов будут примерно одинаковы. Поэтому для оценки воздействия движения с открытыми окнами по сравнению с эквивалентным уровнем звука при закрытых окнах вводим средний коэффициент $k_{оcр}$:

$$k_{оcр} = \frac{\sum k_o}{n} \quad (2.23)$$

Для оценки отличия уровня шума в реальных условиях эксплуатации локомотива от уровня шума, полученного при сертификационных испытаниях, расчет коэффициента пересчета уровня звука производится для каждого типа локомотива и вида движения по формуле:

$$k_y = \frac{L_{A(COYT)}}{L_{A(сертиф)}} , \quad (2.24)$$

где $L_{A(COYT)}$ – эквивалентный уровень звука при проведении СОУТ, дБ;

$L_{A(сертиф)}$ - эквивалентный уровень звука при проведении сертификационных испытаний, дБА.

Коэффициент пересчета уровня звука k_y показывает, во сколько раз эквивалентный уровень звука в кабине локомотива в режиме реальной эксплуатации превышает эквивалентный уровень звука, полученный при проведении сертификационных испытаний.

Для локомотивов одного типа и вида движения коэффициенты будут близки по значению. Для возможности пересчета эквивалентного уровня звука при проведении сертификационных испытаний на эквивалентный уровень звука при СОУТ для каждого вида движения вводим свой средний коэффициент $k_{ycр}$, дБ:

$$k_{ycр} = \frac{\sum k_y}{n} \quad (2.25)$$

Согласно сведениям о времени выполнения рабочих операций, полученных на основании фотографий рабочего дня, представленных локомотивными и

моторвагонными депо в рамках проведения СОУТ, эффективная длительность рабочего дня T_e для магистральных локомотивов и электропоездов равна 10 часам, а для маневровых локомотивов – 12 часам. Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива, полученный по результатам сертификационных испытаний рассчитывается один раз по результатам измерений уровня звука в среднегеометрических частотах, поэтому число выборочных измерений равно одному.

Для оценки вклада дополнительных источников в общий уровень шума при проведении СОУТ принимаем решение, что:

$$L_{p,A,eqTe} = L_{серт.} \cdot k_y \quad (2.26)$$

$$L_{p,A,eqTe} = L_{серт.} \cdot k_p \quad (2.27)$$

$$L_{p,A,eqTe} = L_{серт.} \cdot k_э \quad (2.28)$$

$$L_{p,A,eqTe} = L_{серт.} \cdot k_o. \quad (2.29)$$

С учетом введенного предположения эквивалентный уровень звука за 8-ми часовую смену может быть рассчитан по формуле:

$$\bar{L} = 10 \lg \frac{T_e}{8} \left(10^{0,1 \cdot L_{серт.} \cdot k_y} \right), \quad (2.30)$$

где $L_{серт.}$ – эквивалентный уровень звука в кабине локомотива или моторвагонного подвижного состава, полученный по результатам сертификационных испытаний, дБА.

Тогда эквивалентный уровень звука с учетом вклада дополнительных источников может быть рассчитан по формуле:

$$\bar{L} = 10 \lg \frac{T_e}{8} \left(10^{0,1 \cdot L_{серт.} \cdot k_y} + 10^{0,1 \cdot L_{серт.} \cdot k_p} + 10^{0,1 \cdot L_{серт.} \cdot k_э} + 10^{0,1 \cdot L_{серт.} \cdot k_o} \right). \quad (2.31)$$

2.2. Математическая модель распространения шума при движении локомотива

Исследования по второй математической модели производят при движении локомотива на различных скоростях [48].

Схема распространения шума в кабине локомотива при движении представлена на рисунке 2.2.

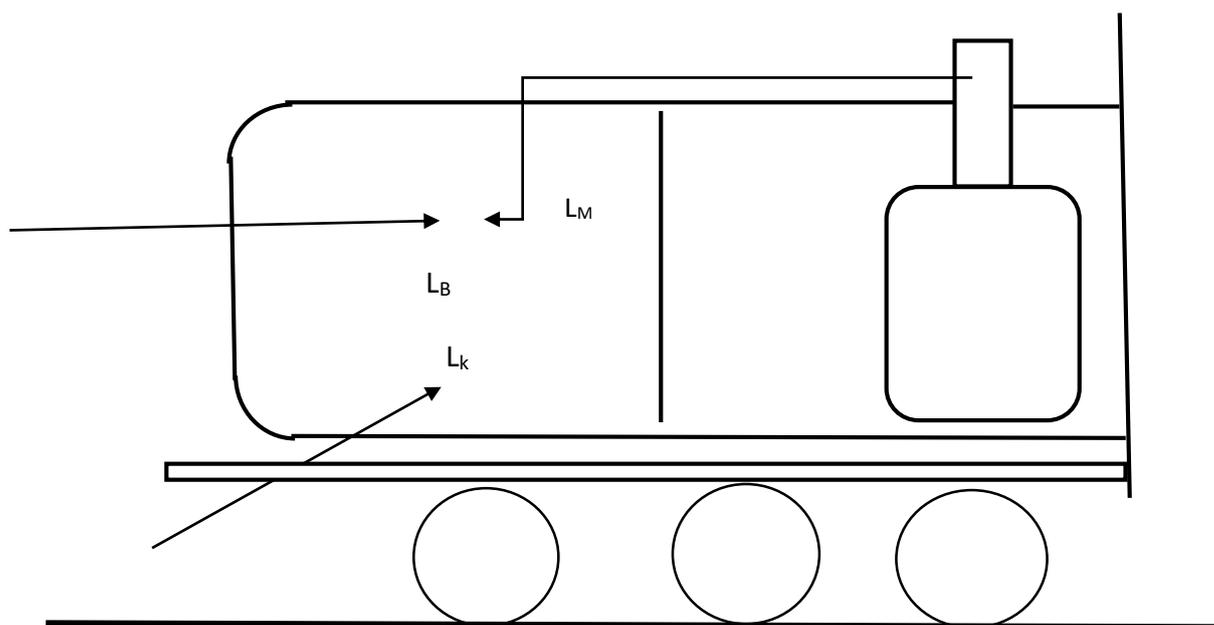


Рисунок 2.2 - Схема распространения шума в кабине локомотива при движении локомотива

Для определения эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов при различных скоростях движения используем следующую математическую зависимость:

$$L_A = 10 \lg \left(10^{0,1 L_B} + 10^{0,1 L_K} + 10^{0,1 L_M} \right), \quad (2.32)$$

где L_M - уровень шума, генерируемого тяговым электродвигателем или дизелем, дБ;

L_K - уровень шума, от колес, возникающий от движения локомотива по железнодорожному пути, дБ;

L_B - воздушный уровень шума, дБ.

Для определения зависимости эквивалентного уровня звука от скорости движения предполагаем, что она будет линейной в некоторый промежуток времени и с вероятностью 95 % будет описываться формулой:

$$y = kx + b, \quad (2.33)$$

где y - эквивалентный уровень звука, который в нашем случае L_A , дБ;

k - коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения, который обозначаем k_c , дБ;

x - скорость движения подвижного состава, которую обозначаем v , км/ч;

b - эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке, который обозначаем L_0 , дБ.

Математическая модель процесса распространения шума в кабинах локомотивов при движении приведена на рисунке 2.3.

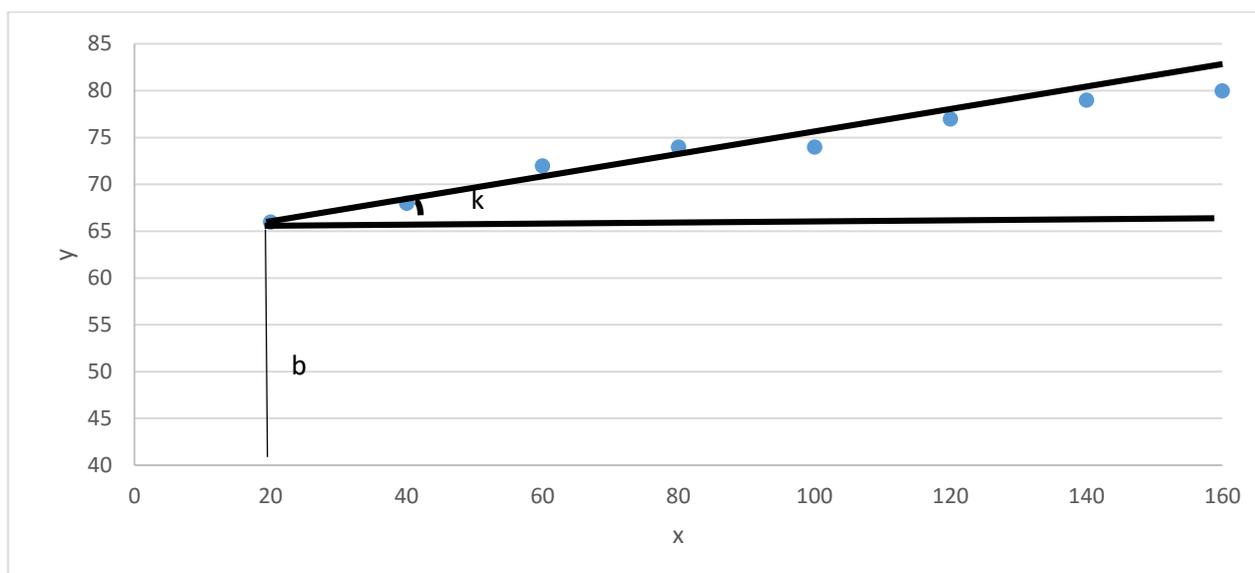


Рисунок 2.3 - Математическая модель процесса распространения шума в кабинах локомотивов при движении

Зависимость эквивалентных уровней звука от скорости движения с учетом обозначений, введенных формулой 2.33, приведена на рисунке 2.4.

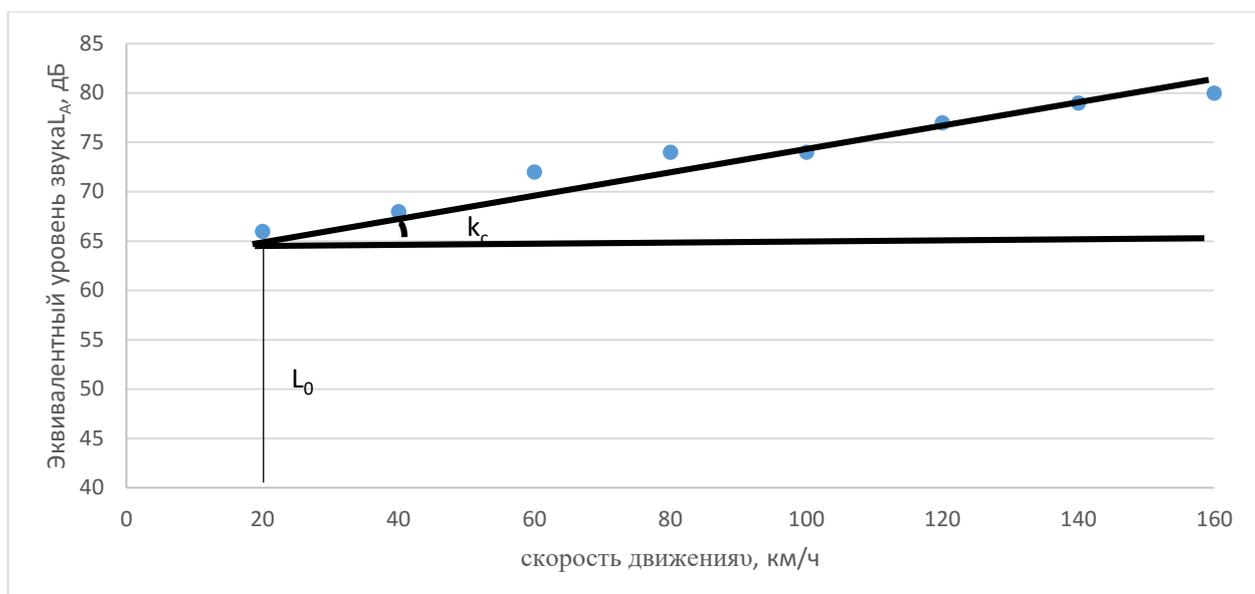


Рисунок 2.4 - Зависимость эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов от скорости движения

Для оценки разницы между эквивалентными уровнями звука на стоянке и при средней эксплуатационной скорости для эксплуатации вводим следующую формулу:

$$\Delta_v = L_{v_{cp}} - L_{v_0} \quad (2.34)$$

Тогда процент разницы между эквивалентными уровнями звука на стоянке и при средней эксплуатационной скорости для эксплуатации рассчитывается по формуле следующим образом:

$$\%_v = \frac{\Delta_v \cdot 100\%}{L_0} \quad (2.35)$$

Коэффициент k_c с помощью метода наименьших квадратов [49,50,51] рассчитывается по следующей формуле:

$$k_c = \frac{(n \cdot \sum xy - (\sum x) \cdot (\sum y))}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}, \quad (2.36)$$

где x — значения скоростей движения локомотива, при которых проводились испытания;

y — соответствующие значения эквивалентных уровней звука;

n — количество приведенных испытаний.

Эквивалентный уровень звука в кабине подвижного состава на стоянке L_0 с помощью метода наименьших квадратов рассчитывается по следующей формуле:

$$L_0 = \frac{\sum y + k_c \cdot (\sum x)}{n}, \quad (2.37)$$

где k_c - коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине локомотива от скорости движения;

x – значения скоростей движения локомотива, при которых проводились испытания;

y – соответствующие значения эквивалентных уровней звука;

n – количество приведенных испытаний [49,50].

Эквивалентный уровень звука L_0 в кабине локомотива является эквивалентным уровнем звука, учитывающим шум от дизеля (для тепловозов), компрессора и вентилятора (для электровозов), тяговых двигателей и вспомогательного оборудования (для электропоездов) на стоянке.

Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине локомотива от скорости движения k_c является тангенсом угла наклона линейной зависимости эквивалентного уровня звука от скорости движения и показывает степень увеличения эквивалентного уровня звука при увеличении скорости движения локомотива.

Следует предполагать, что коэффициенты k_c для кабин различных типов локомотивов будут иметь близкие значения. Поэтому для возможности пересчета эквивалентных уровней звука, полученных на стоянке, на эквивалентные уровни звука для различных скоростей движения вводим средний коэффициент $k_{ср}$:

$$k_{ср} = \frac{\sum k_c}{n} \quad (2.38)$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия:

$$F_n = \frac{R^2 \cdot (n - 2)}{1 - R^2}, \quad (2.39)$$

где R^2 – коэффициент детерминации, который вычисляется:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}, \quad (2.40)$$

где y_i — опытные значения признака Y ,

\hat{y}_{xi} — значения y , найденные по уравнению регрессии,

\bar{y} — средняя признака Y ;

n - объем выборки.

Выводы по главе 2

1. Усовершенствована математическая модель процесса распространения шума при движении локомотива с учетом дополнительных источников. Разработаны коэффициент пересчета уровня звука k_y , коэффициенты воздействия: переговоров по радиации - k_p , срабатывания ЭПК - $k_э$, движения с открытыми окнами - k_o .

2. Разработана линеаризованная математическая модель процесса распространения шума при движении локомотива. Предложен коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине локомотива от скорости движения k_c .

Глава 3 Экспериментальное исследования процесса распространения шума в кабинах локомотивов

3.1. Результаты сравнительного анализа уровня звука при сертификационных испытаниях и специальной оценки условий труда

Для определения коэффициентов пересчета уровня звука измерения проводились при следующих скоростных режимах: средняя эксплуатационная скорость для маневрового движения составляла 10 км/ч, для пригородного и малонапряженного движения – 60 км/ч, для грузового движения – 70 км/ч, для пассажирского движения – 130 км/ч.

Измерения эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов и моторвагонного подвижного состава проводились шумомером-виброметром, анализатором спектра ЭКОФИЗИКА-110А по ГОСТ Р ИСО 9612-2013 «Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека» по второй стратегии с учетом особенностей эксплуатации. Вторая стратегия измерения шума основывается на выборочных измерениях, которые проводят в процессе выполнения данной рабочей функции. К рабочей функции машиниста относится управление локомотивом или моторвагонного подвижного состава. При проведении измерений уровней звука в кабинах локомотивов и моторвагонного подвижного состава по второй стратегии выбирались пять периодов времени, наиболее полно характеризующих рабочую функцию машиниста, протяженностью по 15 минут каждый [33].

Измерения уровня звука в кабинах локомотивов и моторвагонного подвижного состава для целей сертификации были проведены по ГОСТ33463.2-2015 и взяты по данным научных трудов ВНИИЖГ Роспотребнадзора [52]. Испытания проводились при движении локомотивов и моторвагонного подвижного состава со скоростью $2/3$ конструкционной ± 5 км/ч и мощности локомотива равной $2/3$ номинальной $\pm 10\%$. Участок пути при проведении испытаний был бесстыковым, кривые - не менее 1000 м, без стрелочных

переводов, подъемов и уклонов больше 5 %. Участок пути не проходил по мостам и в тоннелях, ближе 50 м от строений, через лес. При этом окна и двери кабины локомотивов и моторвагонного подвижного состава были закрыты, система обеспечения микроклимата работала в штатном режиме.

Для определения коэффициентов пересчета уровня звука измерения были проведены на электровозах ЧС2К, ЭП20, ЭП10, ВЛ10, ВЛ11, тепловозах ЧМЭЗ, ТЭМ7А, 2ТЭ10, электропоездах ЭД4М, ЭР2, ЭД9Т и рельсовых автобусах РА-1, РА-2. Результаты измерений уровней звука в кабинах электровозов, тепловозов, электропоездов и рельсовых автобусов, полученные по ГОСТ Р ИСО 9612-2013, приведены в таблицах 1, 3, 5 и 7 Приложения А.

На основании проведенных измерений для каждого типа локомотива и моторвагонного подвижного состава были рассчитаны эквивалентные уровни звука за 8-ми часовой рабочий день и неопределенности измерения следующим образом.

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ВЛ10У №987 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,180} + 10^{0,180} + 10^{0,181} + 10^{0,180} + 10^{0,182} \right) = 80,7 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электровоза ВЛ10У №987:

$$L_{EX,8h} = 80,7 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 81,7 \text{ дБ.}$$

Далее необходимо определить степень точности проведенных измерений.

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (80 + 80 + 81 + 80 + 82) = 80,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ВЛ10У №987 и среднее арифметическое по результатам пяти

измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(80-80,6)^2 + (80-80,6)^2 + (81-80,6)^2 + (80-80,6)^2 + (82-80,6)^2 \right]} = 0,89$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равное 0,89 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,6.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,6^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,85 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,36 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ВЛ10У №919 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,181} + 10^{0,181} + 10^{0,181} + 10^{0,180} + 10^{0,180} \right) = 80,6 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электровоза ВЛ10У №919:

$$L_{EX,8h} = 80,6 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 81,6 \text{ дБ.}$$

Далее необходимо определить степень точности проведенных измерений.

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (81 + 81 + 81 + 80 + 80) = 80,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ВЛ10У №919 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(81-80,6)^2 + (81-80,6)^2 + (81-80,6)^2 + (80-80,6)^2 + (80-80,6)^2]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равное 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $c_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,3 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ВЛ10 №332 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,179} + 10^{0,180} + 10^{0,178} + 10^{0,178} + 10^{0,178} \right) = 78,7 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электровоза ВЛ10 №332:

$$L_{EX,8h} = 78,7 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 79,6 \text{ дБ.}$$

Далее необходимо определить степень точности проведенных измерений.

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (79 + 80 + 78 + 78 + 78) = 78,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ВЛ10 №332 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(79-78,6)^2 + (80-78,6)^2 + (78-78,6)^2 + (78-78,6)^2 + (78-78,6)^2 \right]} = 0,89$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равное 0,89 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $c_1 u_1$ равно 0,6.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,6^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,85 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,36 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ВЛ11 №755-733 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,179} + 10^{0,178} + 10^{0,179} + 10^{0,180} + 10^{0,179} \right) = 79,05 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электровоза ВЛ11 №755-733:

$$L_{EX,8h} = 79,05 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 80,2 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (79 + 78 + 79 + 80 + 79) = 79 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ВЛ11 №755-733 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(79-79)^2 + (78-79)^2 + (79-79)^2 + (80-79)^2 + (79-79)^2]} = 0,71$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,71 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $c_1 u_1$ равно 0,4.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,sh}) = 0,4^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,65 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,sh}) = 1,28 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ВЛ11М №349 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,178} + 10^{0,179} + 10^{0,179} + 10^{0,178} + 10^{0,178} \right) = 78,43 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электровоза ВЛ11М №349:

$$L_{EX,8h} = 78,43 + 10 \lg\left(\frac{10}{8}\right) = 79,4 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (78 + 79 + 79 + 78 + 78) = 78,4 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ВЛ11М №349 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(78-78,4)^2 + (79-78,4)^2 + (79-78,4)^2 + (78-78,4)^2 + (78-78,4)^2 \right]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равное 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $c_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ВЛ11 №793 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg\left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,181} + 10^{0,181} + 10^{0,181} + 10^{0,180} + 10^{0,180}\right) = 80,6 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение

эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электровоза ВЛ11 №793:

$$L_{EX,8h} = 80,6 + 10 \lg\left(\frac{10}{8}\right) = 81,6 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (81 + 81 + 81 + 80 + 80) = 80,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ВЛ11 №793 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(81-80,6)^2 + (81-80,6)^2 + (81-80,6)^2 + (80-80,6)^2 + (80-80,6)^2 \right]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равное 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $c_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ЭП20 №049 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg\left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 70} + 10^{0,1 \cdot 70} + 10^{0,1 \cdot 71} + 10^{0,1 \cdot 70} + 10^{0,1 \cdot 72}\right) = 70,68 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение

эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электровоза ЭП20 №049:

$$L_{EX,8h} = 70,68 + 101g\left(\frac{10}{8}\right) = 71,65 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (70 + 70 + 71 + 70 + 72) = 70,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ЭП20 №049 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(70 - 70,6)^2 + (70 - 70,6)^2 + (71 - 70,6)^2 + (70 - 70,6)^2 + (72 - 70,6)^2 \right]} = 0,89$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,89 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,5.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,5^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,74 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,32 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ЭП20 №031 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 101g\left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 70} + 10^{0,1 \cdot 70} + 10^{0,1 \cdot 71} + 10^{0,1 \cdot 71} + 10^{0,1 \cdot 71}\right) = 70,63 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение

эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электровоза ЭП20 №031:

$$L_{EX,8h} = 70,63 + 101g\left(\frac{10}{8}\right) = 71,6 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (70 + 70 + 71 + 71 + 71) = 70,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ЭП20 №031 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(69 - 69,8)^2 + (69 - 69,8)^2 + (70 - 69,8)^2 + (70 - 69,8)^2 + (71 - 69,8)^2 \right]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равное 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $c_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ЭП20 №014 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 101g\left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,173} + 10^{0,173} + 10^{0,172} + 10^{0,172} + 10^{0,173}\right) = 72,63 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электровоза ЭП20 №014:

$$L_{EX,8h} = 72,63 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 73,6 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (73 + 73 + 72 + 72 + 73) = 72,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ЭП20 №014 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(73-72,6)^2 + (73-72,6)^2 + (72-72,6)^2 + (72-72,6)^2 + (73-72,6)^2 \right]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равное 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $c_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ЭП10 №012 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 76} \right) = 76,68 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электровоза ЭП10 №012:

$$L_{EX,8h} = 76,68 + 10\lg\left(\frac{10}{8}\right) = 77,65 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (77 + 76 + 76 + 78 + 76) = 76,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ЭП10 №012 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(77 - 76,6)^2 + (76 - 76,6)^2 + (76 - 76,6)^2 + (78 - 76,6)^2 + (76 - 76,6)^2 \right]} = 0,89$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равное 0,89 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $c_1 u_1$ равно 0,5.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,5^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,74 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,32 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ЭП10 №005 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10\lg\left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 77}\right) = 76,87 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электровоза ЭП10 №005:

$$L_{EX,8h} = 76,87 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 77,83 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (76 + 78 + 77 + 76 + 77) = 76,8 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ЭП10 №005 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(76 - 76,8)^2 + (78 - 76,8)^2 + (77 - 76,8)^2 + (76 - 76,8)^2 + (77 - 76,8)^2 \right]} = 0,84$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,84 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $c_1 u_1$ равно 0,5.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,5^2 + 1^2 (0,7^2 + 1^2) = 1,74 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,32 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ЭП10 №020 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 79} \right) = 78,09 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электровоза ЭП10 №020:

$$L_{EX,8h} = 78,09 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 79,06 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (77 + 77 + 78 + 79 + 79) = 78 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электровоза ЭП10 №020 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(77-78)^2 + (77-78)^2 + (78-78)^2 + (79-78)^2 + (79-78)^2 \right]} = 1$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 1 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,7.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,7^2 + 1^2 (0,7^2 + 1^2) = 1,98 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,41 \text{ дБ.}$$

Результаты расчетов уровней звука в кабинах электровозов, полученные по ГОСТ Р ИСО 9612-2013, приведены в таблице 2 Приложения А.

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза ЧМЭЗ №2009 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,180} + 10^{0,179} + 10^{0,179} + 10^{0,181} + 10^{0,179} \right) = 79,68 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста тепловоза ЧМЭЗ №2009:

$$L_{EX,8h} = 79,68 + 10 \lg \left(\frac{12}{8} \right) = 81,44 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (80 + 79 + 79 + 81 + 79) = 79,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза ЧМЭЗ №2009 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(80-79,6)^2 + (79-79,6)^2 + (79-79,6)^2 + (81-79,6)^2 + (79-79,6)^2 \right]} = 0,89$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,89 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,6.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,6^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,85 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,36 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза ЧМЭЗ №6163 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 81} + 10^{0,1 \cdot 79} \right) = 79,48 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста тепловоза ЧМЭЗ №6163:

$$L_{EX,8h} = 79,48 + 10 \lg \left(\frac{12}{8} \right) = 81,24 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (79 + 79 + 79 + 81 + 79) = 79,4 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза ЧМЭЗ №6163 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(79-79,4)^2 + (79-79,4)^2 + (79-79,4)^2 + (81-79,4)^2 + (79-79,4)^2]} = 0,89$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,89 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,6.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,6^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,85 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,36 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза ЧМЭЗТ №5070 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 79} \right) = 78,47 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста тепловоза ЧМЭЗТ №5070:

$$L_{EX,8h} = 78,47 + 10 \lg \left(\frac{12}{8} \right) = 80,23 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (78 + 77 + 79 + 79 + 79) = 78,4 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза ЧМЭЗТ №5070 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(78-78,4)^2 + (77-78,4)^2 + (79-78,4)^2 + (79-78,4)^2 + (79-78,4)^2]} = 0,89$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,89 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,6.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,6^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,85 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,36 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза ТЭМ7А №0380 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 101g\left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,175} + 10^{0,174} + 10^{0,174} + 10^{0,175} + 10^{0,176}\right) = 74,87 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста тепловоза ТЭМ7А №0380:

$$L_{EX,8h} = 74,87 + 101g\left(\frac{12}{8}\right) = 76,63 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (75 + 74 + 74 + 75 + 76) = 74,8 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза ТЭМ7А №0380 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(75-74,8)^2 + (74-74,8)^2 + (74-74,8)^2 + (75-74,8)^2 + (76-74,8)^2]} = 0,84$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,84 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,5.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,5^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,74 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,32 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза ТЭМ7А №469 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 101g\left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,172} + 10^{0,172} + 10^{0,173} + 10^{0,173} + 10^{0,173}\right) = 72,63 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста тепловоза ТЭМ7А №469:

$$L_{EX,8h} = 72,63 + 101g\left(\frac{12}{8}\right) = 74,39 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (72 + 72 + 73 + 73 + 73) = 72,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза ТЭМ7А №469 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(72-72,6)^2 + (72-72,6)^2 + (73-72,6)^2 + (73-72,6)^2 + (73-72,6)^2]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза ТЭМ7А №0460 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 101g\left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,176} + 10^{0,176} + 10^{0,175} + 10^{0,175} + 10^{0,175}\right) = 75,43 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста тепловоза ТЭМ7А №0460:

$$L_{EX,8h} = 75,43 + 101g\left(\frac{12}{8}\right) = 77,19 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (76 + 76 + 75 + 75 + 75) = 75,4 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза ТЭМ7А №0460 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(76-75,4)^2 + (76-75,4)^2 + (75-75,4)^2 + (75-75,4)^2 + (75-75,4)^2]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза 2ТЭ10У №438 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 10^{0,1 \cdot 87} + 10^{0,1 \cdot 87} + 10^{0,1 \cdot 86} + 10^{0,1 \cdot 87} + 10^{0,1 \cdot 88} \right) = 87,05 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста тепловоза 2ТЭ10У №438:

$$L_{EX,8h} = 87,05 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 88,02 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (87 + 87 + 86 + 87 + 88) = 87 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза 2ТЭ10У №438 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(87-87)^2 + (87-87)^2 + (86-87)^2 + (87-87)^2 + (88-87)^2]} = 0,71$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,71 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,4.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,4^2 + 1^2 (0,7^2 + 1^2) = 1,65 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,28 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза 2ТЭ10У №0081 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 101g\left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,186} + 10^{0,186} + 10^{0,185} + 10^{0,186} + 10^{0,186}\right) = 85,82 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста тепловоза 2ТЭ10У №0081:

$$L_{EX,8h} = 85,82 + 101g\left(\frac{10}{8}\right) = 86,79 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (86 + 86 + 85 + 86 + 86) = 85,8 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза 2ТЭ10У №0081 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(86-85,8)^2 + (86-85,8)^2 + (85-85,8)^2 + (86-85,8)^2 + (86-85,8)^2]} = 0,45$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,45 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,2.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,2^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,53 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,24 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза 2ТЭ10М №2354 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,186} + 10^{0,186} + 10^{0,187} + 10^{0,187} + 10^{0,186} \right) = 86,43 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста тепловоза 2ТЭ10М №2354:

$$L_{EX,8h} = 86,43 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 87,4 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (86 + 86 + 87 + 87 + 86) = 86,4 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза 2ТЭ10М №2354 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(86 - 86,4)^2 + (86 - 86,4)^2 + (87 - 86,4)^2 + (87 - 86,4)^2 + (86 - 86,4)^2 \right]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза 3ТЭ10М №1338 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 101g\left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,187} + 10^{0,187} + 10^{0,186} + 10^{0,187} + 10^{0,187}\right) = 86,82 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста тепловоза 3ТЭ10М №1338:

$$L_{EX,8h} = 86,82 + 101g\left(\frac{10}{8}\right) = 87,79 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (87 + 87 + 86 + 87 + 87) = 86,8 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза 3ТЭ10М №1338 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(87-86,8)^2 + (87-86,8)^2 + (86-86,8)^2 + (87-86,8)^2 + (87-86,8)^2]} = 0,45$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,45 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,4.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,4^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,65 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,28 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза 3ТЭ10М №1417 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,186} + 10^{0,186} + 10^{0,187} + 10^{0,186} + 10^{0,186} \right) = 86,22 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста тепловоза 3ТЭ10М №1417:

$$L_{EX,8h} = 86,22 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 87,19 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (86 + 86 + 87 + 86 + 86) = 86,2 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза 3ТЭ10М №1417 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(86 - 86,2)^2 + (86 - 86,2)^2 + (87 - 86,2)^2 + (86 - 86,2)^2 + (86 - 86,2)^2 \right]} = 0,45$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,45 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,2.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,2^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,53 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,24 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза 3ТЭ10М №1520 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum 10^{0,187} + 10^{0,187} + 10^{0,187} + 10^{0,187} + 10^{0,186} \right) = 86,82 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста тепловоза 3ТЭ10М №1520:

$$L_{EX,8h} = 86,82 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 87,89 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (87 + 87 + 87 + 87 + 86) = 86,8 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста тепловоза 3ТЭ10М №1520 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(87-86,8)^2 + (87-86,8)^2 + (87-86,8)^2 + (87-86,8)^2 + (86-86,8)^2]} = 0,45$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,45 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ.}$$

Результаты расчетов уровней звука в кабинах тепловозов, полученные по ГОСТ Р ИСО 9612-2013, приведены в таблице 4 Приложения А.

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД4М №0119 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 77} \right) = 76,43 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электропоезда ЭД4М №0119:

$$L_{EX,8h} = 76,43 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 77,4 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (76 + 76 + 77 + 76 + 77) = 76,4 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД4М №0119 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(76-76,4)^2 + (76-76,4)^2 + (77-76,4)^2 + (76-76,4)^2 + (77-76,4)^2 \right]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2 (0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД4М №0113 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,175} + 10^{0,175} + 10^{0,175} + 10^{0,176} + 10^{0,176} \right) = 75,43 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электропоезда ЭД4М №0113:

$$L_{EX,8h} = 75,43 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 76,4 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (75 + 75 + 75 + 76 + 76) = 75,4 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД4М №0113 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(75-75,4)^2 + (75-75,4)^2 + (75-75,4)^2 + (76-75,4)^2 + (76-75,4)^2]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2 (0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД4М №0107 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 74} + 10^{0,1 \cdot 75} + 10^{0,1 \cdot 75} + 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 75} \right) = 75,05 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электропоезда ЭД4М №0107:

$$L_{EX,8h} = 75,05 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 76,02 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (74 + 75 + 75 + 76 + 75) = 75 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД4М №0107 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(74-75)^2 + (75-75)^2 + (75-75)^2 + (76-75)^2 + (75-75)^2]} = 0,71$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,71 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,4.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,4^2 + 1^2 (0,7^2 + 1^2) = 1,65 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,28 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭР2Т №7217 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 80} + 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 78} \right) = 78,68 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электропоезда ЭР2Т №7217:

$$L_{EX,8h} = 78,68 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 79,65 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (78 + 80 + 79 + 78 + 78) = 78,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭР2Т №7217 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(78-78,6)^2 + (80-78,6)^2 + (79-78,6)^2 + (78-78,6)^2 + (78-78,6)^2 \right]} = 0,89$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,89 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,6.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,6^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,85 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,36 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭР2Р №7083 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 78} \right) = 78,43 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электропоезда ЭР2Р №7083:

$$L_{EX,8h} = 78,43 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 79,4 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (78 + 78 + 79 + 79 + 78) = 78,4 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭР2Р №7083 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(78-78,4)^2 + (78-78,4)^2 + (79-78,4)^2 + (79-78,4)^2 + (78-78,4)^2 \right]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2 (0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭР2Т №7167 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 77} \right) = 77,87 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электропоезда ЭР2Т №7167:

$$L_{EX,8h} = 77,87 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 78,83 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (77 + 78 + 78 + 79 + 77) = 77,8 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭР2Т №7167 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(77-77,8)^2 + (78-77,8)^2 + (78-77,8)^2 + (79-77,8)^2 + (77-77,8)^2 \right]} = 0,84$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,84 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,5.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,5^2 + 1^2 (0,7^2 + 1^2) = 1,74 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,32 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД9Т №0012 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,175} + 10^{0,176} + 10^{0,176} + 10^{0,177} + 10^{0,177} \right) = 76,26 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электропоезда ЭД9Т №0012:

$$L_{EX,8h} = 76,26 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 77,23 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (75 + 76 + 76 + 77 + 77) = 76,2 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД9Т №0012 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(75-76,2)^2 + (76-76,2)^2 + (76-76,2)^2 + (77-76,2)^2 + (77-76,2)^2 \right]} = 0,84$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,84 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,5.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,5^2 + 1^2 (0,7^2 + 1^2) = 1,74 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,32 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД9Т №0011 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 77} \right) = 76,63 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электропоезда ЭД9Т №0011:

$$L_{EX,8h} = 76,63 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 77,60 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (77 + 76 + 76 + 77 + 77) = 76,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД9Т №0011 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(77-76,6)^2 + (76-76,6)^2 + (76-76,6)^2 + (77-76,6)^2 + (77-76,6)^2 \right]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД9Т №020 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 77} \right) = 76,43 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста электропоезда ЭД9Т №020:

$$L_{EX,8h} = 76,43 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 77,40 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (76 + 76 + 76 + 77 + 77) = 76,4 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста электропоезда ЭД9Т №020 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(76-76,4)^2 + (76-76,4)^2 + (76-76,4)^2 + (77-76,4)^2 + (77-76,4)^2 \right]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2 (0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ.}$$

Результаты расчетов уровней звука в кабинах электропоездов, полученные по ГОСТ Р ИСО 9612-2013, приведены в таблице 6 Приложения А.

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста рельсового автобуса РА-1 №034 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 79} \right) = 78,09 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста рельсового автобуса РА-1 №034:

$$L_{EX,sh} = 78,09 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 79,06 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (77 + 77 + 78 + 79 + 79) = 78 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста рельсового автобуса РА-1 №034 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(77-78)^2 + (77-78)^2 + (78-78)^2 + (79-78)^2 + (79-78)^2 \right]} = 1$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равное 1 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,7.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,7^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,98 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,4 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста рельсового автобуса РА-1 №038 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 79} \right) = 78,43 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста рельсового автобуса РА-1 №038:

$$L_{EX,8h} = 78,43 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 79,4 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (78 + 78 + 78 + 79 + 79) = 78,4 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста рельсового автобуса РА-1 №038 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(78-78,4)^2 + (78-78,4)^2 + (78-78,4)^2 + (79-78,4)^2 + (79-78,4)^2]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ}.$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста рельсового автобуса РА-1 №040 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 78} + 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 79} + 10^{0,1 \cdot 79} \right) = 78,82 \text{ дБ}.$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста рельсового автобуса РА-1 №040:

$$L_{EX,8h} = 78,82 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 79,79 \text{ дБ}.$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (79 + 78 + 79 + 79 + 79) = 78,8 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста рельсового автобуса РА-1 №040 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(79 - 78,8)^2 + (78 - 78,8)^2 + (79 - 78,8)^2 + (79 - 78,8)^2 + (79 - 78,8)^2 \right]} = 0,45$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,45 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $c_1 u_1$ равно 0,2.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,2^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,53 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,24 \text{ дБ}.$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста рельсового автобуса РА-2 №001 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 75} + 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 76} \right) = 76,26 \text{ дБ}.$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста рельсового автобуса РА-2 №001:

$$L_{EX,8h} = 76,26 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 77,23 \text{ дБ}.$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (75 + 77 + 77 + 76 + 76) = 76,2 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста рельсового автобуса РА-2 №001 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(75-76,2)^2 + (77-76,2)^2 + (77-76,2)^2 + (76-76,2)^2 + (76-76,2)^2 \right]} = 0,84$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,84 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,5.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,5^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,74 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,32 \text{ дБ}.$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста рельсового автобуса РА-2 №076 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 75} + 10^{0,1 \cdot 75} + 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 76} \right) = 75,63 \text{ дБ}.$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста рельсового автобуса РА-2 №076:

$$L_{EX,8h} = 75,63 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 76,6 \text{ дБ}.$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (75 + 75 + 76 + 76 + 76) = 75,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста рельсового автобуса РА-2 №076 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(75-75,6)^2 + (75-75,6)^2 + (76-75,6)^2 + (76-75,6)^2 + (76-75,6)^2]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ}.$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста рельсового автобуса РА-2 №005 в формулу 2.4, получим:

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 77} + 10^{0,1 \cdot 76} + 10^{0,1 \cdot 76} \right) = 76,63 \text{ дБ}.$$

Подставляя полученный по формуле 2.4 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 2.5, получим значение эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день в кабине машиниста рельсового автобуса РА-2 №005:

$$L_{EX,8h} = 76,63 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 77,6 \text{ дБ}.$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{p,A,eqT} = \frac{1}{5} \cdot (77 + 77 + 77 + 76 + 76) = 76,6 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста рельсового автобуса РА-2 №005 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 2.9, в формулу 2.8, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} [(77-76,6)^2 + (77-76,6)^2 + (77-76,6)^2 + (76-76,6)^2 + (76-76,6)^2]} = 0,55$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,55 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $s_1 u_1$ равно 0,3.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 2.7, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,3^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,58 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,26 \text{ дБ.}$$

Результаты расчетов уровней звука в кабинах рельсовых автобусах, полученные по ГОСТ Р ИСО 9612-2013, приведены в таблице 8 Приложения А.

Разница между эквивалентными уровнями звука при сертификационных испытаниях и СОУТ рассчитывалась по формуле 2.13:

для пассажирских электровозов:

$$\text{ЭП20 №014 } \Delta = 73,6 - 71 = 2,6 \text{ дБ}$$

$$\text{ЭП20 №031 } \Delta = 72,2 - 71 = 1,2 \text{ дБ}$$

$$\text{ЭП20 №049 } \Delta = 71,6 - 71 = 0,6 \text{ дБ}$$

$$\text{ЭП10 №005 } \Delta = 77,8 - 76 = 1,8 \text{ дБ}$$

$$\text{ЭП10 №012 } \Delta = 77,6 - 76 = 1,6 \text{ дБ}$$

$$\text{ЭП10 №020 } \Delta = 79 - 76 = 3 \text{ дБ}$$

для грузовых электровозов:

$$\text{ВЛ10 №332 } \Delta = 79,6 - 77 = 2,6 \text{ дБ}$$

$$\text{ВЛ10 №919 } \Delta = 81,6 - 77 = 4,6 \text{ дБ}$$

$$\text{ВЛ10 №987 } \Delta = 81,6 - 77 = 4,6 \text{ дБ}$$

$$\text{ВЛ11 №349 } \Delta = 79,4 - 75 = 4,4 \text{ дБ}$$

$$\text{ВЛ11 №755-733 } \Delta = 80 - 75 = 5 \text{ дБ}$$

$$\text{ВЛ11 №793 } \Delta = 81,6 - 75 = 6,6 \text{ дБ}$$

для рельсовых автобусов:

$$\text{РА-1 №034 } \Delta = 79,1 - 73 = 6,1 \text{ дБ}$$

$$\text{РА-1 №038 } \Delta = 79,4 - 73 = 6,4 \text{ дБ}$$

$$\text{РА-1 №040 } \Delta = 79,8 - 73 = 6,8 \text{ дБ}$$

$$\text{РА-2 №001 } \Delta = 77,2 - 73 = 4,2 \text{ дБ}$$

$$\text{РА-2 №005 } \Delta = 77,6 - 73 = 4,6 \text{ дБ}$$

$$\text{РА-2 №076 } \Delta = 76,6 - 73 = 3,6 \text{ дБ}$$

для маневровых тепловозов:

$$\text{ЧМЭЗ №2009 } \Delta = 80,6 - 73 = 7,6 \text{ дБ}$$

ЧМЭЗ №5070 $\Delta=79,4-73=6,4$ дБ

ЧМЭЗ №6163 $\Delta=80,4-73=7,4$ дБ

ТЭМ7А №0380 $\Delta=75,8-66=9,8$ дБ

ТЭМ7А №0460 $\Delta=73,6-66=7,6$ дБ

ТЭМ7А №0469 $\Delta=76,4-66=10,4$ дБ

для грузовых тепловозов:

2ТЭ10 №0081 $\Delta=86,8-79=7,8$ дБ

2ТЭ10 №0438 $\Delta=88,1-79=9,1$ дБ

2ТЭ10 №2354 $\Delta=87,4-79=8,4$ дБ

3ТЭ10 №1338 $\Delta=87,8-76=11,8$ дБ

3ТЭ10 №1417 $\Delta=87,2-76=11,2$ дБ

3ТЭ10 №1520 $\Delta=87,8-76=11,8$ дБ

для пригородных электропоездов:

ЭД4М №0107 $\Delta=76-67=9$ дБ

ЭД4М №0113 $\Delta=76,4-67=9,4$ дБ

ЭД4М №0119 $\Delta=77,4-67=10,4$ дБ

ЭР2 №7083 $\Delta=79,4-70=9,4$ дБ

ЭР2 №7167 $\Delta=78,8-70=8,8$ дБ

ЭР2 №7217 $\Delta=79,6-70=9,6$ дБ

ЭД9Т №0011 $\Delta=77,6-67=10,6$ дБ

ЭД9Т №0012 $\Delta=77,2-67=10,2$ дБ

ЭД9Т №0020 $\Delta=77,4-67=10,4$ дБ

Процент от разницы между эквивалентными уровнями звука при сертификационных испытаниях и СОУТ рассчитывался по формуле 2.17:

для пассажирских электропоездов:

$$\text{ЭП20 №014 \%} = \frac{2,6 \cdot 100\%}{71} = 3,7$$

$$\text{ЭП20 №031 \%} = \frac{1,2 \cdot 100\%}{69,8} = 1,7$$

$$\text{ЭП20 №049 \%} = \frac{0,6 \cdot 100\%}{71} = 0,8$$

$$\text{ЭП10 №005 \%} = \frac{1,8 \cdot 100\%}{76} = 2,4$$

$$\text{ЭП10 №012 \%} = \frac{1,6 \cdot 100\%}{76} = 2,1$$

$$\text{ЭП10 №020 \%} = \frac{3 \cdot 100\%}{76} = 3,9$$

для грузовых электровозов:

$$\text{ВЛ10 №332 \%} = \frac{2,6 \cdot 100\%}{77} = 3,4$$

$$\text{ВЛ10 №919 \%} = \frac{4,6 \cdot 100\%}{77} = 5,9$$

$$\text{ВЛ10 №987 \%} = \frac{4,6 \cdot 100\%}{77} = 5,9$$

$$\text{ВЛ11 №349 \%} = \frac{4,4 \cdot 100\%}{75} = 5,8$$

$$\text{ВЛ11 №755-733 \%} = \frac{5 \cdot 100\%}{75} = 6,7$$

$$\text{ВЛ11 №793 \%} = \frac{6,6 \cdot 100\%}{75} = 8,8$$

для рельсовых автобусов:

$$\text{РА-1 №034 \%} = \frac{6,1 \cdot 100\%}{73} = 8,4$$

$$\text{РА-1 №038 \%} = \frac{6,4 \cdot 100\%}{73} = 8,8$$

$$\text{РА-1 №040 \%} = \frac{6,8 \cdot 100\%}{73} = 9,3$$

$$\text{РА-2 №001 \%} = \frac{4,2 \cdot 100\%}{73} = 5,8$$

$$\text{РА-2 №005 \%} = \frac{4,6 \cdot 100\%}{73} = 6,3$$

$$\text{РА-2 №076 \%} = \frac{3,6 \cdot 100\%}{73} = 4,9$$

для маневровых тепловозов:

$$\text{ЧМЭ3 №2009 \%} = \frac{7,6 \cdot 100\%}{73} = 10,4$$

$$\text{ЧМЭ3 №5070 \%} = \frac{6,4 \cdot 100\%}{73} = 8,8$$

$$\text{ЧМЭ3 №6163 \%} = \frac{7,4 \cdot 100\%}{73} = 10,1$$

$$\text{ТЭМ7А №0380 \%} = \frac{9,8 \cdot 100\%}{66} = 14,8$$

$$\text{ТЭМ7А №0460 \%} = \frac{7,6 \cdot 100\%}{66} = 11,5$$

$$\text{ТЭМ7А №0469 \%} = \frac{10,4 \cdot 100\%}{66} = 15,8$$

для грузовых тепловозов:

$$\text{2ТЭ10 №0081 \%} = \frac{7,8 \cdot 100\%}{79} = 9,9$$

$$\text{2ТЭ10 №0438 \%} = \frac{9,1 \cdot 100\%}{79} = 11,5$$

$$\text{2ТЭ10 №2354 \%} = \frac{8,4 \cdot 100\%}{79} = 10,6$$

$$\text{3ТЭ10 №1338 \%} = \frac{11,8 \cdot 100\%}{76} = 15,5$$

$$\text{3ТЭ10 №1417 \%} = \frac{11,2 \cdot 100\%}{76} = 14,7$$

$$\text{3ТЭ10 №1520 \%} = \frac{11,8 \cdot 100\%}{76} = 15,5$$

для пригородных электропоездов:

$$\text{ЭД4М №0107 \%} = \frac{9 \cdot 100\%}{67} = 13,4$$

$$\text{ЭД4М №0113 \%} = \frac{9,4 \cdot 100\%}{67} = 14$$

$$\text{ЭД4М №0119 \%} = \frac{10,4 \cdot 100\%}{67} = 15,5$$

$$\text{ЭР2 №7083 \%} = \frac{9,4 \cdot 100\%}{70} = 13,4$$

$$\text{ЭР2 №7167 \%} = \frac{8,8 \cdot 100\%}{70} = 12,6$$

$$\text{ЭР2 №7217 \%} = \frac{9,6 \cdot 100\%}{70} = 13,7$$

$$\text{ЭД9Т №0011 \%} = \frac{10,6 \cdot 100\%}{67} = 15,8$$

$$\text{ЭД9Т №0012 \%} = \frac{10,2 \cdot 100\%}{67} = 15,2$$

$$\text{ЭД9Т №0020 \%} = \frac{10,4 \cdot 100\%}{67} = 15,5$$

Таблица 3.1. Результаты расчета разницы уровня звука при сертификационных испытаниях и СОУТ для кабин подвижного состава

| № | Вид движения(тип подвижного состава) | Серия подвижного состава | Номер подвижного состава | Ср. скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, полученный при сертификации, L _A , дБА | Эквивалентный уровень звука, полученный при СОУТ, L _A , дБ | Разница эквивалентных уровней, дБ | % |
|---|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|--|---|-----------------------------------|-----|
| 1 | Пассажирское (электровозы) | ЭП20 | 014 | 130 | 71 | 73,6±1,3 | 2,6 | 3,7 |
| 2 | | ЭП20 | 031 | | | 71,6±1,3 | 0,6 | 0,8 |
| 3 | | ЭП20 | 049 | | | 71,7±1,3 | 0,7 | 0,9 |
| 4 | | ЭП10 | 005 | | 76 | 77,8±1,3 | 1,8 | 2,4 |
| 5 | | ЭП10 | 012 | | | 77,6±1,3 | 1,6 | 2,1 |
| 6 | | ЭП10 | 020 | | | 79±1,4 | 3,0 | 3,9 |
| 7 | Грузовое (электровозы) | ВЛ10 | 332 | 70 | 77 | 79,6±1,4 | 2,6 | 3,4 |
| 8 | | ВЛ10 | 919 | | | 81,6±1,3 | 4,6 | 5,9 |
| 9 | | ВЛ10 | 987 | | | 81,6±1,4 | 4,6 | 5,9 |

Продолжение таблицы 3.1

| | | | | | | | | |
|----|--|-------|---------|----|----|----------|------|------|
| 10 | | ВЛ11 | 349 | | 75 | 79,4±1,3 | 4,4 | 5,8 |
| 11 | | ВЛ11 | 755-733 | | | 80±1,3 | 5,0 | 6,7 |
| 12 | | ВЛ11 | 793 | | | 81,6±1,3 | 6,6 | 8,8 |
| 13 | Малонапряженное (рельсовые автобусы) | РА-1 | 34 | 60 | 73 | 79,1±1,4 | 6,1 | 8,4 |
| 14 | | РА-1 | 38 | | | 79,4±1,3 | 6,4 | 8,8 |
| 15 | | РА-1 | 40 | | | 79,8±1,2 | 6,8 | 9,3 |
| 16 | | РА-2 | 1 | | 73 | 77,2±1,3 | 4,2 | 5,8 |
| 17 | | РА-2 | 5 | | | 77,6±1,3 | 4,6 | 6,3 |
| 18 | | РА-2 | 76 | | | 76,6±1,3 | 3,6 | 4,9 |
| 19 | Маневровое (тепловозы) | ЧМЭ3 | 2009 | 10 | 73 | 80,6±1,4 | 7,6 | 10,4 |
| 20 | | ЧМЭ3 | 5070 | | | 79,4±1,4 | 6,4 | 8,8 |
| 21 | | ЧМЭ3 | 6163 | | | 80,4±1,4 | 7,4 | 10,1 |
| 22 | | ТЭМ7А | 380 | | 66 | 75,8±1,3 | 9,8 | 14,8 |
| 23 | | ТЭМ7А | 460 | | | 73,6±1,3 | 7,6 | 11,5 |
| 24 | | ТЭМ7А | 469 | | | 76,4±1,3 | 10,4 | 15,8 |
| 25 | Грузовое (тепловозы) | 2ТЭ10 | 0081 | 70 | 79 | 86,8±1,2 | 7,8 | 9,9 |
| 26 | | 2ТЭ10 | 0438 | | | 88,1±1,3 | 9,1 | 11,5 |
| 27 | | 2ТЭ10 | 2354 | | | 87,4±1,3 | 8,4 | 10,6 |
| 28 | | 3ТЭ10 | 1338 | | 76 | 87,8±1,3 | 11,8 | 15,5 |
| 29 | | 3ТЭ10 | 1417 | | | 87,2±1,2 | 11,2 | 14,7 |
| 30 | | 3ТЭ10 | 1520 | | | 87,8±1,3 | 11,8 | 15,5 |
| 31 | Пригородное (электропоезда) | ЭД4М | 0107 | 60 | 67 | 76±1,3 | 9,0 | 13,4 |
| 32 | | ЭД4М | 0113 | | | 76,4±1,3 | 9,4 | 14 |
| 33 | | ЭД4М | 0119 | | | 77,4±1,3 | 10,4 | 15,5 |
| 34 | | ЭР2 | 7083 | | 70 | 79,4±1,3 | 9,4 | 13,4 |
| 35 | | ЭР2 | 7167 | | | 78,8±1,3 | 8,8 | 12,6 |
| 36 | | ЭР2 | 7217 | | | 79,6±1,4 | 9,6 | 13,7 |
| 37 | | ЭД9Т | 0011 | | 67 | 77,6±1,3 | 10,6 | 15,8 |
| 38 | | ЭД9Т | 0012 | | | 77,2±1,3 | 10,2 | 15,2 |
| 39 | | ЭД9Т | 0020 | | | 77,4±1,3 | 10,4 | 15,5 |

Из таблицы 3.1 видно, что разница эквивалентных уровней звука при сертификационных испытаниях и СОУТ составляет: для пассажирских

электровозов – от 0,6 до 3 дБ, что составляет от 0,8 до 3,9 %, для грузовых электровозов – от 2,6 до 6,6 дБ, что составляет от 3,4 до 8,8 %, для рельсовых автобусов – от 3,6 до 6,8 дБ, что составляет от 4,9 до 9,3 %, для маневровых тепловозов – от 6,4 до 10,4 дБ, что составляет от 8,8 до 15,8 %, для грузовых тепловозов – от 7,8 до 11,8 дБ, что составляет от 9,9 до 15,5 %, для электропоездов – от 9 до 10,6 дБ, что составляет от 12,6 до 15,8 %.

Результаты проведенных расчетов показали, что разница эквивалентных уровней звука в кабинах тепловозов при сертификационных испытаниях и СОУТ выше, чем в кабинах электровозов. Эквивалентные уровни звука в кабинах электропоездов в условиях эксплуатации в значительной степени отличаются от результатов сертификационных испытаний. Разница эквивалентных уровней звука при сертификационных испытаниях и СОУТ дает основание для усовершенствования проведения испытаний и определения эквивалентного уровня звука для условий эксплуатации.

Сравним измеренные и полученные эквивалентные уровни звука при проведении СОУТ с эквивалентными уровнями звука, полученными при сертификационных испытаниях с помощью коэффициента пересчета уровня звука k_y , рассчитанного по формуле 2.24 [33]:

$$k_y = \frac{79,6}{77} = 1,03 \quad \text{для электровоза ВЛ10 №332;}$$

$$k_y = \frac{81,6}{77} = 1,06 \quad \text{для электровоза ВЛ10 №919;}$$

$$k_y = \frac{81,6}{77} = 1,06 \quad \text{для электровоза ВЛ10 №987;}$$

$$k_y = \frac{79,4}{75} = 1,06 \quad \text{для электровоза ВЛ11 №349;}$$

$$k_y = \frac{80}{75} = 1,07 \quad \text{для электровоза ВЛ11 №755-733;}$$

$$k_y = \frac{81,6}{75} = 1,09 \quad \text{для электровоза ВЛ11 №793;}$$

$$\kappa_y = \frac{73,6}{71} = 1,04 \quad \text{для электровоза ЭП20 №014;}$$

$$\kappa_y = \frac{69,8}{71} = 0,98 \quad \text{для электровоза ЭП20 №031;}$$

$$\kappa_y = \frac{71,6}{71} = 1,01 \quad \text{для электровоза ЭП20 №049;}$$

$$\kappa_y = \frac{77,8}{76} = 1,02 \quad \text{для электровоза ЭП10 №005;}$$

$$\kappa_y = \frac{77,6}{76} = 1,02 \quad \text{для электровоза ЭП10 №012;}$$

$$\kappa_y = \frac{79}{76} = 1,04 \quad \text{для электровоза ЭП10 №020;}$$

$$\kappa_y = \frac{79,1}{73} = 1,08 \quad \text{для рельсового автобуса РА-1 №034;}$$

$$\kappa_y = \frac{79,4}{73} = 1,09 \quad \text{для рельсового автобуса РА-1 №038;}$$

$$\kappa_y = \frac{79,8}{73} = 1,09 \quad \text{для рельсового автобуса РА-1 №040;}$$

$$\kappa_y = \frac{77,2}{73} = 1,06 \quad \text{для рельсового автобуса РА-2 №001;}$$

$$\kappa_y = \frac{77,6}{73} = 1,06 \quad \text{для рельсового автобуса РА-2 №005;}$$

$$\kappa_y = \frac{76,6}{73} = 1,05 \quad \text{для рельсового автобуса РА-2 №076;}$$

$$\kappa_y = \frac{80,6}{73} = 1,10 \quad \text{для тепловоза ЧМЭЗ №2009;}$$

$$\kappa_y = \frac{79,4}{73} = 1,09 \quad \text{для тепловоза ЧМЭЗТ №5070;}$$

$$\kappa_y = \frac{80,4}{73} = 1,10 \quad \text{для тепловоза ЧМЭЗ №6163;}$$

$$\kappa_y = \frac{75,8}{66} = 1,15 \quad \text{для тепловоза ТЭМ7А №0380;}$$

$$\kappa_y = \frac{73,6}{66} = 1,12 \quad \text{для тепловоза ТЭМ7А №0460;}$$

$$\kappa_y = \frac{76,4}{66} = 1,16 \quad \text{для тепловоза ТЭМ7А №0469;}$$

$$\kappa_y = \frac{86,8}{79} = 1,10 \quad \text{для тепловоза 2ТЭ10 №0081;}$$

$$\kappa_y = \frac{88,1}{79} = 1,12 \quad \text{для тепловоза 2ТЭ10 №0438;}$$

$$\kappa_y = \frac{87,4}{79} = 1,11 \quad \text{для тепловоза 2ТЭ10 №2354;}$$

$$\kappa_y = \frac{87,8}{76} = 1,16 \quad \text{для тепловоза 3ТЭ10 №1338;}$$

$$\kappa_y = \frac{87,2}{76} = 1,15 \quad \text{для тепловоза 3ТЭ10 №1417;}$$

$$\kappa_y = \frac{87,8}{76} = 1,16 \quad \text{для тепловоза 3ТЭ10 №1520;}$$

$$\kappa_y = \frac{76}{67} = 1,13 \quad \text{для электропоезда ЭД4М №0107;}$$

$$\kappa_y = \frac{76,4}{67} = 1,14 \quad \text{для электропоезда ЭД4М №0113;}$$

$$\kappa_y = \frac{77,4}{67} = 1,16 \quad \text{для электропоезда ЭД4М №0119;}$$

$$\kappa_y = \frac{79,4}{70} = 1,13 \quad \text{для электропоезда ЭР2 №7083;}$$

$$\kappa_y = \frac{78,8}{70} = 1,13 \quad \text{для электропоезда ЭР2 №7167;}$$

$$\kappa_y = \frac{79,6}{70} = 1,14 \quad \text{для электропоезда ЭР2 №7217;}$$

$$\kappa_y = \frac{77,6}{67} = 1,16 \quad \text{для электропоезда ЭД9Т №0011;}$$

$$\kappa_y = \frac{77,2}{67} = 1,15 \quad \text{для электропоезда ЭД9Т №0012;}$$

$$k_y = \frac{77,4}{67} = 1,16 \quad \text{для электропоезда ЭД9Т №0020;}$$

По результатам расчета средние коэффициенты пересчета уровня звука k_y для исследуемого подвижного состава рассчитываются по формуле 2.25:

Для пассажирских электровозов:

$$k_{y_{cp}} = \frac{1,04 + 0,98 + 1,01 + 1,02 + 1,02 + 1,04}{6} = 1,02;$$

Для грузовых электровозов:

$$k_{y_{cp}} = \frac{1,03 + 1,06 + 1,06 + 1,06 + 1,07 + 1,09}{6} = 1,06;$$

Для рельсовых автобусов:

$$k_{y_{cp}} = \frac{1,08 + 1,09 + 1,09 + 1,06 + 1,06 + 1,05}{6} = 1,07;$$

Для маневровых тепловозов:

$$k_{y_{cp}} = \frac{1,10 + 1,09 + 1,10 + 1,15 + 1,12 + 1,16}{6} = 1,12;$$

Для грузовых тепловозов:

$$k_{y_{cp}} = \frac{1,10 + 1,12 + 1,11 + 1,16 + 1,15 + 1,16}{6} = 1,13;$$

Для пригородных электропоездов:

$$k_{y_{cp}} = \frac{1,13 + 1,14 + 1,16 + 1,13 + 1,13 + 1,14 + 1,16 + 1,15 + 1,16}{9} = 1,14.$$

Результаты расчета коэффициентов пересчета уровня звука для кабин подвижного состава приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Результаты расчета коэффициентов пересчета уровня звука для кабин подвижного состава

| № | Вид движения(тип подвижного состава) | Серия подвижного состава | Номер подвижного состава | Ср. скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, полученный при сертификации, L_A , дБА | Эквивалентный уровень звука, полученный при СОУТ, L_A , дБ | Коэф. превышения по шуму (k_y), дБ | Средний коэф. превышения по шуму (k_y), дБ |
|----|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|---|--|--|--|
| 1 | Пассажирское (электровозы) | ЭП20 | 014 | 130 | 71 | 73,6±1,3 | 1,04 | 1,02 |
| 2 | | ЭП20 | 031 | | | 69,8±1,3 | 0,98 | |
| 3 | | ЭП20 | 049 | | | 71,6±1,3 | 1,01 | |
| 4 | | ЭП10 | 005 | | 76 | 77,8±1,3 | 1,02 | |
| 5 | | ЭП10 | 012 | | | 77,6±1,3 | 1,02 | |
| 6 | | ЭП10 | 020 | | | 79±1,4 | 1,04 | |
| 7 | Грузовое (электровозы) | ВЛ10 | 332 | 70 | 77 | 79,6±1,4 | 1,03 | 1,06 |
| 8 | | ВЛ10 | 919 | | | 81,6±1,3 | 1,06 | |
| 9 | | ВЛ10 | 987 | | | 81,6±1,4 | 1,06 | |
| 10 | | ВЛ11 | 349 | | 75 | 79,4±1,3 | 1,06 | |
| 11 | | ВЛ11 | 755-733 | | | 80±1,3 | 1,07 | |
| 12 | | ВЛ11 | 793 | | | 81,6±1,3 | 1,09 | |
| 13 | Малонапряженное (рельсовые автобусы) | РА-1 | 34 | 60 | 73 | 79,1±1,4 | 1,08 | 1,07 |
| 14 | | РА-1 | 38 | | | 79,4±1,3 | 1,09 | |
| 15 | | РА-1 | 40 | | | 79,8±1,2 | 1,09 | |
| 16 | | РА-2 | 1 | | 73 | 77,2±1,3 | 1,06 | |
| 17 | | РА-2 | 5 | | | 77,6±1,3 | 1,06 | |
| 18 | | РА-2 | 76 | | | 76,6±1,3 | 1,05 | |
| 19 | Маневровое (тепловозы) | ЧМЭ3 | 2009 | 10 | 73 | 80,6±1,4 | 1,10 | 1,12 |
| 20 | | ЧМЭ3 | 5070 | | | 79,4±1,4 | 1,09 | |
| 21 | | ЧМЭ3 | 6163 | | | 80,4±1,4 | 1,10 | |
| 22 | | ТЭМ7А | 380 | | 66 | 75,8±1,3 | 1,15 | |

Продолжение Таблицы 3.2.

| | | | | | | | | |
|----|--------------------------------|-------|------|----|----|----------|------|------|
| 23 | | ТЭМ7А | 460 | | | 73,6±1,3 | 1,12 | |
| 24 | | ТЭМ7А | 469 | | | 76,4±1,3 | 1,16 | |
| 25 | Грузовое (тепловозы) | 2ТЭ10 | 0081 | 70 | 79 | 86,8±1,2 | 1,10 | 1,13 |
| 26 | | 2ТЭ10 | 0438 | | | 88,1±1,3 | 1,12 | |
| 27 | | 2ТЭ10 | 2354 | | | 87,4±1,3 | 1,11 | |
| 28 | | 3ТЭ10 | 1338 | | 76 | 87,8±1,3 | 1,16 | |
| 29 | | | 1417 | | | 87,2±1,2 | 1,15 | |
| 30 | | | 1520 | | | 87,8±1,3 | 1,16 | |
| 31 | Пригородное (электropоезда) | ЭД4М | 0107 | 60 | 67 | 76±1,3 | 1,13 | 1,14 |
| 32 | | ЭД4М | 0113 | | | 76,4±1,3 | 1,14 | |
| 33 | | ЭД4М | 0119 | | | 77,4±1,3 | 1,16 | |
| 34 | | ЭР2 | 7083 | | 70 | 79,4±1,3 | 1,13 | |
| 35 | | | 7167 | | | 78,8±1,3 | 1,13 | |
| 36 | | | 7217 | | | 79,6±1,4 | 1,14 | |
| 37 | | ЭД9Т | 0011 | | 67 | 77,6±1,3 | 1,16 | |
| 38 | | | 0012 | | | 77,2±1,3 | 1,15 | |
| 39 | | | 0020 | | | 77,4±1,3 | 1,16 | |

Результаты проведенных измерений показали, что для целей сертификационных испытаний следует ориентироваться на более жесткие предельно-допустимые уровни звука, а именно: для электровозов – 75 дБ, для тепловозов – 71 дБ, для электropоездов – 70 дБ, для рельсовых автобусов – 75 дБ.

3.2. Результаты экспериментального определения и оценки уровня звука в кабинах локомотивов при движении

Для определения коэффициента зависимости эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов от скорости движения измерения проводились при скоростях движения до 140 км/ч в кабинах магистральных тепловозов 2ТЭ10У и ТЭП70, электровозов ЭП10, ЭП20, ЧС8, ЧС7, ЧС4Т, ЧС2К, ВЛ11 и ВЛ10.

Тепловоз 2ТЭ10У №438.

Испытания проводились в кабине электровоза 2ТЭ10У №438 на стоянке и при движении со скоростями 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 1 Приложения Б.

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(7 \cdot 30140 - 350 \cdot 599)}{7 \cdot 20300 - 350^2} = 0,07$$

$$L_0 = \frac{599 - 0,07 \cdot 350}{7} = 82,2$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,07U+80,6$, представлена на рисунке 1 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | | | |
|----------------|------|------|----|------|------|------|------|
| \hat{y}_{xi} | 83,6 | 84,3 | 85 | 85,7 | 86,4 | 87,1 | 87,8 |
| y | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 86 |

$$\text{Тогда } \bar{y} = 86, \sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2 = 4,95, \sum (y_i - \bar{y})^2 = 17,71.$$

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{4,95}{17,71} = 0,72.$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,72 \cdot 5}{1 - 0,72} = 12,87 .$$

В нашем случае $F_H=12,87$, $F_T = 6,61$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=5$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Тепловоз ТЭП70 №547.

Испытания проводились в кабине тепловоза ТЭП70 №547 на стоянке и при движении со скоростями 40, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 2 Приложения Б.

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(9 \cdot 62630 - 800 \cdot 700)}{9 \cdot 78000 - 800^2} = 0,06$$

$$L_0 = \frac{700 - 0,06 \cdot 800}{9} = 72,5$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,06U+72,5$, представлена на рисунке 2 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| \hat{y}_{xi} | 74,9 | 76,1 | 76,7 | 77,3 | 77,9 | 78,5 | 79,1 | 79,7 | 80,3 |
| y | 74 | 76 | 77 | 78 | 79 | 78 | 79 | 79 | 80 |

$$\text{Тогда } \bar{y} = 77,8, \sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2 = 3,5, \sum (y_i - \bar{y})^2 = 27,6.$$

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{3,5}{27,6} = 0,87.$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,87 \cdot 7}{1 - 0,87} = 47,1 .$$

В нашем случае $F_H=47,1$, $F_T = 5,59$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=7$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Тепловоз ТЭП70 №406.

Испытания проводились в кабине тепловоза ТЭП70 №406 на стоянке и при движении со скоростями 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 3 Приложения Б.

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(10 \cdot 66050 - 850 \cdot 770)}{10 \cdot 80500 - 850^2} = 0,07$$

$$L_0 = \frac{770 - 0,07 \cdot 850}{10} = 70,8$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,07U+70,8$, представлена на рисунке 3 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|----|------|------|----|------|------|------|------|
| \hat{y}_{xi} | 73,6 | 74,3 | 75 | 75,7 | 76,4 | 77 | 77,8 | 78,5 | 79,2 | 79,9 |
| y | 74 | 74 | 75 | 77 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 80 |

$$\text{Тогда } \bar{y} = 77, \sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2 = 2,95, \sum (y_i - \bar{y})^2 = 46 .$$

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{2,95}{46} = 0,94 .$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,94 \cdot 8}{1 - 0,94} = 124,77 .$$

В нашем случае $F_H=124,77$, $F_T = 5,32$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=8$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Электровоз ЧС8 №045

Испытания проводились в кабине электровоза ЧС8 №045 на стоянке и при движении со скоростями 40, 60, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 4 Приложения Б.

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(9 \cdot 68810 - 870 \cdot 706)}{9 \cdot 92700 - 870^2} = 0,07$$

$$L_0 = \frac{706 - 0,07 \cdot 870}{9} = 72,1 \text{ дБ}$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,07U+72,1$, дБ, приведенной на рисунке 4 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| \hat{y}_{xi} | 74,9 | 76,3 | 77,7 | 78,4 | 79,1 | 79,8 | 80,5 | 81,2 | 81,9 |
| y | 73 | 77 | 79 | 78 | 78 | 79 | 82 | 80 | 80 |

$$\text{Тогда } \bar{y} = 78,4, \sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2 = 15,18, \sum (y_i - \bar{y})^2 = 50,22 .$$

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{15,18}{50,22} = 0,70 .$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,70 \cdot 7}{1 - 0,70} = 16,28 .$$

В нашем случае $F_H=16,28$, $F_T = 5,59$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=7$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Электровоз ЧС2К №690.

Испытания проводились в кабине электровоза ЧС2К №690 на стоянке и при движении со скоростями 20, 40, 60, 70, 80, 100, 110, 120, 130 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 5 Приложения Б.

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(9 \cdot 57180 - 730 \cdot 696)}{9 \cdot 70300 - 730^2} = 0,07$$

$$L_0 = \frac{696 - 0,07 \cdot 730}{9} = 72$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,07U+72$, представлена на рисунке 5 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|----|------|------|----|
| \hat{y}_{xi} | 73,4 | 74,8 | 76,2 | 76,9 | 77,6 | 79 | 79,7 | 80,4 | 81 |
| y | 73 | 74 | 75 | 77 | 79 | 80 | 80 | 79 | 79 |

$$\text{Тогда } \bar{y} = 77,3, \sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2 = 11,8, \sum (y_i - \bar{y})^2 = 58.$$

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{11,8}{58} = 0,80.$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,80 \cdot 7}{1 - 0,80} = 27,9.$$

В нашем случае $F_H=27,9$, $F_T=5,59$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=7$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Электровоз ЧС7 №006.

Испытания проводились в кабине электровоза ЧС7 №006 на стоянке и при движении со скоростями 60, 70, 80, 100, 110, 120, 130 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 6 Приложения Б.

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(7 \cdot 51630 - 670 \cdot 537)}{7 \cdot 68300 - 670^2} = 0,06$$

$$L_0 = \frac{537 - 0,06 \cdot 670}{7} = 71,4$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,06U+71,4$, представлена на рисунке 6 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | | | |
|----------------|----|------|------|------|----|------|------|
| \hat{y}_{xi} | 75 | 75,6 | 76,2 | 77,4 | 78 | 78,6 | 79,2 |
| y | 74 | 75 | 77 | 77 | 78 | 78 | 78 |

$$\text{Тогда } \bar{y} = 76,7, \sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2 = 3,96, \sum (y_i - \bar{y})^2 = 15,43.$$

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{3,96}{15,43} = 0,74.$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,74 \cdot 5}{1 - 0,74} = 14,29$$

В нашем случае $F_H=14,29$, $F_T = 6,61$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=5$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Электровоз ЧС4Т №476.

Испытания проводились в кабине электровоза ЧС4Т №476 на стоянке и при движении со скоростями 40, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 7 Приложения Б.

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(9 \cdot 60860 - 800 \cdot 678)}{9 \cdot 78000 - 800^2} = 0,09$$

$$L_0 = \frac{678 - 0,09 \cdot 800}{9} = 67,7$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,09U+67,7$, представлена на рисунке 7 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| \hat{y}_{xi} | 71,3 | 73,1 | 73,9 | 74,9 | 75,8 | 76,7 | 77,6 | 78,5 | 79,4 |
| y | 72 | 72 | 73 | 74 | 75 | 78 | 78 | 78 | 78 |

Тогда $\bar{y} = 75,3$, $\sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2 = 8,08$, $\sum (y_i - \bar{y})^2 = 58$.

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{8,08}{58} = 0,86.$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,86 \cdot 7}{1 - 0,86} = 43,03 .$$

В нашем случае $F_H=43,03$, $F_T = 5,59$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=7$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Электровоз ЭП20 №031.

Испытания проводились в кабине электровоза ЭП20 №031 на стоянке и при движении со скоростями 20, 40, 70, 60, 80, 100, 110, 120, 130 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 8 Приложения Б.

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(9 \cdot 50110 - 730 \cdot 609)}{9 \cdot 70300 - 730^2} = 0,06$$

$$L_0 = \frac{609 - 0,06 \cdot 730}{9} = 62,5$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,06U+62,5$, представлена на рисунке 8 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| \hat{y}_{xi} | 64,6 | 65,8 | 66,9 | 67,6 | 68,2 | 69,4 | 69,9 | 70,6 | 71,2 |
| y | 63 | 65 | 66 | 68 | 69 | 68 | 69 | 71 | 70 |

$$\text{Тогда } \bar{y} = 67,7, \sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2 = 9,35, \sum (y_i - \bar{y})^2 = 52.$$

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{9,35}{52} = 0,82.$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,82 \cdot 7}{1 - 0,82} = 31,9.$$

В нашем случае $F_H=31,9$, $F_T = 5,59$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=7$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Электровоз ЭП10 №005.

Испытания проводились в кабине электровоза ЭП10 №005 на стоянке и при движении со скоростями 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 9 Приложения Б.

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(8 \cdot 64390 - 840 \cdot 610)}{8 \cdot 92400 - 840^2} = 0,08$$

$$L_0 = \frac{610 - 0,08 \cdot 840}{8} = 67,8$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,08U+67,8$, представлена на рисунке 9 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | | | | |
|----------------|------|------|----|------|------|------|------|------|
| \hat{y}_{xi} | 73,4 | 74,2 | 75 | 75,8 | 76,6 | 77,4 | 78,2 | 78,9 |
| y | 72 | 74 | 75 | 77 | 78 | 79 | 78 | 77 |

Тогда $\bar{y} = 76,3$, $\sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2 = 12,06$, $\sum (y_i - \bar{y})^2 = 39,5$.

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{12,06}{39,5} = 0,69.$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,69 \cdot 6}{1 - 0,69} = 13,45 .$$

В нашем случае $F_H=13,45$, $F_T = 5,99$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=6$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Электровоз ЭП20 №049.

Испытания проводились в кабине электровоза ЭП20 №049 на стоянке и при движении со скоростями 40, 60, 80, 100, 120, 130, 140 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 10 Приложения Б.

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(7 \cdot 45880 - 670 \cdot 473)}{7 \cdot 72500 - 670^2} = 0,07$$

$$L_0 = \frac{473 - 0,07 \cdot 670}{7} = 60,6$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,07U+60,6$, представлена на рисунке 10 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| \hat{y}_{xi} | 63,4 | 64,8 | 66,2 | 67,6 | 69,1 | 69,7 | 70,4 |
| y | 64 | 65 | 66 | 67 | 69 | 72 | 70 |

$$\text{Тогда } \bar{y} = 67,6, \sum \left(y_i - \hat{y}_{xi} \right)^2 = 6,14, \sum \left(y_i - \bar{y} \right)^2 = 49,71.$$

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{6,14}{49,71} = 0,88.$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,88 \cdot 5}{1 - 0,88} = 73,04$$

В нашем случае $F_H=73,04$, $F_T = 6,61$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=5$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Электровоз ЭП10 №012.

Испытания проводились в кабине электровоза ЭП10 №012 на стоянке и при движении со скоростями 20, 40, 60, 80, 100, 120, 130 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 11 Приложения Б.

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(7 \cdot 41760 - 550 \cdot 523)}{7 \cdot 53300 - 550^2} = 0,07$$

$$L_0 = \frac{523 - 0,07 \cdot 550}{7} = 69,5$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,07U+69,5$, представлена на рисунке 11 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| \hat{y}_{xi} | 70,9 | 72,3 | 73,7 | 75,1 | 76,5 | 77,9 | 78,6 |
| y | 70 | 72 | 75 | 75 | 76 | 77 | 78 |

$$\text{Тогда } \bar{y} = 74,7, \sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2 = 4,10, \sum (y_i - \bar{y})^2 = 47,43.$$

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{4,10}{47,4} = 0,91.$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,91 \cdot 5}{1 - 0,91} = 50,75 .$$

В нашем случае $F_H=50,75$, $F_T = 6,61$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=5$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Электровоз ВЛ11 №755-733.

Испытания проводились в кабине электровоза ВЛ11 №755-733 на стоянке и при движении со скоростями 20, 40, 60, 70, 80 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 12 Приложения Б..

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(5 \cdot 21380 - 270 \cdot 393)}{5 \cdot 16900 - 270^2} = 0,07$$

$$L_0 = \frac{393 - 0,07 \cdot 270}{5} = 74,9$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,07U+74,9$, представлена на рисунке 12 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|
| \hat{y}_{xi} | 76,3 | 77,7 | 79,1 | 79,8 | 80,5 |
| y | 76 | 78 | 79 | 80 | 80 |

$$\text{Тогда } \bar{y} = 78,6, \sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2 = 0,55, \sum (y_i - \bar{y})^2 = 11,2 .$$

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{0,55}{11,2} = 0,96 .$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,96 \cdot 3}{1 - 0,96} = 15,93 .$$

В нашем случае $F_H=15,93$, $F_T = 10,13$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=3$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Электровоз ВЛ11М №793.

Испытания проводились в кабине электровоза ВЛ11М №793 на стоянке и при движении со скоростями 20, 40, 50, 60, 70, 80 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 13 Приложения Б.

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(6 \cdot 25530 - 320 \cdot 475)}{6 \cdot 19400 - 320^2} = 0,08$$

$$L_0 = \frac{475 - 0,08 \cdot 320}{6} = 74,7$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,08U+74,7$, представлена на рисунке 13 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|
| \hat{y}_{xi} | 76,3 | 77,9 | 78,7 | 79,5 | 80,3 | 81,1 |
| y | 77 | 78 | 78 | 79 | 81 | 82 |

Тогда $\bar{y} = 79,2$, $\sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2 = 2,62$, $\sum (y_i - \bar{y})^2 = 18,83$.

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{2,62}{18,83} = 0,86.$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,86 \cdot 4}{1 - 0,86} = 24,6.$$

В нашем случае $F_H=24,6$, $F_T = 7,71$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=4$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Электровоз ВЛ11М №349.

Испытания проводились в кабине электровоза ВЛ11М №349 на стоянке и при движении со скоростями 20, 40, 50, 60, 70, 80 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 14 Приложения Б.

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(6 \cdot 24920 - 320 \cdot 464)}{6 \cdot 19400 - 320^2} = 0,07$$

$$L_0 = \frac{464 - 0,07 \cdot 320}{6} = 73,4$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,07U+73,4$, представлена на рисунке 14 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|
| \hat{y}_{xi} | 74,8 | 76,2 | 76,9 | 77,6 | 78,3 | 78,9 |
| y | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 79 |

Тогда $\bar{y} = 77,3$, $\sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2 = 0,82$, $\sum (y_i - \bar{y})^2 = 13,33$.

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{0,82}{13,33} = 0,94.$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,94 \cdot 4}{1 - 0,94} = 62,58.$$

В нашем случае $F_H=62,58$, $F_T = 7,71$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=4$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Электровоз ВЛ10У №987.

Испытания проводились в кабине электровоза ВЛ10У №987 на стоянке и при движении со скоростями 20, 40, 50, 60, 70, 80 км/ч. Результаты испытания приведены в таблице 15 Приложения Б.

Согласно предложенной математической модели были рассчитаны коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c и эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 по формулам 2.36, 2.37:

$$k_c = \frac{(6 \cdot 25880 - 320 \cdot 482)}{6 \cdot 19400 - 320^2} = 0,07$$

$$L_0 = \frac{482 - 0,07 \cdot 320}{6} = 76,4$$

Представим зависимость $L_A=f(U)$ в виде линейной зависимости $L_A=0,07U+76,4$, представлена на рисунке 15 Приложения Б.

Для оценки адекватности модели имеем следующие координаты:

| | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|
| \hat{y}_{xi} | 77,8 | 79,2 | 79,9 | 80,6 | 81,3 | 81,9 |
| y | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 82 |

$$\text{Тогда } \bar{y} = 80,3, \sum (y_i - \hat{y}_{xi})^2 = 0,82, \sum (y_i - \bar{y})^2 = 13,33.$$

Рассчитаем коэффициент детерминации R^2 по формуле 2.40:

$$R^2 = 1 - \frac{0,82}{13,33} = 0,94.$$

Правильность выбранной линейной модели, т.е. ее адекватность, проверяется при помощи F – критерия по формуле 2.39:

$$F_H = \frac{0,94 \cdot 4}{1 - 0,94} = 62,58.$$

В нашем случае $F_H=62,58$, $F_T = 7,71$ для $P=0,95$, $k_1=1$, $k_2=4$, т.е. $F_H > F_T$, значит имеется линейная зависимость [57].

Разница между эквивалентными уровнями звука на стоянке и при средней эксплуатационной скорости для эксплуатации рассчитывалась по формуле 2.34:

для тепловозов:

$$2ТЭ10У №0438 \Delta_v = 88 - 77 = 11 \text{дБ}$$

$$ТЭП70 №547 \Delta_v = 80 - 71 = 9 \text{дБ}$$

$$ТЭП70 №406 \Delta_v = 80 - 70 = 10 \text{дБ}$$

для электровозов:

$$ЧС8 №045 \Delta_v = 80 - 70 = 10 \text{дБ}$$

$$ЧС2К №690 \Delta_v = 79 - 70 = 9 \text{дБ}$$

$$ЧС7 №006 \Delta_v = 78 - 71 = 7 \text{дБ}$$

$$ЧС4Т №476 \Delta_v = 78 - 69 = 9 \text{дБ}$$

$$ЭП20 №031 \Delta_v = 70 - 60 = 10 \text{дБ}$$

$$ЭП10 №005 \Delta_v = 78 - 67 = 11 \text{дБ}$$

$$ЭП20 №049 \Delta_v = 72 - 59 = 13 \text{дБ}$$

$$ЭП10 №012 \Delta_v = 78 - 67 = 11 \text{дБ}$$

$$ВЛ11 №755-733 \Delta_v = 80 - 73 = 7 \text{дБ}$$

$$ВЛ11М №793 \Delta_v = 81 - 72 = 9 \text{дБ}$$

$$ВЛ11М №349 \Delta_v = 79 - 72 = 7 \text{дБ}$$

$$ВЛ10У №987 \Delta_v = 82 - 74 = 8 \text{дБ}$$

Процент от разницы между эквивалентными уровнями звука на стоянке и при средней эксплуатационной скорости для эксплуатации рассчитывался по формуле 2.35:

для тепловозов:

$$2ТЭ10У №0438 \%_v = \frac{11 \cdot 100\%}{77} = 14,3$$

$$ТЭП70 №547 \%_v = \frac{9 \cdot 100\%}{71} = 12,7$$

$$ТЭП70 №406 \%_v = \frac{10 \cdot 100\%}{70} = 14,3$$

для электровозов:

$$\text{ЧС8 №045 } \%_{\nu} = \frac{10 \cdot 100\%}{70} = 14,3$$

$$\text{ЧС2К №690 } \%_{\nu} = \frac{9 \cdot 100\%}{70} = 12,9$$

$$\text{ЧС7 №006 } \%_{\nu} = \frac{7 \cdot 100\%}{71} = 9,9$$

$$\text{ЧС4Т №476 } \%_{\nu} = \frac{9 \cdot 100\%}{69} = 13$$

$$\text{ЭП20 №031 } \%_{\nu} = \frac{10 \cdot 100\%}{60} = 16,7$$

$$\text{ЭП10 №005 } \%_{\nu} = \frac{11 \cdot 100\%}{67} = 16,4$$

$$\text{ЭП20 №049 } \%_{\nu} = \frac{13 \cdot 100\%}{59} = 22$$

$$\text{ЭП10 №012 } \%_{\nu} = \frac{11 \cdot 100\%}{67} = 16,4$$

$$\text{ВЛ11 №755-733 } \%_{\nu} = \frac{7 \cdot 100\%}{73} = 9,6$$

$$\text{ВЛ11М №793 } \%_{\nu} = \frac{9 \cdot 100\%}{72} = 12,5$$

$$\text{ВЛ11М №349 } \%_{\nu} = \frac{7 \cdot 100\%}{72} = 9,7$$

$$\text{ВЛ10У №987 } \%_{\nu} = \frac{8 \cdot 100\%}{74} = 10,8$$

Таблица 3.3 – Результаты расчета разницы эквивалентных уровней звука на стоянке и при средних скоростях движения локомотивов

| Тип подвижного состава | Серия, номер локомотива | Эквивалентный уровень звука, дБ, на стоянке и при средних скоростях движения локомотивов, км/ч | | | Разница эквивалентных уровней, дБ | % |
|------------------------|-------------------------|--|----|-----|-----------------------------------|------|
| | | 0 | 70 | 130 | | |
| Тепловоз | 2ТЭ10У№438 | 77 | 88 | - | 11 | 14,3 |
| | ТЭП70№547 | 71 | - | 80 | 9 | 12,7 |
| | ТЭП70№406 | 70 | - | 80 | 10 | 14,3 |
| Электровоз | ЧС8№045 | 70 | - | 80 | 10 | 14,3 |
| | ЧС2К№690 | 70 | - | 79 | 9 | 12,9 |
| | ЧС7 №006 | 71 | - | 78 | 7 | 9,9 |
| | ЧС4Т№476 | 69 | - | 78 | 9 | 13 |
| | ЭП20 №031 | 60 | - | 70 | 10 | 16,7 |
| | ЭП10 №005 | 67 | - | 78 | 11 | 16,4 |
| | ЭП20№049 | 59 | - | 72 | 13 | 22 |
| | ЭП10№012 | 67 | - | 78 | 11 | 16,4 |
| | ВЛ11№755 | 73 | 80 | - | 7 | 9,6 |
| | ВЛ11М№793 | 72 | 81 | - | 9 | 12,5 |
| | ВЛ11М№349 | 72 | 79 | - | 7 | 9,7 |
| | ВЛ10У№987 | 74 | 82 | - | 8 | 10,8 |

Из таблицы 3.3 видно, что разница эквивалентных уровней звука на стоянке и при средних скоростях движения составляет: от 7 до 13 дБ, что составляет от 9,6 до 22 %. Результаты проведенных измерений показали, что с увеличением скорости движения локомотива увеличиваются значения эквивалентных уровней звука.

Как видно из полученных результатов, коэффициент k_c для кабин локомотивов изменяется от 0,06 до 0,09. По формуле 2.38 вычисляем средний коэффициент k_c для кабин локомотивов:

$$k_{c_{cp}} = \frac{0,07+0,06+0,07+0,07+0,07+0,06+0,09+0,06+0,08+0,07+0,07+0,07+0,08+0,07+0,07}{15} = 0,07$$

Результаты расчета коэффициент k_c и среднего коэффициента k_c приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Значения изменения уровня звука от скорости движения

| Тип подвижного состава | Серия подвижного состава, номер | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Средний коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c |
|------------------------|---------------------------------|---|---|
| Тепловоз | 2ТЭ10У №438 | 0,07 | 0,07 |
| | ТЭП70 №547 | 0,06 | |
| | ТЭП70 №406 | 0,07 | |
| Электровоз | ЧС8 №045 | 0,07 | |
| | ЧС2К №690 | 0,07 | |
| | ЧС7 №006 | 0,06 | |
| | ЧС4Т №476 | 0,09 | |
| | ЭП20 №031 | 0,06 | |
| | ЭП10 №005 | 0,08 | |
| | ЭП20 №049 | 0,07 | |
| | ЭП10 №012 | 0,07 | |
| | ВЛ11 №755-733 | 0,07 | |
| | ВЛ11М №793 | 0,08 | |
| | ВЛ11М №349 | 0,07 | |
| ВЛ10У №987 | 0,07 | | |

3.3. Результаты экспериментального определения и оценки эквивалентного уровня звука с учетом дополнительных источников шума

Для определения вклада дополнительных источников шума в эквивалентный уровень звука в кабине локомотива были проведены измерения в кабинах тепловозов 2ТЭ10У и ТЭП70, электровозов ЧС4Т, ЧС2К, ЧС8 и ВЛ11 при средних эксплуатационных скоростях движения [33].

Электровоз ЧС4Т№476

Испытания проводились в кабине электровоза ЧС4Т №476 при скорости движения 130 км/ч и переговорах машиниста по рации, а также при скорости движения 130 км/ч и срабатывании ЭПК. Затем – при движении с открытыми окнами. Результаты испытания приведены в таблице 1 Приложения В. Вклад от переговоров по рации, срабатывании ЭПК и движения с открытыми окнами рассчитывались по формулам 2.10, 2.11, 2.12:

$$\Delta_{\text{рация}}=83-78=5 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{ЭПК}}=84-78=6 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{окно}}=82-78=4 \text{ дБ.}$$

Процент вклада переговоров по рации, срабатывании ЭПК и движения с открытыми окнами в общий эквивалентный уровень звука в кабине локомотива рассчитывался по формулам 2.14, 2.15, 2.16:

$$\%_{\text{рация}} = \frac{5 \cdot 100\%}{78} = 6,4$$

$$\%_{\text{ЭПК}} = \frac{6 \cdot 100\%}{78} = 7,7$$

$$\%_{\text{окно}} = \frac{4 \cdot 100\%}{78} = 5,1.$$

Электровоз ЧС2К №690

Испытания проводились в кабине электровоза ЧС2К №690 при скорости 130 км/ч. Далее испытания проводились при движении 130 км/ч и переговорах по рации. Затем – при движении и срабатывании ЭПК и открытых окнах. Результаты испытания приведены в таблице 2 Приложения В. Вклад от переговоров по рации, срабатывании ЭПК и движения с открытыми окнами рассчитывались по формулам 2.10, 2.11, 2.12:

$$\Delta_{\text{рация}}=82-79=3 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{ЭПК}}=83-79=4 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{окно}}=83-79=4 \text{ дБ.}$$

Процент вклада эквивалентного уровня звука от переговоров по рации, срабатывании ЭПК и открытых окон рассчитывался по формулам 2.14, 2.15, 2.16:

$$\%_{ра́ция} = \frac{3 \cdot 100\%}{79} = 3,8$$

$$\%_{ЭПК} = \frac{4 \cdot 100\%}{79} = 5,1$$

$$\%_{окно} = \frac{4 \cdot 100\%}{79} = 5,1.$$

Электровоз ЧС8 №045

Испытания проводились в кабине электровоза ЧС8 №045 при скорости 130 км/ч. Далее испытания проводились при движении 130 км/ч и переговорах по радиии. Затем – при движении и срабатывании ЭПК и при открытых окнах. Результаты испытания приведены в таблице 3 Приложения В. Вклад от переговоров по радиии, срабатывании ЭПК, открытых окнах рассчитывался по формулам 2.10, 2.11, 2.12:

$$\Delta_{ра́ция} = 83 - 80 = 3 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{ЭПК} = 84 - 80 = 4 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{окно} = 84 - 80 = 4 \text{ дБ}.$$

Процент от вклада от переговоров по радиии, срабатывании ЭПК и открытых окнах рассчитывался по формулам 2.14, 2.15, 2.16:

$$\%_{ра́ция} = \frac{3 \cdot 100\%}{80} = 3,8$$

$$\%_{ЭПК} = \frac{4 \cdot 100\%}{80} = 5$$

$$\%_{окно} = \frac{4 \cdot 100\%}{80} = 5.$$

Электровоз ЧС7 №006

Испытания проводились в кабине электровоза ЧС7 №006 при скорости 130 км/ч. Далее испытания проводились при движении 130 км/ч и переговорах по радиии. Затем – при движении и срабатывании ЭПК и при открытых окнах. Результаты испытания приведены в таблице 4 Приложения В. Вклад от переговоров по радиии, срабатывании ЭПК, открытых окнах рассчитывался по формулам 2.10, 2.11, 2.12:

$$\Delta_{\text{рация}}=82-78=4 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{ЭПК}}=84-78=6 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{окно}}=83-78=5 \text{ дБ.}$$

Процент от вклада от переговоров по радиии, срабатывании ЭПК и открытых окнах рассчитывался по формулам 2.14, 2.15, 2.16:

$$\%_{\text{рация}} = \frac{4 \cdot 100\%}{78} = 5,1$$

$$\%_{\text{ЭПК}} = \frac{6 \cdot 100\%}{78} = 7,7$$

$$\%_{\text{окно}} = \frac{5 \cdot 100\%}{78} = 6,4.$$

Электровоз ВЛ11№755-733

Испытания проводились в кабине электровоза ВЛ11 №755-733 при скорости 70 км/ч. Далее испытания проводились при движении 70 км/ч и переговорах по радиии. Затем – при движении и срабатывании ЭПК и при открытых окнах. Результаты испытания приведены в таблице 5 Приложения В. Вклад от переговоров по радиии, срабатывании ЭПК, открытых окнах рассчитывался по формулам 2.10, 2.11, 2.12:

$$\Delta_{\text{рация}}=84-80=4 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{ЭПК}}=86-80=6 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{окно}}=84-80=4 \text{ дБ.}$$

Процент от вклада от переговоров по радиии, срабатывании ЭПК и открытых окнах рассчитывался по формулам 2.14, 2.15, 2.16:

$$\%_{\text{рация}} = \frac{4 \cdot 100\%}{80} = 5$$

$$\%_{\text{ЭПК}} = \frac{6 \cdot 100\%}{80} = 7,5$$

$$\%_{\text{окно}} = \frac{4 \cdot 100\%}{80} = 5.$$

Тепловоз ТЭП70 №406

Испытания проводились в кабине тепловоза ТЭП70 №406 при скорости 130 км/ч. Далее испытания проводились при движении 130 км/ч и переговорах по радиии. Затем – при движении и срабатывании ЭПК и при открытых окнах. Результаты испытания приведены в таблице 6 Приложения В. Вклад от переговоров по радиии, срабатывании ЭПК, открытых окнах рассчитывался по формулам 2.10, 2.11, 2.12:

$$\Delta_{\text{рациия}}=85-80=5 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{ЭПК}}=87-80=7 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{окно}}=84-80=4 \text{ дБ.}$$

Процент от вклада от переговоров по радиии, срабатывании ЭПК и открытых окнах рассчитывался по формулам 2.14, 2.15, 2.16:

$$\%_{\text{рациия}} = \frac{5 \cdot 100\%}{80} = 6,3$$

$$\%_{\text{ЭПК}} = \frac{7 \cdot 100\%}{80} = 8,8$$

$$\%_{\text{окно}} = \frac{4 \cdot 100\%}{80} = 5.$$

Тепловоз ТЭП70 №547

Испытания проводились в кабине тепловоза ТЭП70 №547 при скорости 130 км/ч. Далее испытания проводились при движении 130 км/ч и переговорах по радиии. Затем – при движении и срабатывании ЭПК и при открытых окнах. Результаты испытания приведены в таблице 7 Приложения В. Вклад от переговоров по радиии, срабатывании ЭПК, открытых окнах рассчитывался по формулам 2.10, 2.11, 2.12:

$$\Delta_{\text{рациия}}=85-80=5 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{ЭПК}}=87-80=7 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{окно}}=85-80=5 \text{ дБ.}$$

Процент от вклада от переговоров по рации, срабатывании ЭПК и открытых окнах рассчитывался по формулам 2.14, 2.15, 2.16:

$$\%_{\text{рация}} = \frac{5 \cdot 100\%}{80} = 6,3$$

$$\%_{\text{ЭПК}} = \frac{7 \cdot 100\%}{80} = 8,8$$

$$\%_{\text{окно}} = \frac{5 \cdot 100\%}{80} = 6,3.$$

Тепловоз 2ТЭ10У №438

Испытания проводились в кабине тепловоза 2ТЭ10У №438 при скорости 70 км/ч. Далее испытания проводились при движении 70 км/ч и переговорах по рации. Затем – при движении и срабатывании ЭПК и при открытых окнах. Результаты испытания приведены в таблице 8 Приложения В. Вклад от переговоров по рации, срабатывании ЭПК, открытых окнах рассчитывался по формулам 2.10, 2.11, 2.12:

$$\Delta_{\text{рация}} = 92 - 88 = 4 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{ЭПК}} = 95 - 88 = 7 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{окно}} = 92 - 88 = 4 \text{ дБ}.$$

Процент от вклада от переговоров по рации, срабатывании ЭПК и открытых окнах рассчитывался по формулам 2.14, 2.15, 2.16:

$$\%_{\text{рация}} = \frac{4 \cdot 100\%}{88} = 4,5$$

$$\%_{\text{ЭПК}} = \frac{7 \cdot 100\%}{88} = 7,9$$

$$\%_{\text{окно}} = \frac{4 \cdot 100\%}{88} = 4,5$$

Тепловоз ЧМЭЗТ №5070

Испытания проводились в кабине тепловоза ЧМЭЗТ №5070 при скорости 10 км/ч. Далее испытания проводились при движении 10 км/ч и переговорах по рации. Затем – при движении и срабатывании ЭПК и при открытых окнах. Результаты испытания приведены в таблице 9 Приложения В. Вклад от

переговоров по рации, срабатывании ЭПК, открытых окнах рассчитывался по формулам 2.10, 2.11, 2.12:

$$\Delta_{\text{рация}}=83-79=4 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{ЭПК}}=85-79=6 \text{ дБ}$$

$$\Delta_{\text{окно}}=84-79=5 \text{ дБ.}$$

Процент от вклада от переговоров по рации, срабатывании ЭПК и открытых окнах рассчитывался по формулам 2.14, 2.15, 2.16:

$$\%_{\text{рация}} = \frac{4 \cdot 100\%}{79} = 5,1$$

$$\%_{\text{ЭПК}} = \frac{6 \cdot 100\%}{79} = 7,6$$

$$\%_{\text{окно}} = \frac{5 \cdot 100\%}{79} = 6,3.$$

Таблица 3.5 – Результаты измерений эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов с учетом вклада дополнительных источников уровней звука в общее шумовое воздействие

| Локомотив | $U_{\text{ср}}$, км/ч | L_A , дБ | $L_A(\text{рация})$, дБ | $\Delta_{\text{рация}}$, дБ | $\%_{\text{рация}}$ | $L_{A(\text{ЭПК})}$, дБ | $\Delta_{\text{ЭПК}}$, дБ | $\%_{\text{ЭПК}}$ | $L_{A(\text{окно})}$, дБ | $\Delta_{\text{окно}}$, дБ | $\%_{\text{окно}}$ |
|-----------------------------------|------------------------|------------|--------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Пассажирский электровоз ЧС4Т №476 | 130 | 78 | 83 | 5 | 6,4 | 84 | 6 | 7,7 | 82 | 4 | 5,1 |
| Пассажирский электровоз ЧС2К №690 | 130 | 79 | 82 | 3 | 3,8 | 83 | 4 | 5,1 | 83 | 4 | 5,1 |
| Пассажирский электровоз ЧС8 №045 | 130 | 80 | 83 | 3 | 3,8 | 84 | 4 | 5 | 84 | 4 | 5 |
| Пассажирский тепловоз ЧС7 №006 | 130 | 78 | 82 | 4 | 5,1 | 84 | 6 | 7,7 | 83 | 5 | 6,4 |
| Грузовой электровоз ВЛ11 №755 | 70 | 80 | 84 | 4 | 5 | 86 | 6 | 7,5 | 84 | 4 | 5 |
| Пассажирский тепловоз ТЭП70 №406 | 130 | 80 | 85 | 5 | 6,3 | 87 | 7 | 8,8 | 84 | 4 | 5 |
| Пассажирский тепловоз ТЭП70 №547 | 130 | 80 | 85 | 5 | 6,3 | 87 | 7 | 8,8 | 85 | 5 | 6,3 |
| Грузовой тепловоз 2ТЭ10У №438 | 70 | 88 | 92 | 4 | 4,5 | 95 | 7 | 7,9 | 92 | 4 | 4,5 |
| Маневровый тепловоз ЧМЭЗТ №5070 | 10 | 79 | 83 | 4 | 5,1 | 85 | 6 | 7,6 | 84 | 5 | 6,3 |

Из таблицы 3.5 видно, что вклад дополнительных источников шума в кабинах локомотивов, выраженный в добавке к эквивалентному уровню звука, полученному без учета дополнительных источников, составил: от рации – от 3 до 5 дБ, что составляет от 3,8 до 6,4 %, от ЭПК – от 4 до 7 дБ, что составляет от 5 до 8,8 %, от открытых окон – от 4 до 5 дБ, что составляет от 4,5 до 6,4 %.

Необходимо произвести расчет коэффициентов, учитывающих воздействие переговоров по рации, срабатывание ЭПК и движения с открытыми окнами на локомотивную бригаду во время движения. Для каждого локомотива рассчитываем k_p , $k_{\text{э}}$, k_o по формулам 2.18, 2.20, 2.22:

$$k_p = \frac{83}{78} = 1,06 \quad \text{для электровоза ЧС4Т №476;}$$

- $\kappa_p = \frac{82}{79} = 1,04$ для электровоза ЧС2К №690;
- $\kappa_p = \frac{83}{80} = 1,04$ для электровоза ЧС8 №045;
- $\kappa_p = \frac{82}{78} = 1,05$ для электровоза ЧС7 №006;
- $\kappa_p = \frac{84}{80} = 1,05$ для электровоза ВЛ11 №755;
- $\kappa_p = \frac{85}{80} = 1,06$ для тепловоза ТЭП70 №406;
- $\kappa_p = \frac{85}{80} = 1,06$ для тепловоза ТЭП70 №547;
- $\kappa_p = \frac{92}{88} = 1,05$ для тепловоза 2ТЭ10У №438;
- $\kappa_p = \frac{83}{79} = 1,05$ для тепловоза ЧМЭ3Т №5070;
- $\kappa_s = \frac{84}{78} = 1,08$ для электровоза ЧС4Т №476;
- $\kappa_s = \frac{83}{79} = 1,05$ для электровоза ЧС2К №690;
- $\kappa_s = \frac{84}{80} = 1,05$ для электровоза ЧС8 №045;
- $\kappa_s = \frac{84}{78} = 1,08$ для электровоза ЧС7 №006;
- $\kappa_s = \frac{86}{80} = 1,08$ для электровоза ВЛ11 №755;
- $\kappa_s = \frac{87}{80} = 1,09$ для тепловоза ТЭП70 №406;
- $\kappa_s = \frac{87}{80} = 1,09$ для тепловоза ТЭП70 №547;
- $\kappa_s = \frac{95}{88} = 1,08$ для тепловоза 2ТЭ10У №438;
- $\kappa_s = \frac{85}{79} = 1,08$ для тепловоза ЧМЭ3Т №5070;
- $\kappa_o = \frac{82}{78} = 1,05$ для электровоза ЧС4Т №476;
- $\kappa_o = \frac{83}{79} = 1,05$ для электровоза ЧС2К №690;
- $\kappa_o = \frac{84}{80} = 1,05$ для электровоза ЧС8 №045;

$$\kappa_o = \frac{83}{78} = 1,06 \quad \text{для электровоза ЧС7 №006};$$

$$\kappa_o = \frac{84}{80} = 1,05 \quad \text{для электровоза ВЛ11 №755};$$

$$\kappa_o = \frac{84}{80} = 1,05 \quad \text{для тепловоза ТЭП70 №406};$$

$$\kappa_o = \frac{85}{80} = 1,06 \quad \text{для тепловоза ТЭП70 №547};$$

$$\kappa_o = \frac{92}{88} = 1,05 \quad \text{для тепловоза 2ТЭ10У №438};$$

$$\kappa_o = \frac{84}{79} = 1,06 \quad \text{для тепловоза ЧМЭ3Т №5070};$$

Средние значения k_p , k_s , k_o рассчитываем по формулам 2.19, 2.21, 2.23:

$$k_{p_{cp}} = \frac{1,06 + 1,04 + 1,04 + 1,05 + 1,06 + 1,06 + 1,05 + 1,05 + 1,05}{9} = 1,05$$

$$k_{s_{cp}} = \frac{1,08 + 1,05 + 1,05 + 1,08 + 1,09 + 1,09 + 1,08 + 1,08 + 1,08}{9} = 1,07$$

$$k_{o_{cp}} = \frac{1,05 + 1,05 + 1,05 + 1,06 + 1,05 + 1,06 + 1,05 + 1,05 + 1,06}{9} = 1,05$$

Результаты расчетов представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6- Коэффициенты для учета дополнительных источников уровня звука в кабинах машинистов локомотивов

| Локомотив | $U_{\text{ср}}$, км/ч | L_A , дБ | $L_{A(\text{рация})}$, дБ | k_p , дБ | $k_{p(\text{ср})}$, дБ | $L_{A(\text{ЭПК})}$, дБ | $k_{\text{э}}$, дБ | $k_{\text{э}(\text{ср})}$, дБ | $L_{A(\text{окно})}$, дБ | k_o , дБ | $k_{o(\text{ср})}$, дБ |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------|----------------------------|
| Пассажирский электровоз ЧС4Т №476 | 130 | 78 | 83 | 1,06 | 1,05 | 84 | 1,08 | 1,07 | 82 | 1,05 | 1,05 |
| Пассажирский электровоз ЧС2К №690 | 130 | 79 | 82 | 1,04 | | 83 | 1,05 | | 83 | 1,05 | |
| Пассажирский электровоз ЧС8 №045 | 130 | 80 | 83 | 1,04 | | 84 | 1,05 | | 84 | 1,05 | |
| Пассажирский тепловоз ЧС7 №006 | 130 | 78 | 82 | 1,05 | | 84 | 1,08 | | 83 | 1,06 | |
| Грузовой электровоз ВЛ11 №755 | 70 | 80 | 84 | 1,05 | | 86 | 1,08 | | 84 | 1,05 | |
| Пассажирский тепловоз ТЭП70 №406 | 130 | 80 | 85 | 1,06 | | 87 | 1,09 | | 84 | 1,05 | |
| Пассажирский тепловоз ТЭП70 №547 | 130 | 80 | 85 | 1,06 | | 87 | 1,09 | | 85 | 1,06 | |
| Грузовой тепловоз 2ТЭ10У №438 | 70 | 88 | 92 | 1,05 | | 95 | 1,08 | | 92 | 1,05 | |
| Маневровый тепловоз ЧМЭЗТ №5070 | 10 | 79 | 83 | 1,05 | | 85 | 1,08 | | 84 | 1,06 | |

Результаты проведенных измерений показали, что наибольшее влияние на локомотивную бригаду по данному исследованию оказывает срабатывание ЭПК.

Выводы по главе 3

Установлено, что коэффициенты пересчета уровня звука k_y для кабин локомотивов различных типов и видов движения подвижного состава имеют следующие значения: электровозы пассажирского движения – 1,02; электровозы грузового движения – 1,06; рельсовые автобусы – 1,07; тепловозы маневрового движения – 1,12; тепловозы грузового движения – 1,13; электропоезда – 1,14. Результаты проведенных измерений показали, что для целей сертификационных испытаний следует ориентироваться на более жесткие предельно-допустимые уровни звука, а именно: для электровозов – 75 дБ, для тепловозов – 71 дБ, для электропоездов – 70 дБ, для рельсовых автобусов – 75 дБ. Рассчитан средний коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука от скорости движения для всех типов подвижного состава $k_c = 0,07$. Рассчитаны средние коэффициенты воздействия переговоров по рации $k_{p\ cp} = 1,05$, срабатывание ЭПК $k_{э\ cp} = 1,07$ и движения с открытыми окнами $k_{o\ cp} = 1,05$. Результаты проведенных измерений показали, что наибольшее влияние на локомотивную бригаду по данному исследованию оказывает срабатывание ЭПК.

Глава 4 Методика определения эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов для условий эксплуатации

4.1. Методика определения эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов в зависимости от скорости движения

4.1.1. Проведение испытаний

4.1.1.1. Требования к объекту испытаний

Окна и двери кабины локомотива должны быть закрыты. В ограждающих конструкциях кабины локомотива должны отсутствовать щели и неплотности.

4.1.1.2. Условия испытаний

В кабине локомотива должно находиться не более 4-х человек. Испытания проводятся в условиях стоянки. Во время проведения испытаний должны отсутствовать внешние источники шума. Измерения должны проводиться в отсутствие дождя и сильного ветра.

4.1.1.3. Измеряемые показатели

В процессе испытаний измеряется эквивалентный уровень звука.

4.1.1.4. Измерительная аппаратура

Измерения эквивалентного уровня звука выполняют с помощью интегрирующих-усредняющих шумомеров.

Шумомер вместе с микрофоном и соединительными кабелями должен удовлетворять требованиям к средствам измерений класса 1 или 2 по МЭК 61672-1. Шумомеры класса 1 предпочтительны.

4.1.2. Методы испытаний

Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке $L_{от,n}$ измеряется на основании ГОСТ Р ИСО 9612-2013 по второй стратегии. Вторая стратегия измерения шума основывается на выборочных измерениях, которые проводят в процессе выполнения данной рабочей функции. К рабочей функции машиниста локомотива на стоянке относится управление агрегатами локомотива на холостом ходу. Для данной рабочей функции измерения уровней звука в

кабине локомотива проводятся 5 раз подряд последовательно, при этом продолжительность каждого измерения составляет не менее 5 минут.

Измерения проводят в одной точке на рабочем месте машиниста локомотива. В соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при проведении измерений микрофон шумомера располагается на расстоянии от 0,1 до 0,4 м от входного отверстия наружного слухового прохода со стороны уха, где шум максимален.

4.2. Определение эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов в зависимости от скорости движения

4.2.1. Определение эквивалентного уровня звука в кабине локомотива на стоянке

Для определения эквивалентного уровня звука в кабине локомотива на стоянке рассчитывается эквивалентный уровень звука L_{0,T_e} , дБ, с учетом эффективной длительности рабочего дня T_e по формуле:

$$L_{0,T_e} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 \cdot L_{0T,n}} \right), \quad (4.1)$$

где $L_{0T,n}$ – эквивалентный уровень звука на стоянке n -го выборочного измерения длительностью 5 минут;

n – номер выборочного измерения (от 1 до 5);

N – число выборочных измерений ($N=5$).

Далее рассчитывается эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день $L_{0,8h}$, дБ, по формуле:

$$L_{0,8h} = L_{0,T_e} + 10 \lg \left(\frac{T_e}{T_0} \right), \quad (4.2)$$

где L_{0,T_e} – эквивалентный уровень звука L_{0,T_e} , дБ, для эффективной длительности рабочего дня;

T_e – эффективная длительность рабочего дня, равная 12 ч;

T_0 – базовая длительность рабочего дня, равная 8 ч.

Для расчета погрешности определения $L_{0,8h}$ в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9612-2013 применяется следующая формула:

$$u^2(L_{0,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2), \quad (4.3)$$

где $u^2(L_{0,8h})$ - суммарная стандартная неопределенность;

$c_1 u_1$ - вклад в суммарную стандартную неопределенность u фактора, определяется по таблице С4 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 после расчета u_1 по формуле 4.4;

u_2 - инструментальная неопределенность (для шумомера 1 класса $u_2=0,7$, для шумомера 2 класса $u_2=1,5$);

u_3 - стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона ($u_3=1$);

c_2 - коэффициент чувствительности, определяющий влияние на неопределенность измерения средства измерения ($c_2=1$).

Стандартная неопределенность u_1 рассчитывается по формуле:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[\sum_{n=1}^N (L_{0,T,n} - \bar{L}_{0,T})^2 \right]}, \quad (4.4)$$

где $L_{0,T,n}$ - эквивалентный уровень звукового давления для n -го выборочного измерения при выполнении заданной трудовой функции;

$\bar{L}_{0,T}$ - среднее арифметическое по результатам N измерений эквивалентного уровня звука, т.е. $\bar{L}_{0,T} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N L_{0,T,n}$; (4.5)

n - номер выборочного измерения при выполнении заданной функции;

N - число выборочных измерений при выполнении заданной функции.

4.3. Расчет эквивалентного уровня звука в кабине локомотива в зависимости от скорости движения

Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива в зависимости от скорости движения определяется по формуле:

$$L_A = k_c v + L_{0,8h} \pm u^2(L_{0,8h}), \quad (4.6)$$

где L_A - эквивалентный уровень звука в кабине локомотива для расчетной скорости движения, дБ;

k_c - коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине локомотива от скорости движения;

v – расчетная скорость движения локомотива, км/ч.

Коэффициент k_c для кабин всех типов локомотивов равен 0,07.

Результаты измерений и расчета эквивалентного уровня звука в кабине локомотива на стоянке и при заданной скорости движения заносятся в протокол (Приложение 1 к настоящей методике).

4.2. Методика определения эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов за 8-ми часовой рабочий день

Эквивалентный уровень звука за 8-ми часовой рабочий день определяется по формуле:

$$\bar{L} = 10 \lg \frac{T_e}{8} \left(10^{0,1 \cdot L_{серт} \cdot k_y} \right), \quad (4.7)$$

где $L_{серт}$ – эквивалентный уровень звука в кабине локомотива, полученный по результатам сертификационных испытаний, дБ;

k_y - коэффициент превышения по шуму, дБ;

T_e – эффективная длительность рабочего дня, равная 12 ч.

Коэффициент превышения по шуму k_y для кабин электровозов пассажирского движения равен 1,02, для кабин электровозов грузового движения – 1,06, для кабин тепловозов маневрового движения – 1,12, для кабин тепловозов грузового движения – 1,13.

Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива $L_{серт}$ для каждого типа локомотива и вида движения принимается по результатам сертификационных испытаний, проведенных в соответствии с требованиями ГОСТ 33463.2-2015.

4.3. Методика определения эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов с учетом дополнительных источников шума

Эквивалентный уровень звука за 8-ми часовой рабочий день с учетом дополнительных источников шума определяется по формуле:

$$\bar{L} = 10 \lg \frac{T_e}{8} \left(\frac{1}{4} (10^{0,1 \cdot L_{серт} \cdot k_y} + 10^{0,1 \cdot L_{серт} \cdot k_p} + 10^{0,1 \cdot L_{серт} \cdot k_э} + 10^{0,1 \cdot L_{серт} \cdot k_o}) \right), \quad (4.8)$$

где $L_{серт}$ – эквивалентный уровень звука в кабине локомотива и моторвагонного подвижного состава, полученный по результатам сертификационных испытаний, дБ;

k_y - коэффициент превышения по шуму, дБ;

k_p - коэффициент воздействия эквивалентного уровня звука от переговоров по радиации, дБ;

$k_э$ - коэффициент воздействия эквивалентного уровня звука от срабатывания ЭПК, дБ;

k_o - коэффициент воздействия эквивалентного уровня звука от открытых окон, дБ;

T_e – эффективная длительность рабочего дня.

Коэффициент превышения по шуму k_y для кабин электровозов пассажирского движения равен 1,02, для кабин электровозов грузового движения – 1,06, для кабин рельсовых автобусов – 1,07, для кабин тепловозов маневрового движения – 1,12, для кабин тепловозов грузового движения – 1,13. Для кабин локомотивов коэффициенты воздействия эквивалентного уровня звука: от переговоров по радиации k_p – 1,05, от срабатывания ЭПК $k_э$ – 1,07, от открытых окон k_o – 1,05.

Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива $L_{серт}$ для каждого типа локомотива и вида движения принимается по результатам сертификационных испытаний, проведенных в соответствии с требованиями ГОСТ 33463.2-2015.

4.4. Результаты определения и оценки эквивалентного уровня звука для условий эксплуатации

4.4.1. Результаты определения и оценки эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов в зависимости от скорости движения

Рассмотрим пример определения и оценки эквивалентного уровня звука в зависимости от скорости движения для кабин электровозов ЭП20 №014, ВЛ11М №320 и тепловоза ЧМЭЗ №4424.

Измерения эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов при СОУТ проводились по ГОСТ Р ИСО 9612-2013 по второй стратегии с учетом особенностей эксплуатации. Вторая стратегия измерения шума основывается на выборочных измерениях, которые проводят в процессе выполнения данной рабочей функции. К рабочей функции машиниста относится управление локомотивом. При проведении измерений уровней звука в кабинах локомотивов по второй стратегии выбирались пять периодов времени, наиболее полно характеризующих рабочую функцию машиниста, протяженностью по 15 минут каждый.

Результаты измерений уровней звука в кабинах электровозов и тепловоза, полученные по ГОСТ Р ИСО 9612-2013, приведены в таблицах 4.1, 4.2, 4.3 и 4.4 соответственно.

Таблица 4.1 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов на стоянке, полученные по ГОСТ Р ИСО 9612-2013

| Серия электровоза | Дата проведения измерения | Место проведения измерения | Время проведения измерения, ч | Эквивалентный уровень звука, дБ |
|-------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| ЭП20 | 21.10.2015 | Москва-Владимир | 1 час 40 мин. | 62 |
| | | | | 62 |
| | | | | 63 |
| | | | | 63 |
| | | | | 61 |
| ВЛ10У | 18.08.2015 | Москва-Рязань | 2 часа 30 мин. | 73 |
| | | | | 74 |
| | | | | 74 |
| | | | | 75 |
| | | | | 75 |
| ЧМЭЗ | 08.09.2015 | Пути при депо Вязьма-Сортировочная | 1 час 20 мин. | 69 |
| | | | | 68 |
| | | | | 70 |
| | | | | 69 |
| | | | | 70 |

На основании проведенных измерений для каждого типа локомотива были рассчитаны эквивалентные уровни звука на стоянке и неопределенности измерения следующим образом.

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста на стоянке электровоза ЭП20 в формулу 4.1, получим:

$$L_{0,Te} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 62} + 10^{0,1 \cdot 62} + 10^{0,1 \cdot 63} + 10^{0,1 \cdot 63} + 10^{0,1 \cdot 61} \right) = 62,3 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 4.1 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 4.2, получим значение эквивалентного уровня звука на стоянке в кабине машиниста электровоза ЭП20:

$$L_{0,8h} = 62,3 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 63,3 \text{ дБ.}$$

Далее необходимо определить степень точности проведенных измерений.

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{0,T} = \frac{1}{5} \cdot (62 + 62 + 63 + 63 + 61) = 62,2 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста на стоянке электровоза ЭП20 и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 4.5, в формулу 4.4, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(62 - 62,2)^2 + (62 - 62,2)^2 + (63 - 62,2)^2 + (63 - 62,2)^2 + (61 - 62,2)^2 \right]} = 0,84$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равное 0,84 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $c_1 u_1$ равно 0,5.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 4.3, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,5^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,74 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,3 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста на стоянке электровоза ВЛ10У в формулу 4.1, получим:

$$L_{0,Te} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,173} + 10^{0,174} + 10^{0,174} + 10^{0,175} + 10^{0,175} \right) = 74,3 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 4.1 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 4.2, получим значение эквивалентного уровня звука на стоянке в кабине машиниста электровоза ВЛ10У:

$$L_{0,8h} = 74,3 + 10 \lg \left(\frac{10}{8} \right) = 75,3 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{0,T} = \frac{1}{5} \cdot (73 + 74 + 74 + 75 + 75) = 74,2 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста на стоянке электровоза ВЛ10У и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 4.5, в формулу 4.4, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(73 - 74,2)^2 + (74 - 74,2)^2 + (74 - 74,2)^2 + (75 - 74,2)^2 + (75 - 74,2)^2 \right]} = 0,84$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равное 0,84 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $c_1 u_1$ равно 0,5.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 4.3, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,5^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,74 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,3 \text{ дБ.}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста на стоянке тепловоза ЧМЭЗ в формулу 4.1, получим:

$$L_{0,Te} = 10 \lg \left(\frac{1}{5} \sum_5 10^{0,1 \cdot 69} + 10^{0,1 \cdot 68} + 10^{0,1 \cdot 70} + 10^{0,1 \cdot 69} + 10^{0,1 \cdot 70} \right) = 69,3 \text{ дБ.}$$

Подставляя полученный по формуле 4.1 эквивалентный уровень звука для эффективной длительности рабочего дня в формулу 4.2, получим значение эквивалентного уровня звука на стоянке в кабине машиниста тепловоза ЧМЭЗ:

$$L_{0,8h} = 69,3 + 10 \lg \left(\frac{12}{8} \right) = 71 \text{ дБ.}$$

Среднее арифметическое по результатам пяти измерений равно:

$$\bar{L}_{0,T} = \frac{1}{5} \cdot (69 + 68 + 70 + 69 + 70) = 69,2 \text{ дБ}$$

Подставляя фактически полученные уровни звука в кабине машиниста на стоянке тепловоза ЧМЭЗ и среднее арифметическое по результатам пяти измерений, рассчитанное по формуле 4.5, в формулу 4.4, получим:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{5-1} \left[(69 - 69,2)^2 + (68 - 69,2)^2 + (70 - 69,2)^2 + (69 - 69,2)^2 + (70 - 69,2)^2 \right]} = 0,84$$

По таблице С.4 приложения С.3.3 ГОСТ Р ИСО 9612-2013, при значении стандартной неопределенности u_1 равно 0,84 и количеству измерений равной пяти, значение вклада в суммарную стандартную неопределенность, определяемое по выборке объема измерений $c_1 u_1$ равно 0,5.

По таблице С.5 приложения С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 при использовании шумомера класса 1 инструментальная неопределенность u_2 равна 0,7.

По приложению С.5 ГОСТ Р ИСО 9612-2013 стандартная неопределенность, обусловленная выбором места установки микрофона u_3 равна 1.

Подставляя все полученные значения в формулу 4.3, получим:

$$u^2(L_{EX,8h}) = 0,5^2 + 1^2(0,7^2 + 1^2) = 1,74 \text{ дБ}^2$$

$$u(L_{EX,8h}) = 1,3 \text{ дБ.}$$

Таблица 4.2 - Результаты расчетов эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов на стоянке, полученные по ГОСТ Р ИСО 9612-2013

| Серия электровоза | Неопределенность измерения, дБ | Эквивалентный уровень звука за 8ч., дБ |
|-------------------|--------------------------------|--|
| ЭП20 | 1,3 | 63,3 |
| ВЛ10У | 1,3 | 75,3 |
| ЧМЭЗ | 1,3 | 71 |

Руководствуясь методикой, изложенной в пункте 4.1, рассчитаем L_A по формуле 4.6:

для кабины ЭП20 №014 для скоростей движения 100, 120 и 140 км/ч:

$$L_A = 0,07 \cdot 100 + 63,3 = 70,3 \text{ дБ}$$

$$L_A = 0,07 \cdot 120 + 63,3 = 71,7 \text{ дБ}$$

$$L_A = 0,07 \cdot 140 + 63,3 = 73,1 \text{ дБ}$$

для кабины ВЛ10У №919 для скоростей движения 60, 70 и 80 км/ч:

$$L_A = 0,07 \cdot 60 + 75,3 = 79,5 \text{ дБ}$$

$$L_A = 0,07 \cdot 70 + 75,3 = 80,2 \text{ дБ}$$

$$L_A = 0,07 \cdot 80 + 75,3 = 80,9 \text{ дБ}$$

для кабины ЧМЭЗ №4424 для скоростей движения 5, 10 и 15 км/ч:

$$L_A = 0,07 \cdot 5 + 71 = 71,4 \text{ дБ}$$

$$L_A = 0,07 \cdot 10 + 71 = 71,7 \text{ дБ}$$

$$L_A = 0,07 \cdot 15 + 71 = 72,1 \text{ дБ.}$$

Для оценки сходимости результатов эквивалентных уровней звука для различных скоростей движения, полученных расчетным путем и в результате экспериментальных исследований, проведем анализ полученных данных в табличном виде. Результаты анализа приведены в таблицах 4.3, 4.4, 4.5.

Таблица 4.3 - Результаты расчета эквивалентных уровней звука в кабине электровоза ЭП20 №049

| Скорость движения подвижного состава, v , км/ч | Эквивалентный уровень звука, полученный расчетным путем, L_A , дБ | Эквивалентный уровень звука, полученный в результате экспериментальных исследований, L_A , дБ |
|--|---|---|
| 100 | 70,3 | 69±1,3 |
| 120 | 71,7 | 70±1,3 |
| 140 | 73,1 | 73±1,3 |

Таблица 4.4 - Результаты расчета эквивалентных уровней звука в кабине электровоза ВЛ10У №919

| Скорость движения подвижного состава, v , км/ч | Эквивалентный уровень звука, полученный расчетным путем, L_A , дБ | Эквивалентный уровень звука, полученный в результате экспериментальных исследований, L_A , дБ |
|--|---|---|
| 60 | 79,5 | 81±1,3 |
| 70 | 80,2 | 81,6±1,3 |
| 80 | 80,9 | 82±1,3 |

Таблица 4.5 - Результаты расчета эквивалентных уровней звука в кабине тепловоза ЧМЭЗ №4424

| Скорость движения подвижного состава, v , км/ч | Эквивалентный уровень звука, полученный расчетным путем, L_A , дБ | Эквивалентный уровень звука, полученный в результате экспериментальных исследований, L_A , дБ |
|--|---|---|
| 5 | 71,4 | 72±1,3 |
| 10 | 71,7 | 73±1,3 |
| 15 | 72,1 | 73±1,3 |

Из таблиц 4.3, 4.4, 4.5 видно, что расчетные значения эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов с вероятностью 0,95 приближаются к экспериментальным данным, что доказывает правомочность применения на практике разработанной методики.

Данная методика может быть использована при проведении периодических и приемо-сдаточных испытаний локомотивов. При проведении данного рода

испытаний на заводских или станционных путях зачастую не удается обеспечить заданные скорости движения локомотивов, что не позволяет получить достоверные результаты шумовой нагрузки в кабинах локомотивов.

4.4.2. Результаты определения и оценки эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов и моторвагонного подвижного состава за 8-часовой рабочий день

Рассмотрим пример определения и оценки эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день для кабин тепловоза ЧМЭЗ, электропоезда ЭД4М и электровозов ВЛ11 и ЧС2К.

Измерения уровня звука в кабинах локомотивов и моторвагонного подвижного состава для целей сертификации были проведены по ГОСТ 33463.2-2015 и взяты по данным научных трудов ВНИИЖГ Роспотребнадзора. Испытания проводились при движении локомотивов и моторвагонного подвижного состава со скоростью $2/3$ конструкционной ± 5 км/ч и мощности локомотива равной $2/3$ номинальной $\pm 10\%$. Участок пути при проведении испытаний был бесстыковым, кривые - не менее 1000 м, без стрелочных переводов, подъемов и уклонов больше 5 ‰. Участок пути не проходил по мостам и в тоннелях, ближе 50 м от строений, через лес. При этом окна и двери кабины подвижного состава были закрыты, система обеспечения микроклимата работала в штатном режиме.

Результаты измерений уровней звука в кабинах тепловоза, электропоезда и электровозов, полученные по ГОСТ 33463.2-2015 по данным научных трудов ВНИИЖГ Роспотребнадзора, приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Результаты измерений уровней звука в кабинах тепловоза, электропоезда и электровозов, полученные по ГОСТ 33463.2-2015 по данным научных трудов ВНИИЖГ Роспотребнадзора

| Серия подвижного состава | Эквивалентный уровень звука, полученный при сертификации, L_A , дБА |
|--------------------------|---|
| ЧМЭЗ | 73 |
| ЭД4М | 67 |
| ВЛ11 | 75 |
| ЧС2К | 71 |

Руководствуясь методикой, изложенной в пункте 4.2, рассчитаем \bar{L} по формуле 4.7:

Для кабины ЧМЭЗ:

$$\bar{L} = 10 \lg \frac{12}{8} \left(10^{0,1 \cdot 73 \cdot 1,12} \right) = 83,5 \text{ дБ}$$

Для кабины ЭД4М:

$$\bar{L} = 10 \lg \frac{10}{8} \left(10^{0,1 \cdot 67 \cdot 1,14} \right) = 77,3 \text{ дБ}$$

Для кабины ВЛ11:

$$\bar{L} = 10 \lg \frac{10}{8} \left(10^{0,1 \cdot 75 \cdot 1,06} \right) = 80,5 \text{ дБ}$$

Для кабины ЧС2К:

$$\bar{L} = 10 \lg \frac{10}{8} \left(10^{0,1 \cdot 71 \cdot 1,02} \right) = 73,4 \text{ дБ}.$$

Для оценки сходимости результатов эквивалентных уровней звука за 8-ми часовой рабочий день, полученных расчетным путем и в результате экспериментальных исследований, проведем анализ полученных данных в табличном виде. Результаты анализа приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Результаты расчета эквивалентных уровней звука за 8-ми часовой рабочий день, полученных расчетным путем и в результате экспериментальных исследований, в кабинах локомотивов и моторвагонного подвижного состава

| Серия подвижного состава | Эквивалентный уровень звука, полученный расчетным путем, L_A , дБ | Эквивалентный уровень звука, полученный в результате экспериментальных исследований, L_A , дБ |
|--------------------------|---|---|
| ЧМЭЗ | 83,5 | 80,6±1,3 |
| ЭД4М | 77,3 | 74±1,4 |
| ВЛ11 | 80,5 | 82,2±1,3 |
| ЧС2К | 73,4 | 78,5±1,4 |

Из таблицы 4.7 видно, что расчетные значения эквивалентных уровней звука за 8-ми часовой рабочий день с вероятностью 0,95 приближаются к экспериментальным данным, что доказывает правомочность применения на практике разработанной методики.

Данная методика может быть использована для прогнозирования уровней звука в кабинах локомотивов в реальных условиях эксплуатации путем пересчета значения эквивалентного уровня звука, полученного по результатам сертификационных испытаний для данного конкретного типа локомотива. По результатам полученных прогнозных значений могут быть разработаны рекомендации по улучшению условий труда в кабинах локомотивов по фактору «шум».

4.4.3. Результаты определения и оценки эквивалентного уровня звука в кабинах локомотивов и моторвагонного подвижного состава с учетом дополнительных источников

Рассмотрим пример определения и оценки эквивалентного уровня звука с учетом дополнительных источников для кабин тепловоза ЧМЭЗ, электровозов ВЛ11 и ЧС2К .

Измерения уровня звука в кабинах локомотивов и моторвагонного подвижного состава для целей сертификации были проведены по ГОСТ 33463.2-2015 и взяты по данным научных трудов ВНИИЖГ Роспотребнадзора. Испытания проводились при движении локомотива и моторвагонного подвижного состава со скоростью $2/3$ конструкционной ± 5 км/ч и мощности локомотива равной $2/3$ номинальной $\pm 10\%$. Участок пути при проведении испытаний был бесстыковым, кривые - не менее 1000 м, без стрелочных переводов, подъемов и уклонов больше 5 ‰. Участок пути не проходил по мостам и в тоннелях, ближе 50 м от строений, через лес. При этом окна и двери кабины подвижного состава были закрыты, система обеспечения микроклимата работала в штатном режиме.

Результаты измерений уровней звука в кабинах тепловоза, электропоезда и электровозов, полученные ГОСТ 33463.2-2015 по данным научных трудов ВНИИЖГ Роспотребнадзора, приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Результаты измерений уровней звука в кабинах тепловоза, электропоезда, полученные по ГОСТ 33463.2-2015 по данным научных трудов ВНИИЖГ Роспотребнадзора

| Серия подвижного состава | Эквивалентный уровень звука, полученный при сертификации, L_A , дБА |
|--------------------------|---|
| ЧМЭЗ | 73 |
| ВЛ11 | 75 |
| ЧС2К | 71 |

Руководствуясь методикой, изложенной в пункте 4.3, рассчитаем \bar{L} по формуле 4.8:

Для кабины ЧМЭЗ:

$$\bar{L} = 10 \lg \frac{12}{8} \left(10^{0,173 \cdot 1,12} + 10^{0,173 \cdot 1,05} + 10^{0,173 \cdot 1,07} + 10^{0,173 \cdot 1,05} \right) = 86,6 \text{ дБ}$$

Для кабины ВЛ11:

$$\bar{L} = 10 \lg \frac{10}{8} \left(10^{0,175 \cdot 1,06} + 10^{0,175 \cdot 1,05} + 10^{0,175 \cdot 1,07} + 10^{0,175 \cdot 1,05} \right) = 86,3 \text{ дБ}$$

Для кабины ЧС2К:

$$\bar{L} = 10 \lg \frac{10}{8} \left(10^{0,171 \cdot 1,02} + 10^{0,171 \cdot 1,05} + 10^{0,171 \cdot 1,07} + 10^{0,171 \cdot 1,05} \right) = 81,5 \text{ дБ}.$$

Для оценки сходимости результатов эквивалентных уровней звука с учетом дополнительных источников, полученных расчетным путем и в результате экспериментальных исследований, проведем анализ полученных данных в табличном виде. Результаты анализа приведены в таблицах 4.9.

Таблица 4.9 - Результаты расчета эквивалентных уровней звука с учетом дополнительных источников, полученных расчетным путем и в результате экспериментальных исследований, в кабинах локомотивов

| Серия подвижного состава | Эквивалентный уровень звука, полученный расчетным путем, L_A , дБ | Эквивалентный уровень звука, полученный в результате экспериментальных исследований, L_A , дБ |
|--------------------------|---|---|
| ЧМЭЗ | 86,6 | 84,1±2,3 |
| ВЛ11 | 86,3 | 85±2,3 |
| ЧС2К | 81,5 | 80,7±1,9 |

Из таблицы 4.9 видно, что расчетные значения эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов с учетом дополнительных источников с вероятностью 0,95 приближаются к экспериментальным данным, что доказывает правомочность применения на практике разработанной методики.

Данная методика предназначена для оценки условий труда локомотивной бригады в наихудших условиях. Результаты расчета позволят разработать мероприятия по улучшению условий труда. Данная методика может быть использована для прогнозирования уровней звука в кабинах локомотивов при работе в условиях максимальной шумовой нагрузки. По результатам полученных прогнозных значений также могут быть разработаны рекомендации по улучшению условий труда в кабинах локомотивов по фактору «шум».

4.5. Экономическая эффективность использования методических рекомендаций

Экономическая эффективность от внедрения разработанной методики для локомотиворемонтных заводов ОАО «РЖД» будет заключаться в экономии стоимости на проведение измерений уровней звука (порядка 1 800 000 рублей в год), а для организаций, осуществляющих СОУТ – в экономии командировочных расходов (порядка 25 000 рублей по каждому локомотивному депо).

Выводы по главе 4

Методика по определению эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов в условиях эксплуатации может быть использована при проведении периодических и приемо-сдаточных испытаний локомотивов, для прогнозирования уровней звука в кабинах локомотивов в реальных условиях эксплуатации путем пересчета значения эквивалентного уровня звука, полученного по результатам сертификационных испытаний для данного конкретного типа локомотива, а также для прогнозирования уровней звука в кабинах локомотивов при работе в условиях максимальной шумовой нагрузки.

Первоначально была проведена оценка звукопоглощающих свойств дублированного материала НО-Л-1А в сравнении с применяемым в последние годы для аналогичных задач материалом из арамидных волокон.

В качестве объектов исследования использовали два образца материала НО-Л-1А, различающиеся между собой поверхностной плотностью и толщиной (522 г/м² при толщине 3 мм и 390 г/м² при толщине 2 мм). Образец сравнения представлял собой нетканый продуваемый материал из арамидных волокон толщиной 2 мм и поверхностной плотностью 300 г/м².

Очевидно, что звукоизоляционные свойства дублированных материалов НО-Л-1А должны в значительной степени зависеть от размещения их фольгой либо подложкой по отношению к падающей звуковой волне. Интерес представляло исследование обоих вариантов.

При проведении эксперимента образцы закрепляли на жесткой стенке. Данные, представленные на рисунке 3, показывают, что коэффициенты звукопоглощения (α) дублированного материала НО-Л-1А (522 г/м²) и образца материала из арамидных волокон при размещении их на жесткой стенке волокнистым слоем к падающей звуковой волне в широком диапазоне частот схожи и весьма невысоки ($\alpha = 0,2 - 0,3$). Это обусловлено тем, что поглощение энергии звуковых волн в данном случае происходит лишь за счет потерь в весьма тонком волокнистом слое.

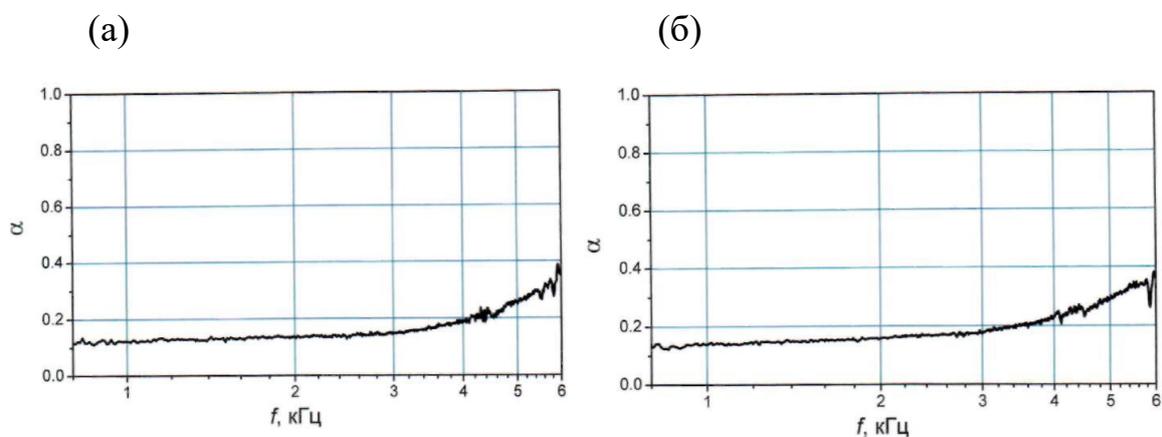


Рисунок 5.2 - Коэффициент звукопоглощения образцов, размещенных на жесткой стенке (материал НО-Л-1А ориентирован волокнистым слоем к падающей звуковой волне)

а - НО-Л-1А (522 г/м²); б – материал из арамидных волокон.

Напротив, при размещении образца НО-Л-1А (522 г/м²) на жесткой стенке фольгой к звуковой волне наблюдается заметное повышение α в области высоких частот ($f = 3 - 6$ кГц), где его значения изменяются в пределах 0,4 - 0,9 (рисунок 5.1 б). В данном случае поглощение энергии звуковых волн обусловлено двумя факторами: колебания непродуваемого слоя фольги (мембранное поглощение) и дополнительные потери в волокнистом слое подложки материала НО-Л-1А.

Важно отметить, что коэффициент поглощения материалом акустических колебаний разной частоты неодинаков.

Согласно полученным значениям, колебания более высокой частоты поглощаются сильнее (сравн. рис. 5.3.а и 5.3.б).

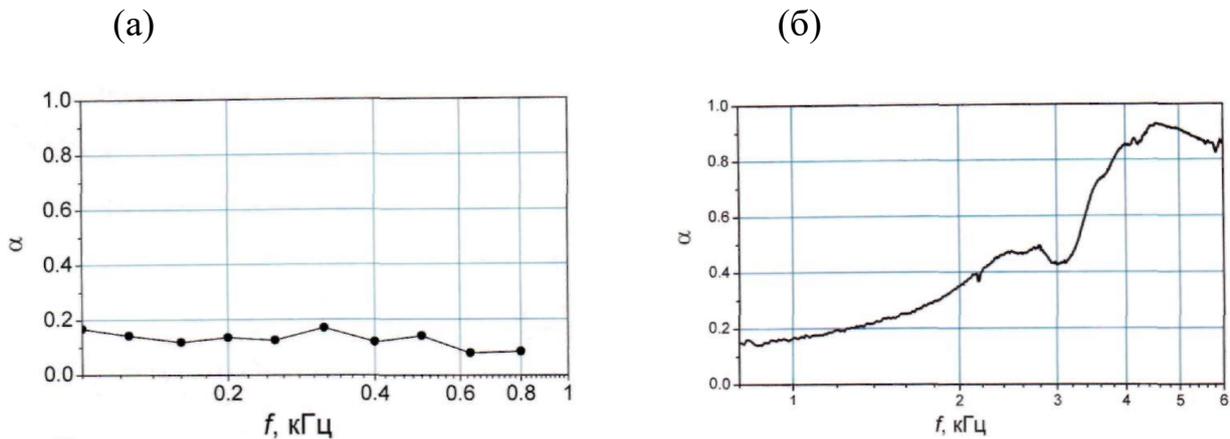


Рисунок 5.3 - Коэффициент звукопоглощения материала НО-Л-1А (522 г/м²), закрепленного на жесткой стенке фольгой к падающей звуковой волне

а – диапазон частот 0,1 - 0,8 кГц; б - диапазон частот 0,8 - 6 кГц.

Из полученных данных следует, что дублированный материал НО-Л-1А при размещении фольгой по направлению к падающей звуковой волне обладает значительно более высокими показателями звукопоглощения по сравнению с материалом из арамидных волокон (сравн. рисунки 5.2.б и 5.3.б). В случае же, когда материал НО-Л-1А направлен подложкой к падающей звуковой волне и для варианта с использованием материала из арамидных волокон низкие значения α обусловлены тем, что толщина исследуемых образцов (2-3 мм) в области низких частот (100 - 1000 Гц) на несколько порядков меньше длины звуковой волны ($\lambda \approx$

3,4 — 0,34 м) и значительно меньше длины волны в высокочастотной области (1000 - 6000 Гц), где $\lambda \approx 340 — 60$ мм.

Таким образом, сравнение акустических характеристик образцов и выявление лучшего варианта при их размещении на жесткой стенке нетканым материалом по направлению к падающей звуковой волне затруднительно. Учитывая этот факт, с целью надежного сравнения звукопоглощающих свойств образцов было решено за исследуемым образцом создать воздушную полость высотой $h = 40$ мм (наиболее приемлемую для обоих интерферометров). Это обеспечивалось путем фиксации образца на решетке (размер ячеек 10×10 мм, толщиной проволоки ≈ 1 мм), прикрепленной в свою очередь к жесткой стенке. Первоначально были определены звукопоглощающие характеристики материала сравнения из арамидных волокон (рисунок 5.4).

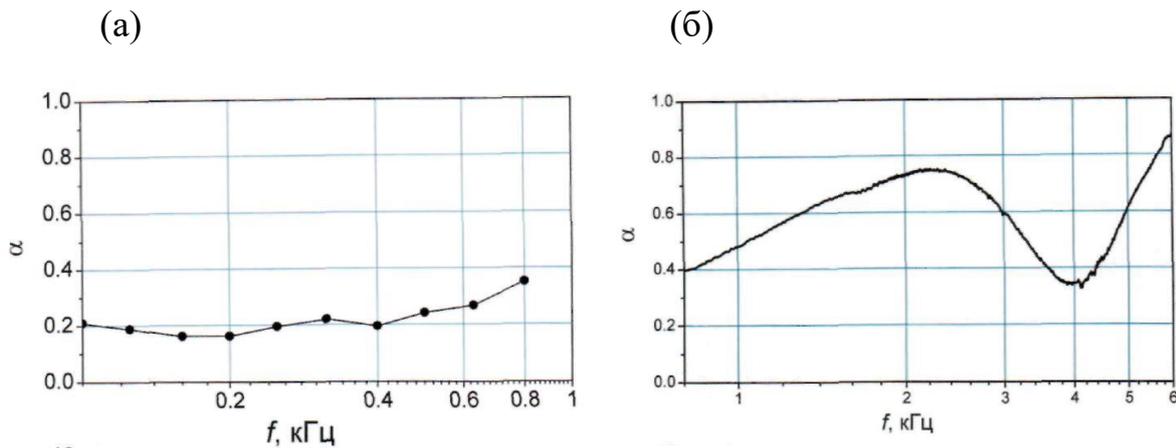


Рисунок 5.4 - Коэффициенты звукопоглощения материала из арамидных волокон при наличии за ним воздушной полости высотой $h = 40$ мм а – диапазон частот 0,1 - 0,8 кГц; б - диапазон частот 0,8 - 6 кГц.

Размещение материала из арамидных волокон на воздушной полости (высота - 40 мм) привело к созданию классической резонансной конструкции с максимумом $\alpha \approx 0,7 - 0,8$ в области частот $f = 2 - 2,5$ кГц (рис. 5.4б). Как правило, частота максимума α в таких конструкциях определяется высотой воздушной полости h . Увеличение h приводит к сдвигу частоты α_{\max} в более низкочастотную область.

Несколько отличные характеристики коэффициента звукопоглощения получены при размещении на воздушной полости образцов НО-Л-1А (522 г/м²) и НО-Л-1А (390 г/м²) волокнистым слоем к падающей звуковой волне (рисунок 5.5).

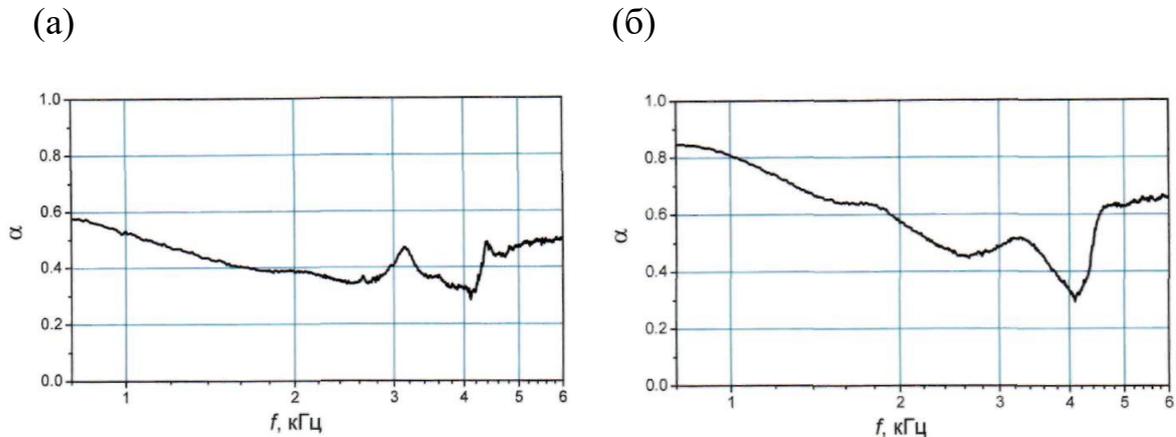


Рисунок 5.5 - Коэффициенты звукопоглощения материалов НО-Л-1А при наличии за ними воздушной полости высотой $h = 40$ мм (подложка направлена к падающей звуковой волне)

а - НО-Л-1А (522 г/м²);

б - НО-Л-1А (390 г/м²).

В этом случае наблюдаются максимумы α в области частот 0,8 - 1 кГц, несколько различающиеся для исследуемых объектов (сравн. рис. 5.5.а и 5.5.б). Это, вероятно, связано с тем, что в процессе поглощения звуковой энергии при таком расположении образцов определенную роль играет сам волокнистый слой и, дополнительно, колебания фольги, задемпфированные волокнистым слоем в разной степени. Менее плотный материал НО-Л-1А (390 г/м²) допускает более свободные колебания фольги, чем материал НО-Л-1А (522 г/м²), и тем самым определяет несколько большее значение $\alpha_{\max} \approx 0,8$ (рис. 5.5.б) по сравнению с $\alpha_{\max} \approx 0,6$ (рис. 5.5.а).

Сравнивая данные рис. 5.4 и 5.5, можно сделать вывод о том, что при размещении дублированных материалов НО-Л-1А на воздушной полости подложкой по направлению к падающей звуковой волне, уровень звукопоглощения сопоставим с материалом из арамидных волокон, но основные максимумы сдвинуты в коротковолновую область.

При размещении материала НО-Л-1А (522 г/м²) фольгой к падающей звуковой волне (при наличии воздушной полости) наблюдается значительное

увеличение коэффициента звукопоглощения, достигающего $\alpha_{\max} \approx 1$ и величиной $\alpha \geq 0,8$ в широком диапазоне частот $f = 0,4 - 2$ кГц (рисунок 5.6.). Кроме того, имеется дополнительный максимум $\alpha = 0,7 - 0,8$ в области высоких частот $f = 4-6$ кГц (рис. 5.6.б).

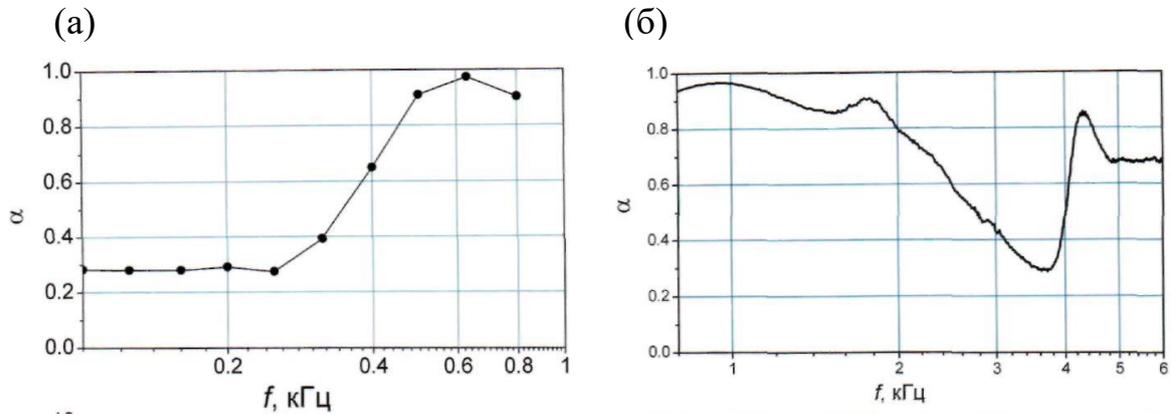


Рисунок 5.6- Коэффициенты звукопоглощения материала НО-Л-1А (522 г/м²) при наличии за ним воздушной полости высотой $h = 40$ мм (фольга направлена к падающей звуковой волне)

а – диапазон частот 0,1- 0,8 кГц; б - диапазон частот 0,8 - 6 кГц.

Аналогичная картина наблюдается для более тонкого образца НО-Л-1А (390 г/м²), расположенного фольгой к звуковой волне, на воздушной полости высотой $h = 40$ мм (рисунок 5.7.).

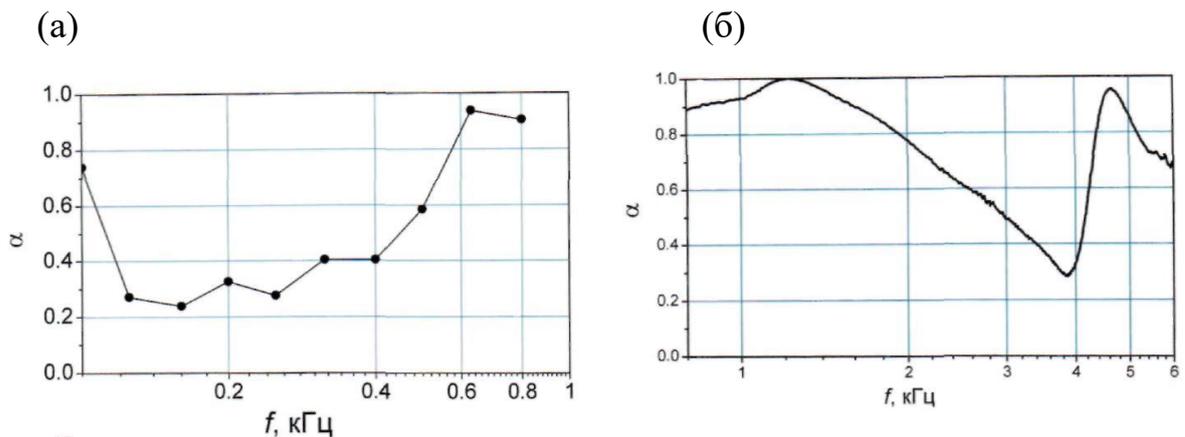


Рисунок 5.7-Коэффициенты звукопоглощения материала НО-Л-1А (390 г/м²) при наличии за ним воздушной полости высотой $h = 40$ мм (фольга направлена к падающей звуковой волне)

а – диапазон частот 0,1 - 0,8 кГц; б - диапазон частот 0,8 - 6 кГц

Представленные данные свидетельствуют, что:

- первый максимум $\alpha_{\max} \approx 1$ и $\alpha \geq 0,8$, также как и в случае с использованием материала НО-Л-1А (522 г/м²), наблюдаются в диапазоне частот $f \approx 0,6 - 2$ кГц;
- второй максимум достигает величины 0,9 в высокочастотной области.

Такое сходство характеристик α двух материалов НО-Л-1А (522 и 390 г/м²) позволяет предположить, что основным механизмом, определяющим потери звуковой энергии, в этом случае являются колебания фольги (мембранный эффект), воздействующие на воздушный столб.

На практике воздушная полость необходимой высоты может быть получена путем дублирования материала НО-Л-1А (со стороны нетканого слоя) материалом, имеющим сотовую структуру, например, алюминиевым сотовым наполнителем (рисунок 5.8.).



Рисунок 5.8- Дублированный материал НО-Л-1А, размещенный на алюминиевом сотовом наполнителе

Исходя из вышеизложенного, для уменьшения уровня шума в кабине локомотива рекомендуется в качестве шумопоглощающего материала использовать:

1. Дублированный материал НО-Л-1А (со стороны нетканого слоя), имеющий сотовую структуру, например, алюминиевый сотовый наполнитель.
2. Материал НО-Л-1А необходимо выпускать в виде готовых деталей, плотностью 522 г/м² при толщине 3 мм.

3. Детали должны быть выполнены в самоклеящемся варианте для обеспечения удобства монтажа. Материал НО-Л-1А наклеивается на панели потолка таким образом, что слой фольги обращен вверх, в надпотолочное пространство кабины локомотива.

4. Для обеспечения не только звукопоглощение, но и вибропоглощение, самоклеящаяся деталь должна иметь дополнительный слой из вибромастики.

5. Для повышения звукоизоляции конструкции кабины подвижного состава, имеющиеся щелевые и сквозные отверстия необходимо заклеивать высокопрочными герметизирующими самоклеящимися звукопоглощающими лентами.

Выводы по главе 5

Для уменьшения уровня шума в кабине локомотива рекомендуется в качестве шумопоглощающего материала использовать: дублированный материала НО-Л-1А, имеющий сотовую структуру, например, алюминиевый сотовый наполнитель; материал НО-Л-1А необходимо выпускать в виде готовых деталей, плотностью 522 г/м² при толщине 3 мм; детали должны быть выполнены в самоклеящемся варианте для обеспечения удобства монтажа. Материал НО-Л-1А наклеивается на панели потолка таким образом, что слой фольги обращен вверх, в надпотолочное пространство кабины локомотива; для обеспечения не только звукопоглощение, но и вибропоглощение, самоклеящаяся деталь должна иметь дополнительный слой из вибромастики; для повышения звукоизоляции конструкции кабины подвижного состава, имеющиеся щелевые и сквозные отверстия необходимо заклеивать высокопрочными герметизирующими самоклеящимися звукопоглощающими лентами.

Заключение

1. Усовершенствована методика расчета процесса распространения шума при движении локомотива с учетом дополнительных источников. В формулу внесены и разработаны коэффициент пересчета уровня звука k_y , коэффициенты воздействия: переговоров по рации - k_p , срабатывания ЭПК - $k_э$, движения с открытыми окнами - k_o .

2. Разработана линеаризованная математическая модель процесса распространения шума при движении локомотива. Предложен коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине локомотива от скорости движения k_c .

3. Установлено, что коэффициенты пересчета уровня звука k_y для кабин локомотивов различных типов и видов движения подвижного состава имеют следующие значения: электровозы пассажирского движения - 1,02; электровозы грузового движения - 1,06; рельсовые автобусы - 1,07; тепловозы маневрового движения - 1,12; тепловозы грузового движения - 1,13; электропоезда - 1,14. Результаты проведенных измерений показали, что для целей сертификационных испытаний следует ориентироваться на более жесткие предельно-допустимые уровни звука, а именно: для электровозов - 75 дБ, для тепловозов - 71 дБ, для электропоездов - 70 дБ, для рельсовых автобусов - 75 дБ. Рассчитан средний коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука от скорости движения для всех типов подвижного состава $k_c = 0,07$. Рассчитаны средние коэффициенты воздействия переговоров по рации k_p $k_p = 1,05$, срабатывание ЭПК $k_э$ $k_э = 1,07$ и движения с открытыми окнами k_o $k_o = 1,05$. Результаты проведенных измерений показали, что наибольшее влияние на локомотивную бригаду по данному исследованию оказывает срабатывание ЭПК.

4. Разработана методика по определению эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов в условиях эксплуатации. Данная методика может быть использована при проведении периодических и приемо-сдаточных испытаний локомотивов, для прогнозирования уровней звука в кабинах локомотивов в реальных условиях эксплуатации путем пересчета значения эквивалентного

уровня звука, полученного по результатам сертификационных испытаний для данного конкретного типа локомотива, а также для прогнозирования уровней звука в кабинах локомотивов при работе в условиях максимальной шумовой нагрузки.

5. Для уменьшения уровня шума в кабине локомотива рекомендуется в качестве шумопоглощающего материала использовать: дублированный материала НО-Л-1А (со стороны нетканого слоя), имеющий сотовую структуру, например, алюминиевый сотовый наполнитель; материал НО-Л-1А необходимо выпускать в виде готовых деталей, плотностью 522 г/м^2 при толщине 3 мм; детали должны быть выполнены в самоклеящемся варианте для обеспечения удобства монтажа. Материал НО-Л-1А наклеивается на панели потолка таким образом, что слой фольги обращен вверх, в надпотолочное пространство кабины локомотива; для обеспечения не только звукопоглощения, но и вибропоглощения, самоклеящаяся деталь должна иметь дополнительный слой из вибромастики; для повышения звукоизоляции конструкции кабины подвижного состава, имеющиеся щелевые и сквозные отверстия необходимо заклеивать высокопрочными герметизирующими самоклеящимися шумопоглощающими лентами.

Словарь терминов

Эквивалентный уровень звука $L_{p,A,eqT}$: Выраженные в децибелах, дБ, десять десятичных логарифмов отношения усредненного на заданном временном интервале T (с началом t_1 и окончанием t_2) квадрата скорректированного по частотной характеристике A звукового давления p_{AK} квадрату опорного звукового давления p_0 ($p_0 = 20$ мкПа)

[ГОСТ Р ИСО 9612-2013 «Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека», Термины и определения]

Эквивалентный уровень звука за 8-часовой рабочий день (daily noise exposure level) $L_{EX,8h}$: Выражаемая в децибелах, дБ, величина, определяемая по формуле

$$L_{EX,8h} = L_{p,A,eqT_e} + 10 \lg \left[\frac{T_e}{T_0} \right],$$

где L_{p,A,eqT_e} - эквивалентный уровень звука, определенный в соответствии с настоящим стандартом для номинального рабочего дня, характеризующегося временным интервалом T_e , дБ;

T_e - эффективная длительность номинального рабочего дня (т.е. период времени, в течение которого наблюдается воздействие шума, существенного и представительного для данного рабочего места), ч;

T_0 - базовая длительность рабочего дня ($T_0 = 8$ ч).

[ГОСТ Р ИСО 9612-2013 «Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека», Термины и определения]

Трудовая функция (job): Поставленный в соответствие конкретному работнику элемент производственного процесса, который включает в себя все рабочие операции, выполняемые работником в течение рабочего дня или рабочей смены.

[ГОСТ Р ИСО 9612-2013 «Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека», Термины и определения]

Вредный производственный фактор: Производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию.

[Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ «Трудовой Кодекс Российской Федерации», Статья 209]

Профессиональное заболевание: Хроническое или острое заболевание застрахованного, являющееся результатом воздействия на него вредного (вредных) производственного (производственных) фактора (факторов) и повлекшее временную или стойкую утрату им профессиональной трудоспособности.

[Федеральный закон Российской Федерации от 24 июля 1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний», Статья 3]

Специальная оценка условий труда: Единый комплекс последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса (далее также - вредные и (или) опасные производственные факторы) и оценки уровня их воздействия на работника с учетом отклонения их фактических значений от установленных уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти нормативов (гигиенических нормативов) условий труда и применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников.

[Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда», п. 1 Статья 3]

Средства индивидуальной защиты: Технические средства, используемые для предотвращения или уменьшения воздействия на работников вредных и (или) опасных производственных факторов, а также для защиты от загрязнения.

[Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ «Трудовой Кодекс Российской Федерации», Статья 209]

Условия труда: Совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника.

[Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2001 г.
№ 197-ФЗ «Трудовой Кодекс Российской Федерации», Статья 209]

Гигиенические нормативы условий труда (ПДК, ПДУ): уровни вредных производственных факторов рабочей среды, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч, но не более 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должны вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

[Руководство Р 2.2.2006-05]

Список литературы

1. Панкова, В.Б., Капцов, В.А., Каськов, Ю.Н. Гигиеническое обоснование риска развития профессиональной тугоухости у работников локомотивных бригад / В.Б. Панкова, В.А. Капцов, Ю.Н. Каськов // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. - 2006. - №3 (49) – С. 38-41.
2. Пономаренко, А.Н., Лисобей В.А. Факторы формирования хронических заболеваний у железнодорожников актуальные проблемы транспортной медицины / А.Н. Пономаренко, В.А. Лисобей // Библиография. - 2010– - №2(20). – С. 10-15
3. Суржиков, В.Д., Олещенко, А.М., Семенихин, В.А., Панайотти, Е.А., Суржиков, Д.В., Качаева, И.М., Семенихина, Н.С. Оценка воздействия вредных факторов на здоровье машинистов локомотивных бригад / В.Д. Суржиков, А.М. Олещенко, В.А. Семенихин, Е.А. Панайотти, Д.В. Суржиков, И.М. Качаева, Н.С. Семенихина // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и методические аспекты оценки о прогнозирования здоровья населения». – 1997. – С.91-93
4. Суворов, С.В. К истории гигиены труда на подвижном составе. Локомотивы/ С.В. Суворов // Медицина труда и проблемы экологии на железнодорожном транспорте. Выпуск 9. – 2014. – С. 80- 82
5. Недомерков Ю.Н., Лях В.Е., Малышев Э.Н. Состояние вопроса изучения инфразвука, шума и вибрации в пассажирских вагонах железнодорожного транспорта/ Ю.Н. Недомерков, В.Е. Лях, Э.Н. Малышев// Доклады на конференции «Актуальные вопросы улучшения условий труда работающих на железнодорожном транспорте» - 1990. - 114 с.
6. Прохоров, А.А., Кудрин, В.А., Зинина, С.А. Общая заболеваемость железнодорожников, работающих в условиях шума, вибрации и нервно-напряженного труда/ Прохоров, А.А., Кудрин, В.А., Зинина, С.А. // Доклады на конференции «Актуальные вопросы улучшения условий труда работающих на железнодорожном транспорте» - 1990.- 114 с.

7. Приказ Минтруда России № 33н от 24.01.2014. 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: [Зарегистрирован в Минюсте 21 марта 2014, № 31689]. – Москва, 2014. - 90с.
8. Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона «О специальной оценке условий труда» [№ 421-ФЗ от 28.12.2013г.]. – Москва, 2014. – 90 с.
9. Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» [№ 426-ФЗ от 28.12.2013г.]. – Москва, 2014. – 95 с.
10. Сидоров, Ю.П., Васильева, Д.Н. Шумовое загрязнение на рабочих местах локомотивных бригад современного подвижного состава железных дорог России / Ю.П. Сидоров, Д.Н. Васильева // М. МГУПС(МИИТ). Труды X Международная научно-практическая конференция. М.МИИТ, 2014- V-11-13.
11. Бутаков, Г.В. Способы защиты от шума и вибрации железнодорожного подвижного состава: учебник/ под редакцией Г.В. Бутаков. – Москва «Транспорт», 1978г.- 230с.
12. ГОСТ33463.2-2015 «Системы жизнеобеспечения на железнодорожном подвижном составе. Часть 2. Методы испытаний по определению виброакустических показателей»
13. ГОСТ Р ИСО 9612-2013.Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. М.: Стандартиформ, 2014. – 62с.
14. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997- 13 с.
15. ГОСТ 12.1.050-86. Методы измерения шума на рабочих местах. М.: Стандартиформ, 2007. – 36с.
1. Лосавио Н.Г., Васильева Д.Н., Дергилева Я.В. Особенности применения нового национального стандарта для измерений уровня звука в

кабинах электропоездов при проведении специальной оценки условий труда/ Н.Г. Лосавио, Д.Н. Васильева, Я.В. Дергилева// III Международная научно-практическая конференция в год 70-летия победы в Великой Отечественной Войне «Инновации и исследования в транспортном комплексе». Курган: ОрИПС, 2015г. – Ч.- II. – С. 24-29.

16. Васильева Д.Н. Сравнение методик измерения шума для целей сертификации и специальной оценки условий труда на подвижном составе/ Д.Н. Васильева // Материалы V научно-практической конференции «Образование, наука и транспорт в XXI веке: опыт, перспективы, инновации». СамГУПС. 2015г. 230-233 с.

17. Подуст, С.Ф. Анализ закономерностей шумообразования электропоездов/ С.Ф. Подуст // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – С. 42-45

18. Груничев, Н.С., Архипов, Н.А., Аксенов, С.А. Пути снижения шума в кабинах локомотивов на железнодорожном транспорте / Н.С. Груничев, Н.А. Архипов, С.А. Аксенов // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. - №2 С.178-182

19. Железные дороги мира [Электронный ресурс] Снижение шума, излучаемого путем на жестком основании – 2009. - № 3 – Режим доступа: <http://www.zdmira.com/system/app/pages/search?scope=search-site&q=Снижение+шума>

20. Железные дороги мира [Электронный ресурс] Акустические качества современных электропоездов – 2010. - № 2 - Режим доступа: <http://www.zdmira.com/system/app/pages/search?scope=search-site&q>

21. Авилов, В.Т. Исследование акустических условий в автобусах, находящихся в эксплуатации: дис. канд. тех. наук: 05.22.10/ Авилов Владимир Тимофеевич. – М., 1980. – 222 с.

22. Иванов, Н.И., Куклин, Д.А. Источники шумообразования и пути снижения шума поездов/ Н.И. Иванов, Д.А. Куклин // Труды Всероссийской научно-практической конференции. – 2012. – С. 8-10

23. Муртазаалиев, Р.М. Шумового воздействия от железнодорожного транспорта и степень его влияния / Р.М. Муртазаалиев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. - №4
24. Железные дороги мира [Электронный ресурс] Определение источников шума на подвижном составе – 1998. - №10.– Режим доступа: <http://www.zdmira.com/system/app/pages/search?scope=search-site&q>
25. Иванов, Н.И., Курцев, Г.М., Элькин, Ю.И. Шум в кабинах строительнородожных машин и тракторов / Н.И. Иванов, Г.М. Курцев, Ю.И. Элькин // БЖД. - 2005. - № 10. С. 1015.
26. Пронников, Ю.В. Совершенствование методов расчета виброакустического и проектирование кабин: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.02.02, 05.26.01/ Пронников Юрий Викторович. – Ростов-на-Дону, 2012. – 19с.
27. Иванов, Н.И., Курцев, Г.М., Шашурин, А.Е. Расчет ожидаемой шумности в кабинах при проектировании строительных машин/ Н.И. Иванов, Г.М. Курцев, А.Е. Шашурин // Безопасность жизнедеятельности. – 2009. - № 8 С. 35-39
28. Распоряжением N 876р О регламенте переговоров при поездной и маневровой работе на железнодорожном транспорте общего пользования. – М. РЖД, 2003. – 50 с.
29. Распоряжением N 788р Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации локомотивов и моторвагонного подвижного состава в ОАО «РЖД. – М. РЖД, 2006. – 50 с.
30. Handbook of Noise and Vibration. M.J. Crocker, Willey 2007, 1569 p.
31. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 14 с
32. ГОСТ 12.2.056-81. Система стандартов безопасности труда электровозы и тепловозы колеи 1520 мм. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 44 с
33. ГОСТ 26918-86. Методы измерения шума железнодорожного подвижного состава. М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 17 с.

34. Методические указания по проведению измерений и гигиенической оценки шумов на рабочих местах. Официальное издание / Минздрав СССР. - М., 1980. – 13 с.
35. Лосавио, Н.Г., Васильева, Д.Н. Исследования шума в кабинах локомотивов/ Н.Г. Лосавио, Д.Н. Васильева//Мир транспорта. – 2015. – №5. – С.222-229
36. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. М.: Университетская книга. Логос, 2008. - 424 с.
37. Чубарь, А.П. Особенности звукоизоляции конструкции кабины управления реостатными испытаниями локомотивов на пунктах экологического контроля/ А.П. Чубарь // Инженерный вестник Дона. – 2014. - №4. – С. 4-9
38. Бобин, Е.В. Борьба с производственным шумом и вибрацией на железнодорожном транспорте: учебник/ Е.В. Бобин – М. Транспорт, 1973. - 203с.
39. Пономарев В.М. Обеспечение безопасности труда на железнодорожном транспорте // «Транспорт Российской Федерации» - 2011. - № 1. - 0,4 п.л.
40. Бутакова, Г.В., Мельникова, Б.Н. Шум на транспорте: учебное пособие / под редакцией Тольского В.Е. – М.: Транспорт, 1995. – 200с.
41. Жуков, В.И., Пономарев, В.М., Рахманов, Б.Н. Безопасность труда на железнодорожном транспорте: справочное издание / В. М. Пономарев, А. Л. Левицкий. - Москва : Транспорт, 1992. - 271 с.
42. Попова, Н.П., Кузнецов К.Б. Производственная санитария и гигиена труда на железнодорожном транспорте: учебник/ Попова Н.П., Кузнецов К.Б. – М.: УМЦ ЖДТ, 2013. – 664 с.
43. Юдина, Е.Я. Борьба с шумом на производстве: справочник/ под общ. ред. Е.Я. Юдина. – М.:Машиностроение, 1985.- 400с.
44. Иванов, Н.И. Борьба с шумом и вибрациями на путевых и строительных машинах: учебник/ Н.И. Иванов. - М.: Транспорт, 1987. - 233с.

45. Железные дороги мира [Электронный ресурс] Защита машинистов от шума – 2013. - № 3 - Режим доступа:

<http://www.zdmira.com/system/app/pages/search?scope=search-site&q>

46. Школьников, Б.И., Лосавио, Н.Г. Пути гигиенического совершенствования кабин современных типов локомотивов/ Б.И. Школьников, Н.Г. Лосавио // Сборник научных трудов «Охрана здоровья на железнодорожном транспорте». – 2005. – с. 40-46

47. Коршунов, Ю.Н., Цысарь, А.И. Акустическая экология и железнодорожный транспорт/ Ю.Н. Коршунов, А.И. Цысарь // Медицина труда и проблемы экологии на железнодорожном транспорте. Выпуск 7.- 2004. – с. 39-43

48. Колесников, И.В., Пронников, Ю.В. Звукоизолирующие и звукопоглощающие характеристики кабин локомотивов/ И.В. Колесников, Ю.В. Пронников // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2011. - №2 С. 13-16

49. Иванов, Н.И., Куклин, Д.А. Источники шумообразования и пути снижения шума поездов / Н.И. Иванов, Д.А. Куклин //Труды Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт-2012».Часть 2. – 2012. – С. 8-10

50. Подуст, С.Ф. Анализ закономерностей шумообразования электропоездов/ С.Ф. Подуст // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2012г.- №4 С. 42-45

51. Долженко, В.Н., Фортыхин, А.А., Фокин, В.С., Кокин, С.М. Шум и вибрация: учебное пособие/ под ред. Д.Н. Тихонычев. – М.РГОТУПС, 2003.- 50 с.

52. Методические указания по гигиенической оценке производственной и непроизводственной шумовой нагрузки. Москва: ООО НПФ "Экопроект АММ"; СПб.: ООО "Фирма "Интеграл", 2002

53. Измеров, Н.Ф., Суворов, Г.А. Физические факторы производственной и природной среды: учебное пособие/ Н.Ф. Измеров, Г.А. Суворов. – М.: Медицина, 2003. – 560 с

54. Пономарев, В.М. Исследования уровней звука в кабинах локомотивов в условиях эксплуатации / В.М. Пономарев, Д.Н. Васильева //Наука и техника транспорта. – 2016. – №2. – С. 30-40;
55. Исакович, М.А. Общая акустика: учебное пособие/ М.А. Исакович. - М.: Наука, 1973. - 496с.
56. Князев, Б.А., Черкасский, В.С. Начало обработки экспериментальных данных: учебное пособие/ Б.А. Князев, В.С. Черкасский. Н.: Наука, 1996. – 42 с.
57. Губин, В.И., Осташков, В.Н. Статистические методы обработки экспериментальных данных: учебное пособие/ В.И. Губин, В.Н. Осташков. И.: Казань, 2006. – 271 с.
58. Брюль и Кьер Интенсивность звука: брошюра/ Брюль и Кьер. 1989. – 44 с.
59. Измерение уровней звука в кабине локомотива: отчет о научно-исследовательской работе ВНИИЖГ.- Москва, 2009. – 545 с.
60. Цысарь, А.И., Лях, В.Е., Сапунов, Ю.С., Недомерков, Ю.Н., Мамаев, Е.Н., Сухачева, А.Б., Левшина, И.Г., Яскевич, Е.В., Шмекановский, С.Ю. К вопросу обоснования санитарных норм допустимых уровней шума на подвижном составе и станциях метрополитена/ А.И. Цысарь, В.Е. Лях, Ю.С. Сапунов, Ю.Н. Недомерков, Е.Н. Мамаев, А.Б. Сухачева, И.Г. Левшина, Е.В. Яскевич, С.Ю. Шмекановский // Доклады на конференции «Актуальные вопросы улучшения условий труда работающих на железнодорожном транспорте». – 1990. – С. 68-74
61. Железные дороги мира [Электронный ресурс] Измерение уровня шума с учетом числа колесных пар и длины вагона. – 2009. - №3- Режим доступа: <http://www.zdmira.com/system/app/pages/search?scope=search-site&q>
62. Средства индивидуальной защиты органов слуха [Электронный ресурс]. – Энциклопедия, 2016. – Режим доступа: http://unionalls.ru/Средства_индивидуальной_защиты_органов_слуха

Приложение А

Таблица 1- Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабинах электровозов, полученные по ГОСТ Р ИСО 9612-2013

| Серия электровоза | Дата проведения измерения | Место проведения измерения | Время проведения измерения, ч | Эквивалентный уровень звука, дБ |
|-------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| ВЛ10У №987 | 13.10.2015 | Бекасово-Москва | 2 часа 30 мин. | 80 |
| | | | | 80 |
| | | | | 81 |
| | | | | 80 |
| | | | | 82 |
| ВЛ10У №919 | 09.09.2015 | Вязьма-Смоленск | 2 часа 30 мин. | 81 |
| | | | | 81 |
| | | | | 81 |
| | | | | 80 |
| | | | | 80 |
| ВЛ10 №332 | 19.08.2015 | Москва-Куровское | 2 часа 30 мин. | 79 |
| | | | | 80 |
| | | | | 78 |
| | | | | 78 |
| | | | | 78 |
| ВЛ11 №755-733 | 24.09.2015 | Тула-Узловая | 2 часа 30 мин. | 79 |
| | | | | 78 |
| | | | | 79 |
| | | | | 80 |
| | | | | 79 |
| ВЛ11М №349 | 14.10.2015 | Бекасово-Калуга | 2 часа 30 мин. | 78 |
| | | | | 79 |
| | | | | 79 |
| | | | | 78 |
| | | | | 78 |
| ВЛ11 №793 | 14.10.2015 | Калуга-Бекасово | 2 часа 30 мин. | 81 |
| | | | | 81 |
| | | | | 81 |
| | | | | 80 |
| | | | | 80 |
| ЭП20 №049 | 18.08.2015 | Москва-Рязань | 3 часа | 70 |
| | | | | 70 |
| | | | | 71 |
| | | | | 70 |
| | | | | 72 |

Продолжение Таблицы 1.

| | | | | |
|-----------|------------|---------------------|-------------------|----|
| ЭП20 №031 | 04.09.2015 | Москва- Вязьма | 3 часа | 70 |
| | | | | 70 |
| | | | | 71 |
| | | | | 71 |
| | | | | 71 |
| ЭП20 №014 | 21.10.2015 | Москва- Владимир | 3 часа | 73 |
| | | | | 73 |
| | | | | 72 |
| | | | | 72 |
| | | | | 73 |
| ЭП10 №012 | 02.09.2015 | Москва- Калуга | 2 часа 40 мин. | 77 |
| | | | | 76 |
| | | | | 76 |
| | | | | 78 |
| | | | | 76 |
| ЭП10 №005 | 02.09.2015 | Калуга- Москва | 2 часа 40 мин. | 76 |
| | | | | 78 |
| | | | | 77 |
| | | | | 76 |
| | | | | 77 |
| ЭП10 №020 | 03.09.2015 | Москва- Калуга | 2 часа 40 мин. | 77 |
| | | | | 77 |
| | | | | 78 |
| | | | | 79 |
| | | | | 79 |

Таблица 2 - Результаты расчетов эквивалентных уровней звука в кабинах электровозов, полученные по ГОСТ Р ИСО 9612-2013

| Серия, номер электровоза | Неопределенность измерения, дБ | Эквивалентный уровень звука за 8ч., дБ |
|--------------------------|--------------------------------|--|
| ВЛ10У №987 | 1,36 | 81,6 |
| ВЛ10У №919 | 1,26 | 81,6 |
| ВЛ10 №332 | 1,36 | 79,6 |
| ВЛ11 №755-733 | 1,28 | 80,02 |
| ВЛ11М №349 | 1,26 | 79,40 |
| ВЛ11 №793 | 1,26 | 81,60 |

Продолжение Таблицы 2.

| | | |
|-----------|------|-------|
| ЭП20 №049 | 1,32 | 71,65 |
| ЭП20 №031 | 1,32 | 71,60 |
| ЭП20 №014 | 1,26 | 73,60 |
| ЭП10 №012 | 1,32 | 77,65 |
| ЭП10 №005 | 1,32 | 77,83 |
| ЭП10 №020 | 1,41 | 79,06 |

Таблица 3 - Результаты проведения измерения эквивалентных уровней звука в кабинах тепловозов

| Серия тепловоза | Дата проведения измерения | Место проведения измерения | Время проведения измерения, ч | Эквивалентный уровень звука, дБ |
|-----------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| ЧМЭЗ № 2009 | 13.07.2015 | Рязань | 2 часа 30 мин. | 80 |
| | | | | 79 |
| | | | | 79 |
| | | | | 81 |
| | | | | 79 |
| ЧМЭЗ № 6163 | 15.09.2015 | Орел | 2 часа 30 мин. | 79 |
| | | | | 79 |
| | | | | 79 |
| | | | | 81 |
| | | | | 79 |
| ЧМЭЗТ №5070 | 21.07.2015 | Москва (Лихоборы) | 2 часа 30 мин. | 78 |
| | | | | 77 |
| | | | | 79 |
| | | | | 79 |
| | | | | 79 |
| ТЭМ7А №0380 | 13.07.2015 | Рязань | 2 часа 30 мин. | 75 |
| | | | | 74 |
| | | | | 74 |
| | | | | 75 |
| | | | | 76 |
| ТЭМ7А №469 | 21.07.2015 | Москва (Лихоборы) | 2 часа 30 мин. | 72 |
| | | | | 72 |

Продолжение Таблицы 3.

| | | | | |
|-----------------|------------|---------------------|----------------|----|
| | | | | 73 |
| | | | | 73 |
| | | | | 73 |
| ТЭМ7А №0460 | 13.07.2015 | Рязань | 2 часа 30 мин. | 76 |
| | | | | 76 |
| | | | | 75 |
| | | | | 75 |
| | | | | 75 |
| 2ТЭ10У №438 | 22.09.2015 | Узловая- Тула | 2 часа 30 мин. | 87 |
| | | | | 87 |
| | | | | 86 |
| | | | | 87 |
| | | | | 88 |
| 2ТЭ10У №0081 | 12.08.2015 | Смоленск- | 2 часа 30 мин. | 86 |
| | | | | 86 |
| | | | | 85 |
| | | | | 86 |
| | | | | 86 |
| 2ТЭ10М №2354 | 23.09.2015 | Узловая- Ефремов | 2 часа 30 мин. | 86 |
| | | | | 86 |
| | | | | 87 |
| | | | | 87 |
| | | | | 86 |
| 3ТЭ10М №1338 | 26.10.2016 | Елец- Ефремов | 2 часа 30 мин. | 87 |
| | | | | 87 |
| | | | | 86 |
| | | | | 87 |
| | | | | 87 |
| 3ТЭ10М №1417 | 27.10.2016 | Ефремов- Узловая | 2 часа 30 мин. | 86 |
| | | | | 86 |
| | | | | 87 |
| | | | | 86 |
| | | | | 86 |
| 2ТЭ10М №1520 | 26.10.2016 | Узловая- Ефремов | 2 часа 30 мин. | 87 |
| | | | | 87 |

Продолжение Таблицы 3.

| | | | | |
|--|--|--|--|----|
| | | | | 87 |
| | | | | 87 |
| | | | | 86 |

Таблица 4 - Результаты расчетов эквивалентных уровней звука в кабинах тепловозов, полученные по ГОСТ Р ИСО 9612-2013

| Серия тепловоза | Неопределенность измерения, дБ | Эквивалентный уровень звука за 8ч., дБ |
|-----------------|--------------------------------|--|
| ЧМЭЗ №2009 | 1,36 | 81,44 |
| ЧМЭЗ №6163 | 1,36 | 81,24 |
| ЧМЭЗТ №5070 | 1,36 | 80,23 |
| ТЭМ7А №0380 | 1,32 | 76,63 |
| ТЭМ7А №469 | 1,26 | 74,39 |
| ТЭМ7А №0460 | 1,26 | 77,19 |
| 2ТЭ10У №438 | 1,28 | 88,02 |
| 2ТЭ10У №0081 | 1,24 | 86,79 |
| 2ТЭ10М №2354 | 1,26 | 87,4 |
| 3ТЭ10М №2354 | 1,28 | 87,79 |
| 3ТЭ10М №1417 | 1,24 | 87,19 |
| 3ТЭ10М №1520 | 1,26 | 87,79 |

Таблица 5 - Результаты проведения измерения эквивалентных уровней звука в
кабинах электропоездов

| Серия электропоезда | Дата проведения измерения | Место проведения измерения | Время проведения измерения, ч | Эквивалентный уровень звука, дБ |
|---------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| ЭД4М №0119 | 10.04.2015 | Москва - Раменское | 1 час 30 мин. | 76 |
| | | | | 76 |
| | | | | 77 |
| | | | | 76 |
| | | | | 77 |
| ЭД4М №0113 | 10.04.2015 | Москва - Раменское | 1 час 30 мин. | 75 |
| | | | | 75 |
| | | | | 75 |
| | | | | 76 |
| | | | | 76 |
| ЭД4М №0107 | 10.04.2015 | Москва - Раменское | 1 час 30 мин. | 74 |
| | | | | 75 |
| | | | | 75 |
| | | | | 76 |
| | | | | 75 |
| ЭР2Т №7217 | 23.04.2015 | Москва- Икша | 1 час | 78 |
| | | | | 80 |
| | | | | 79 |
| | | | | 78 |
| | | | | 78 |
| ЭР2Р №7083 | 23.04.2015 | Москва- Икша | 1 час | 78 |
| | | | | 78 |
| | | | | 79 |
| | | | | 79 |
| | | | | 78 |
| ЭР2Т №7167 | 22.04.2015 | Москва- Икша | 1 час | 77 |
| | | | | 78 |
| | | | | 78 |
| | | | | 79 |
| | | | | 77 |

Продолжение Таблицы 5.

| | | | | |
|------------|------------|-------------------|-------|----|
| ЭД9Т №0012 | 18.06.2015 | Брянск- Фокино | 1 час | 75 |
| | | | | 76 |
| | | | | 76 |
| | | | | 77 |
| | | | | 77 |
| ЭД9Т №0011 | 19.06.2015 | Брянск- Фокино | 1 час | 77 |
| | | | | 76 |
| | | | | 76 |
| | | | | 77 |
| | | | | 77 |
| ЭД9Т №020 | 05.08.2015 | Смоленск | 1 час | 76 |
| | | | | 76 |
| | | | | 76 |
| | | | | 77 |
| | | | | 77 |

Таблица 6 - Результаты расчетов эквивалентных уровней звука в кабинах электропоездов, полученные по ГОСТ Р ИСО 9612-2013

| Серия электропоезда | Неопределенность измерения, дБ | Эквивалентный уровень звука за 8ч., дБ |
|---------------------|--------------------------------|--|
| ЭД4М №0119 | 1,26 | 77,4 |
| ЭД4М №0013 | 1,26 | 76,4 |
| ЭД4М №0107 | 1,28 | 76,02 |
| ЭР2Т №7217 | 1,36 | 79,65 |
| ЭР2Р №7083 | 1,26 | 79,4 |
| ЭР2Т №7167 | 1,32 | 78,83 |
| ЭД9Т №0012 | 1,32 | 77,23 |
| ЭД9Т №0011 | 1,26 | 77,6 |
| ЭД9Т №0020 | 1,26 | 77,4 |

Таблица 7 - Результаты проведения измерения эквивалентных уровней звука в
кабинах рельсовых автобусов

| Серия рельсового автобуса | Дата проведения измерения | Место проведения измерения | Время проведения измерения, ч | Эквивалентный уровень звука, дБ |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| РА-1 №034 | 07.08.2015 | Смоленск- Гусино | 1 час | 77 |
| | | | | 77 |
| | | | | 78 |
| | | | | 79 |
| | | | | 79 |
| РА-1 №038 | 07.08.2015 | Смоленск- Гусино | 1 час | 78 |
| | | | | 78 |
| | | | | 78 |
| | | | | 79 |
| | | | | 79 |
| РА-1 №040 | 06.08.2015 | Смоленск- Гусино | 1 час | 79 |
| | | | | 78 |
| | | | | 79 |
| | | | | 79 |
| | | | | 79 |
| РА-2 №001 | 07.07.2015 | Новомосковс- Шварц | 1 час | 75 |
| | | | | 77 |
| | | | | 77 |
| | | | | 76 |
| | | | | 76 |
| РА-2 №076 | 06.08.2015 | Смоленск | 1 час | 75 |
| | | | | 75 |
| | | | | 76 |
| | | | | 76 |
| | | | | 76 |
| РА-2 №005 | 06.07.2015 | Новомосковс- Шварц | 1 час | 77 |
| | | | | 77 |
| | | | | 77 |
| | | | | 76 |
| | | | | 76 |

Таблица 8 - Результаты расчетов эквивалентных уровней звука в кабинах рельсовых автобусов, полученные по ГОСТ Р ИСО 9612-2013

| Серия рельсового автобуса | Неопределенность измерения, дБ | Эквивалентный уровень звука за 8ч., дБ |
|---------------------------|--------------------------------|--|
| РА-1 №034 | 1,41 | 79,06 |
| РА-1 №038 | 1,26 | 79,4 |
| РА-1 №040 | 1,24 | 79,79 |
| РА-2 №001 | 1,32 | 77,23 |
| РА-2 №076 | 1,26 | 76,6 |
| РА-2 №005 | 1,26 | 77,6 |

Приложение Б

Таблица 1 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине 2ТЭ10У №438 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 20 | 83 | 0,07 | 80,6 |
| 30 | 84 | | |
| 40 | 85 | | |
| 50 | 86 | | |
| 60 | 87 | | |
| 70 | 88 | | |
| 80 | 86 | | |

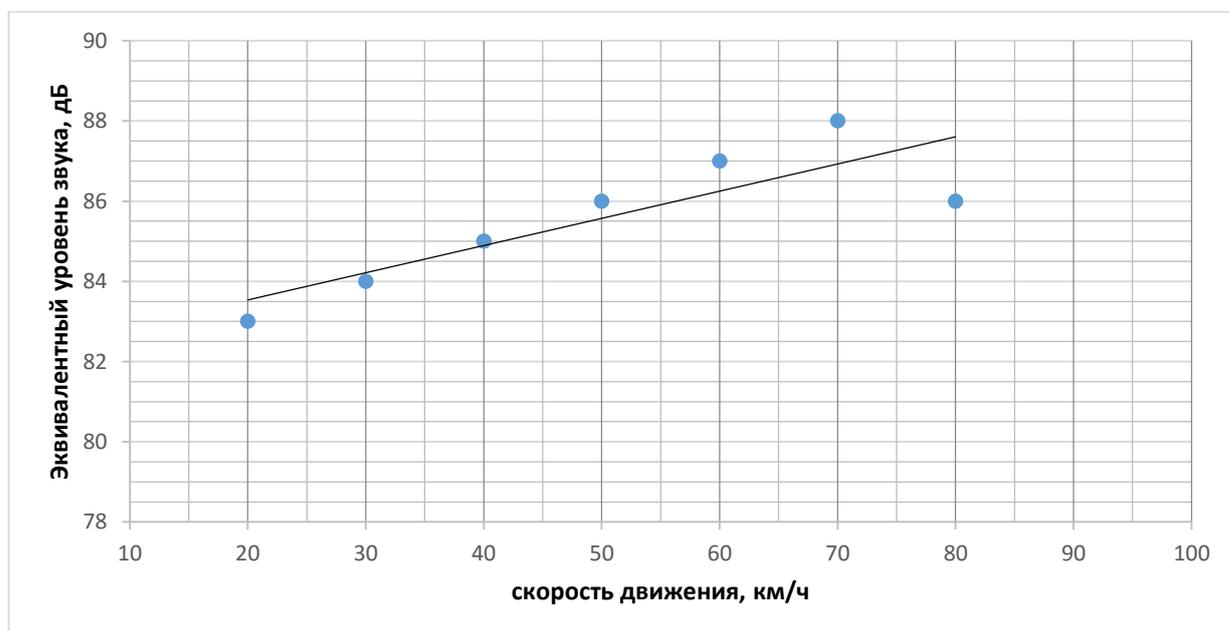


Рисунок 1- Эквивалентный уровень звука в кабине 2ТЭ10У №438 при различных скоростях движения

Таблица 2 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине ТЭП70 №547 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 40 | 74 | 0,06 | 72,52 |
| 60 | 76 | | |
| 70 | 77 | | |
| 80 | 78 | | |
| 90 | 79 | | |
| 100 | 78 | | |
| 110 | 79 | | |
| 120 | 79 | | |
| 130 | 80 | | |

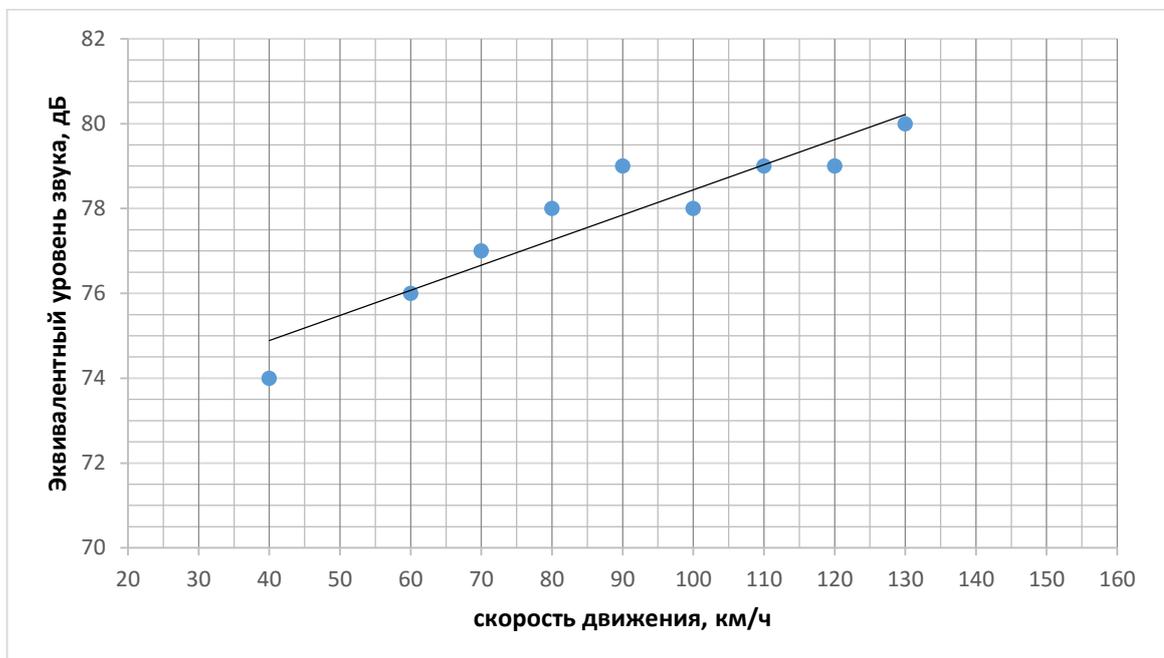


Рисунок 2 - Эквивалентный уровень звука в кабине ТЭП70 №547 при различных скоростях движения

Таблица 3 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине ТЭП70 №406 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 40 | 74 | 0,07 | 70,8 |
| 50 | 74 | | |
| 60 | 75 | | |
| 70 | 77 | | |
| 80 | 76 | | |
| 90 | 77 | | |
| 100 | 78 | | |
| 110 | 79 | | |
| 120 | 80 | | |
| 130 | 80 | | |

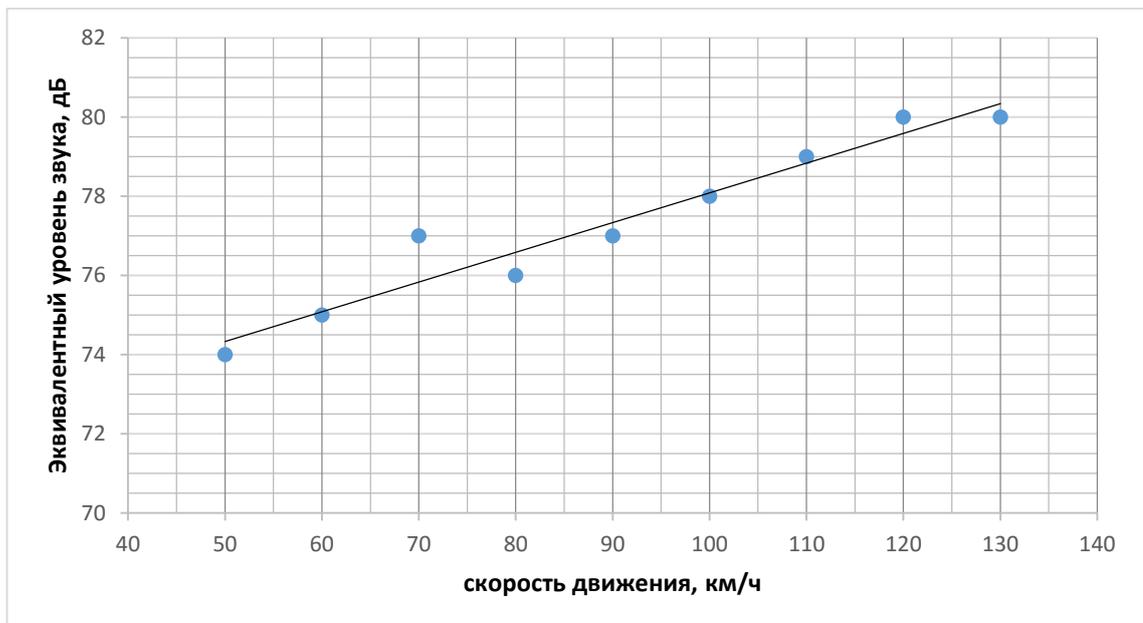


Рисунок 3 - Эквивалентный уровень звука в кабине ТЭП70 №406 при различных скоростях движения

Таблица 4 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине ЧС8 №045 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 40 | 73 | 0,07 | 72,1 |
| 60 | 77 | | |
| 80 | 79 | | |
| 90 | 78 | | |
| 100 | 78 | | |
| 110 | 79 | | |
| 120 | 82 | | |
| 130 | 80 | | |
| 140 | 80 | | |

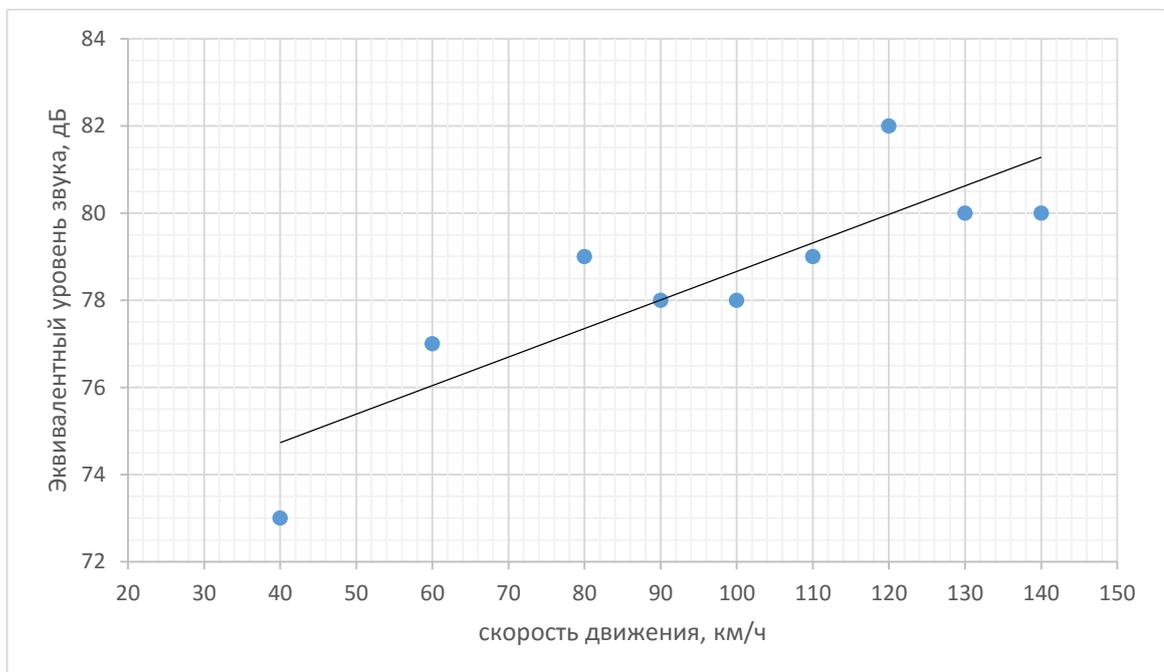


Рисунок 4 - Эквивалентный уровень звука в кабине ЧС8 №045 при различных скоростях движения

Таблица 5 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине ЧС2К №690 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 20 | 73 | 0,07 | 72 |
| 40 | 74 | | |
| 60 | 75 | | |
| 70 | 77 | | |
| 80 | 79 | | |
| 100 | 80 | | |
| 110 | 80 | | |
| 120 | 79 | | |
| 130 | 79 | | |

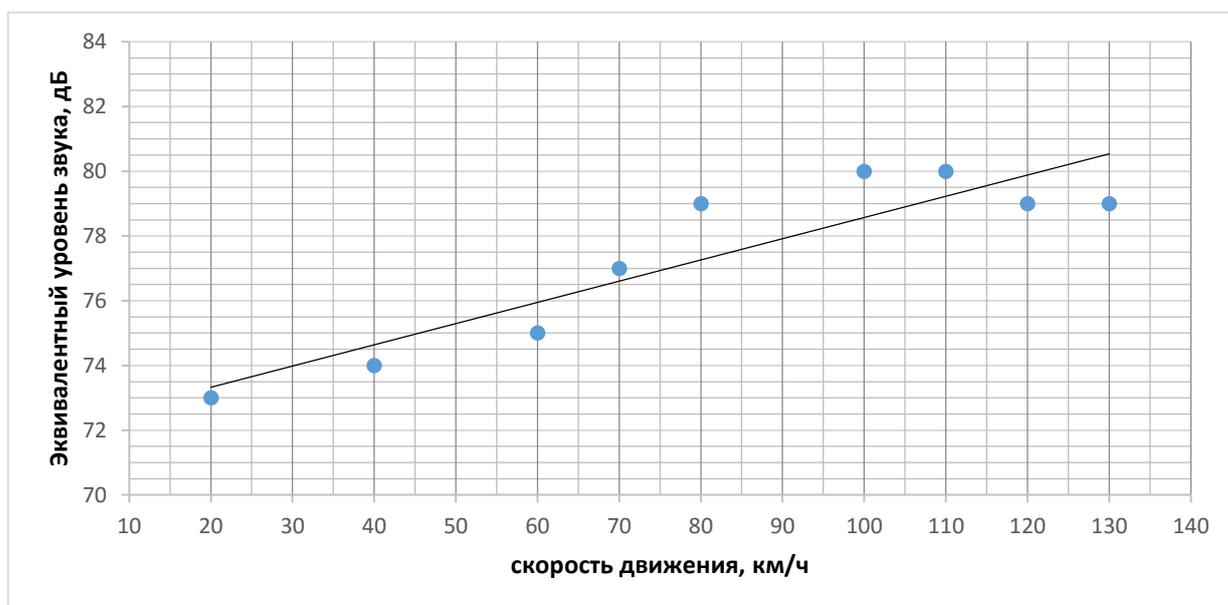


Рисунок 5 - Эквивалентный уровень звука в кабине ЧС2К №690 при различных скоростях движения

Таблица 6 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине ЧС7 №006 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 60 | 74 | 0,06 | 71,4 |
| 70 | 75 | | |
| 80 | 77 | | |
| 100 | 77 | | |
| 110 | 78 | | |
| 120 | 78 | | |
| 130 | 78 | | |

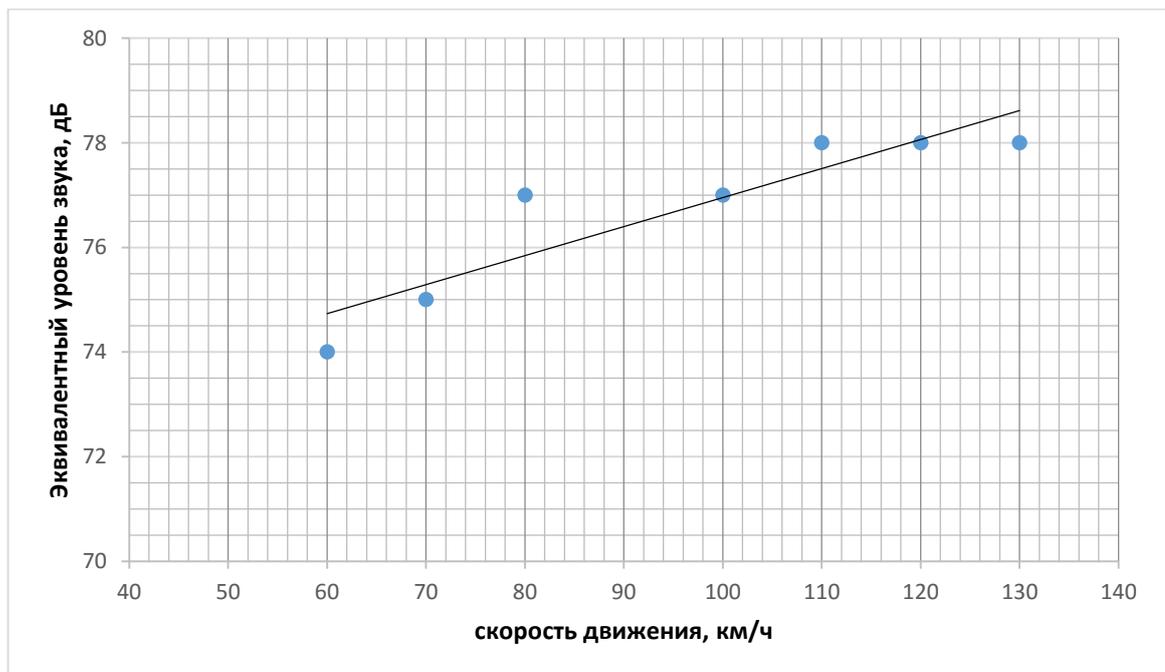


Рисунок 6 - Эквивалентный уровень звука в кабине ЧС7 №006 при различных скоростях движения

Таблица 7 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине ЧС4Т №476 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 40 | 72 | 0,09 | 67,7 |
| 60 | 72 | | |
| 70 | 73 | | |
| 80 | 74 | | |
| 90 | 75 | | |
| 100 | 78 | | |
| 110 | 78 | | |
| 120 | 78 | | |
| 130 | 78 | | |

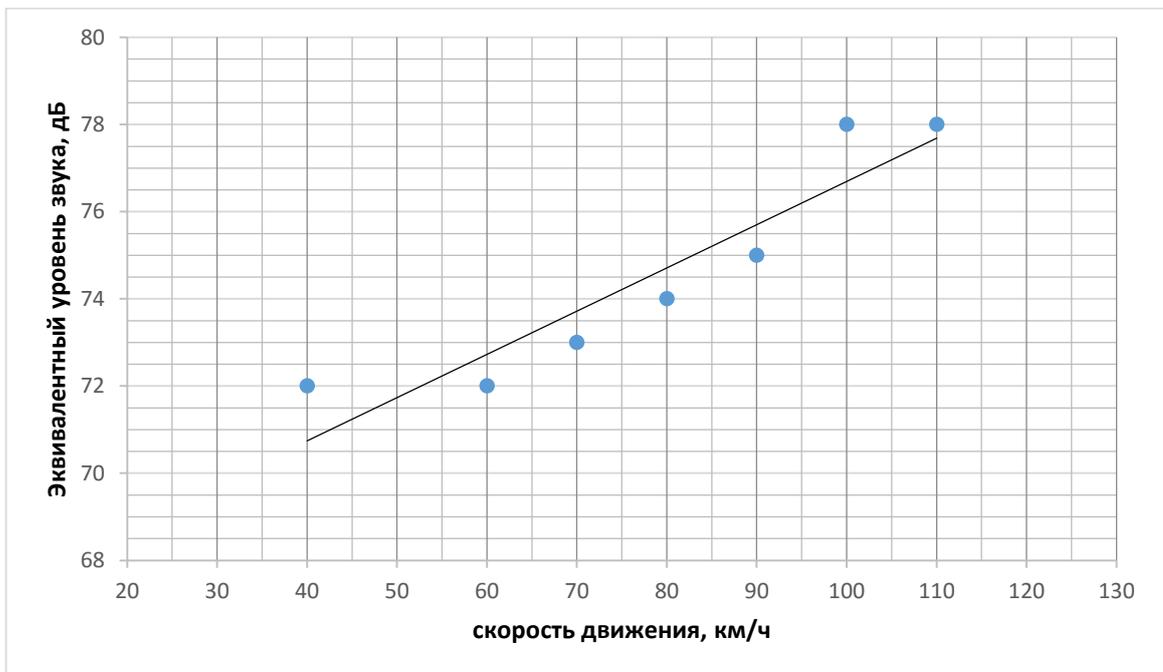


Рисунок 7 - Эквивалентный уровень звука в кабине ЧС4Т №476 при различных скоростях движения

Таблица 8 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине ЭП20 №031 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 20 | 63 | 0,06 | 62,5 |
| 40 | 65 | | |
| 60 | 66 | | |
| 70 | 68 | | |
| 80 | 69 | | |
| 100 | 68 | | |
| 110 | 69 | | |
| 120 | 71 | | |
| 130 | 70 | | |

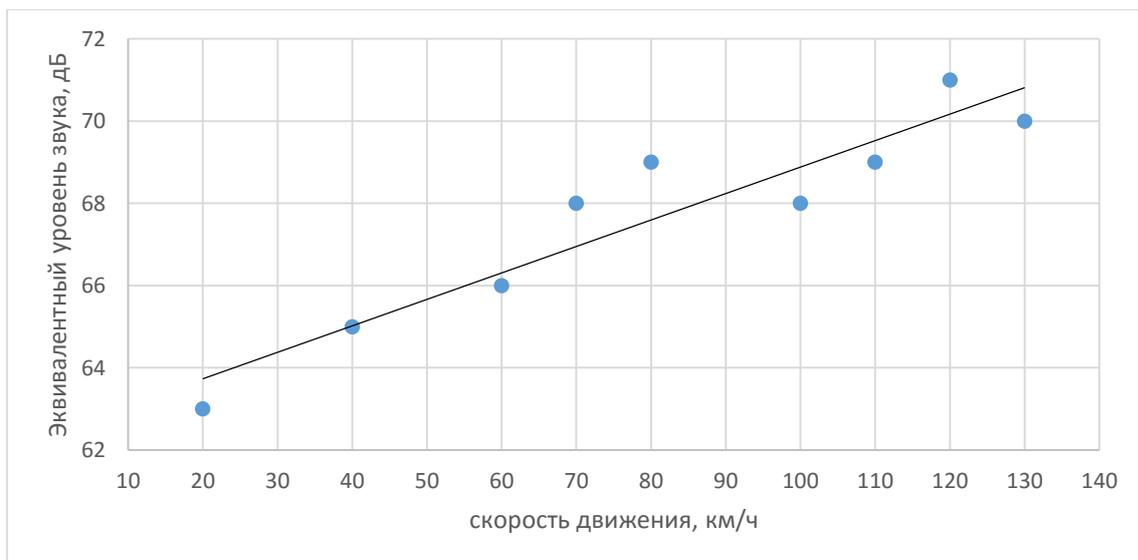


Рисунок 8 - Эквивалентный уровень звука в кабине ЭП20 №031 при различных скоростях движения

Таблица 9 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине ЭП10 №005 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 70 | 72 | 0,08 | 67,8 |
| 80 | 74 | | |
| 90 | 75 | | |
| 100 | 77 | | |
| 110 | 78 | | |
| 120 | 79 | | |
| 130 | 78 | | |
| 140 | 77 | | |

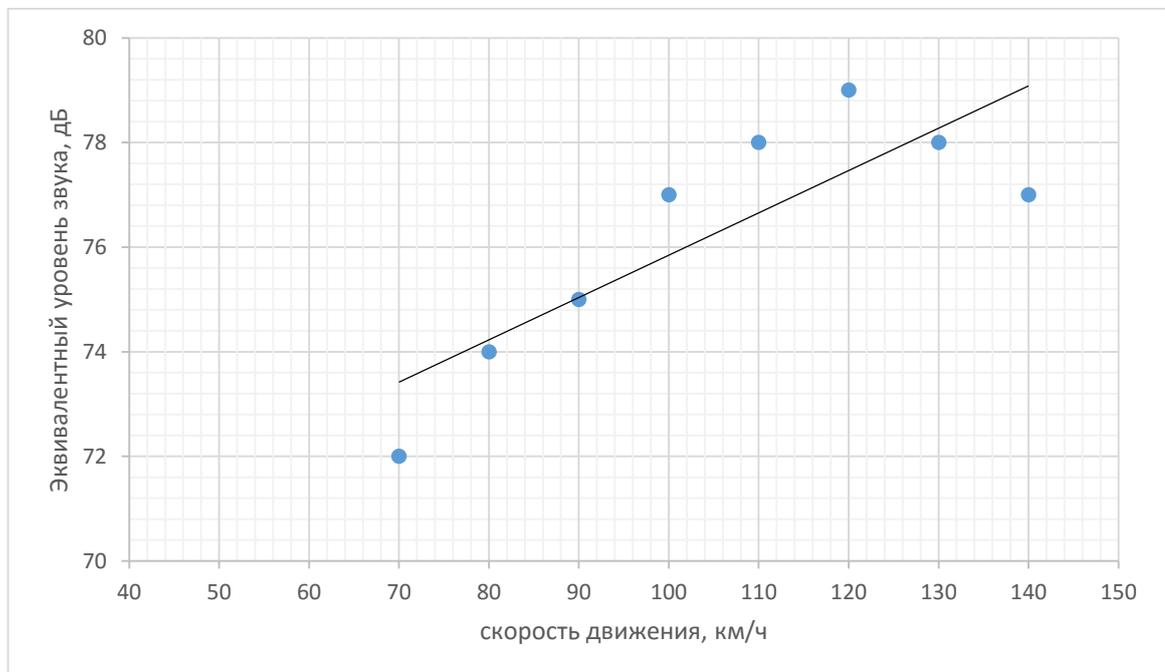


Рисунок 9 - Эквивалентный уровень звука в кабине ЭП10 №005 при различных скоростях движения

Таблица 10 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине ЭП20 №049 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 40 | 64 | 0,07 | 60,6 |
| 60 | 65 | | |
| 80 | 66 | | |
| 100 | 67 | | |
| 120 | 69 | | |
| 130 | 72 | | |
| 140 | 70 | | |

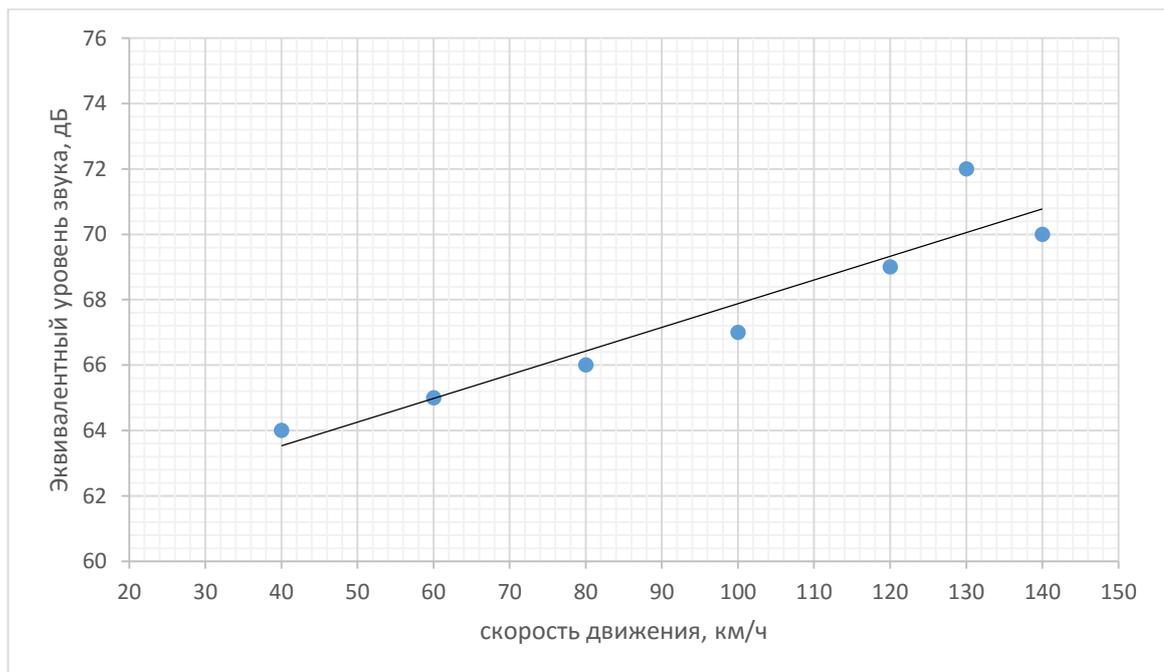


Рисунок 10 - Эквивалентный уровень звука в кабине ЭП20 №049 при различных скоростях движения

Таблица 11 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине ЭП10 №012 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 20 | 70 | 0,07 | 69,5 |
| 40 | 72 | | |
| 60 | 75 | | |
| 80 | 75 | | |
| 100 | 76 | | |
| 120 | 77 | | |
| 130 | 78 | | |

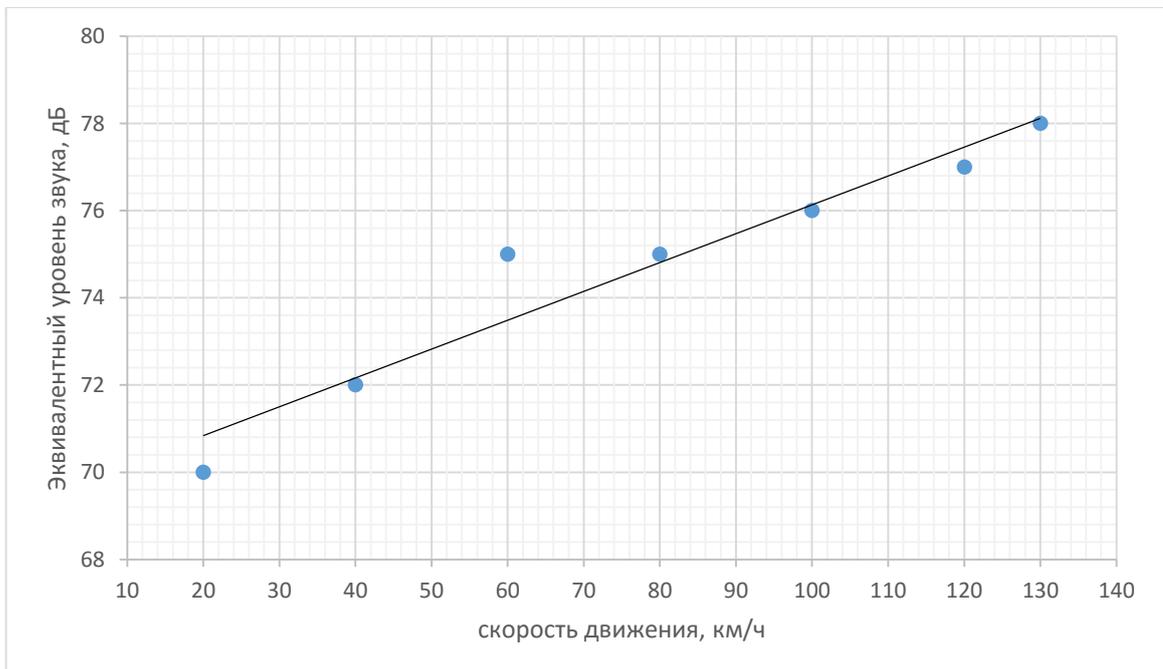


Рисунок 11 - Эквивалентный уровень звука в кабине ЭП10 №012 при различных скоростях движения

Таблица 12 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине ВЛ11 №755-733 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 20 | 76 | 0,07 | 74,9 |
| 40 | 78 | | |
| 60 | 79 | | |
| 70 | 80 | | |
| 80 | 80 | | |

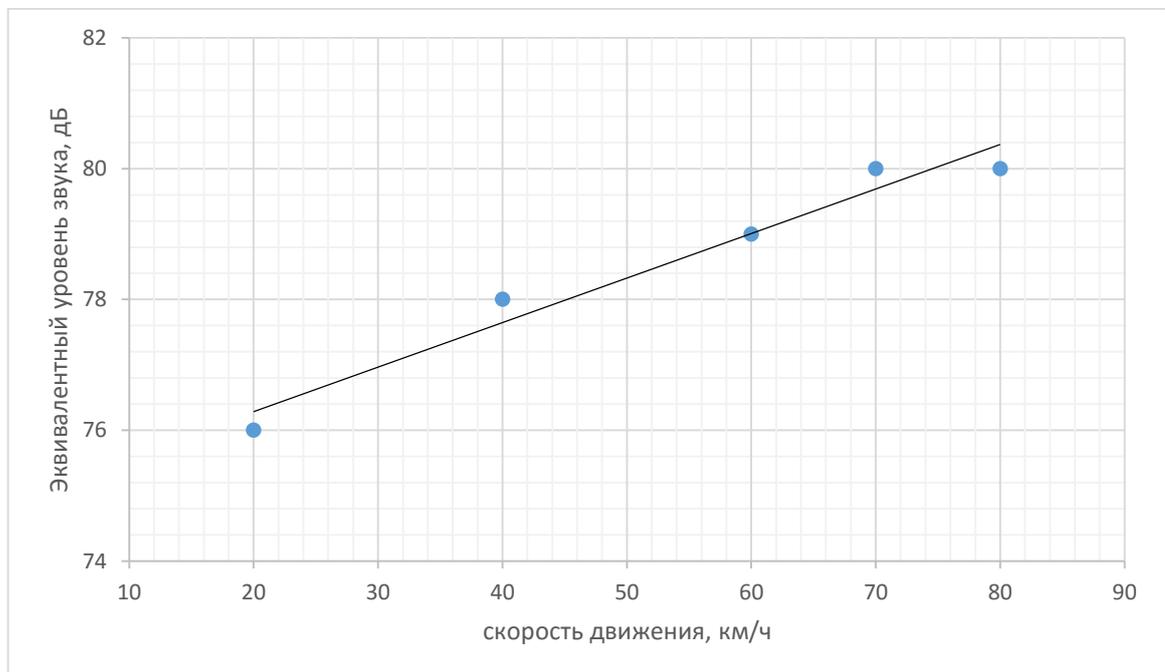


Рисунок 12 - Эквивалентный уровень звука в кабине ВЛ11 №755-733 при различных скоростях движения

Таблица 13 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине ВЛ11М №793 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 20 | 77 | 0,08 | 74,7 |
| 40 | 78 | | |
| 50 | 78 | | |
| 60 | 79 | | |
| 70 | 81 | | |
| 80 | 82 | | |

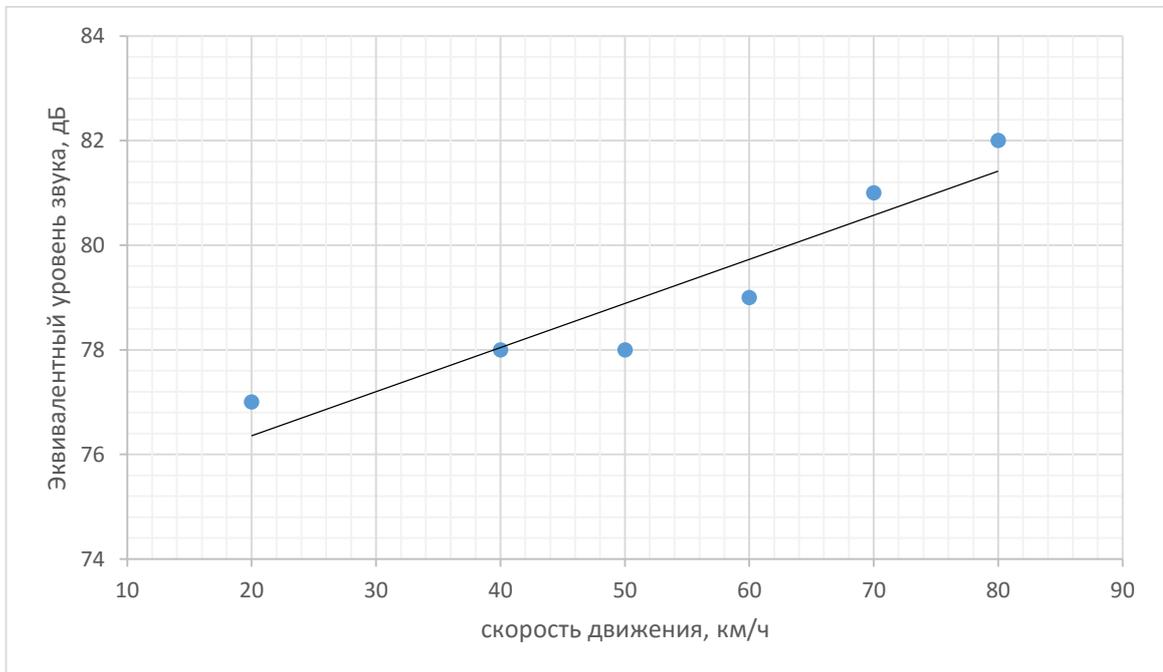


Рисунок 13 - Эквивалентный уровень звука в кабине ВЛ11М №793 при различных скоростях движения

Таблица 14 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине ВЛ11М №349 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 20 | 75 | 0,07 | 73,4 |
| 40 | 76 | | |
| 50 | 77 | | |
| 60 | 78 | | |
| 70 | 79 | | |
| 80 | 79 | | |

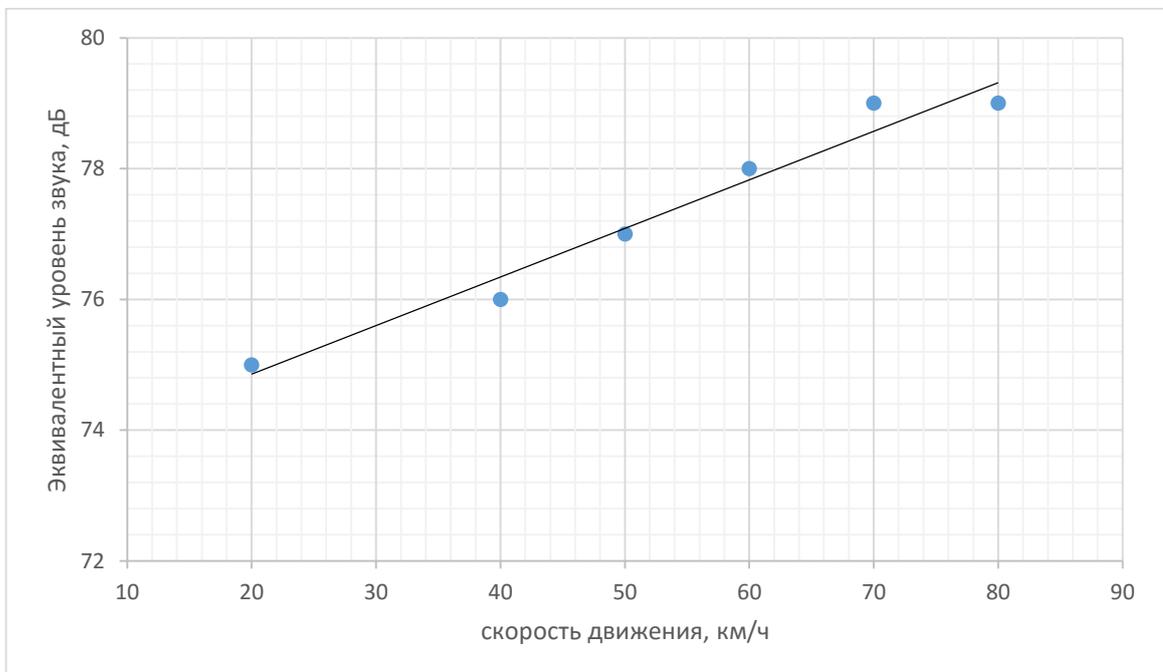


Рисунок 14 - Эквивалентный уровень звука в кабине ВЛ11М №349 при различных скоростях движения

Таблица 15 - Результаты измерения эквивалентных уровней звука в кабине ВЛ10У №987 при различных скоростях движения

| Скорость движения, км/ч | Эквивалентный уровень звука, дБ | Коэффициент зависимости эквивалентного уровня звука в кабине от скорости движения k_c | Эквивалентный уровень звука в кабине локомотива на стоянке L_0 , дБ |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| 20 | 78 | 0,07 | 76,4 |
| 40 | 79 | | |
| 50 | 80 | | |
| 60 | 81 | | |
| 70 | 82 | | |
| 80 | 82 | | |

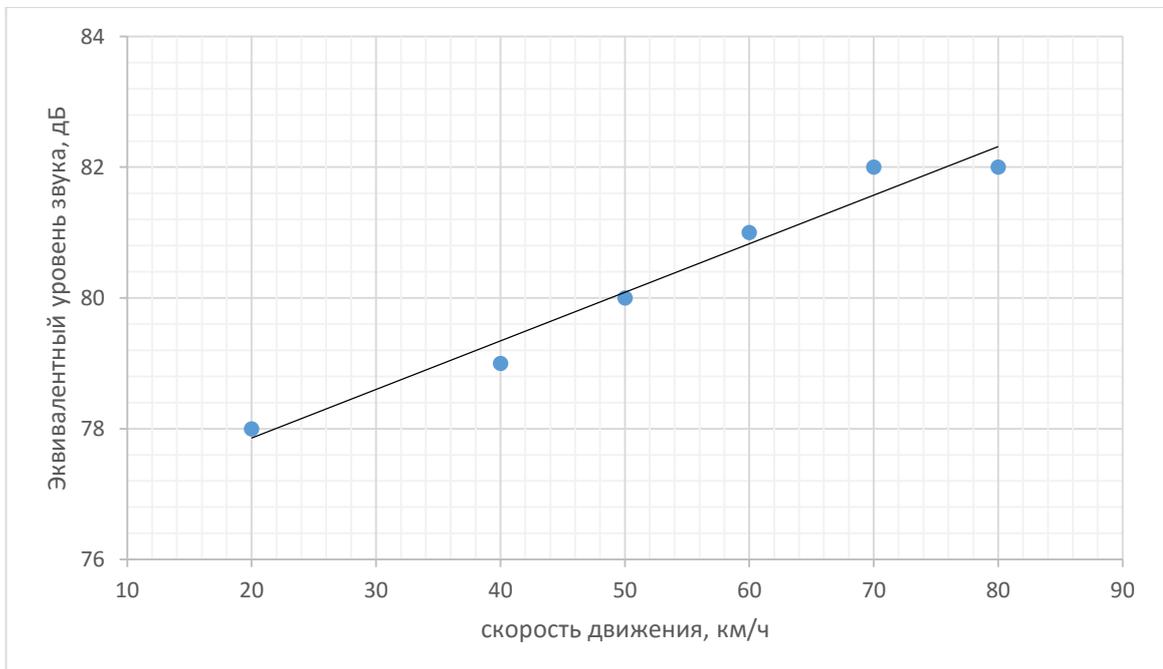


Рисунок 15 - Эквивалентный уровень звука в кабине ВЛ10У №987 при различных скоростях движения

Приложение В

Таблица 1- Результаты расчета вклада дополнительных источников шума в общее шумовое воздействие на рабочем месте машиниста локомотива ЧС4Т №476

| Наименование определяемых величин | Значение определяемых величин |
|---|-------------------------------|
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 130 км/ч, дБ | 78 |
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 130 км/ч с учетом переговоров по рации, дБ | 83 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации (Δ рация), дБ | 5 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации, % | 6,4 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом срабатывания ЭПК, дБ | 84 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывании ЭПК (Δ ЭПК), дБ | 6 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывания ЭПК, % | 7,7 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом открытых окон, дБ | 82 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон (Δ окно), дБ | 4 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон, % | 5,1 |

Таблица 2 - Результаты расчета вклада дополнительных источников шума в общее шумовое воздействие на рабочем месте машиниста локомотива ЧС2К №690

| Наименование определяемых величин | Значение определяемых величин |
|---|-------------------------------|
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 130 км/ч, дБ | 79 |
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 130 км/ч с учетом переговоров по рации, дБ | 82 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации (Δ рация), дБ | 3 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации, % | 3,8 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом срабатывания ЭПК, дБ | 83 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывании ЭПК (Δ ЭПК), дБ | 4 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывания ЭПК, % | 5,1 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом открытых окон, дБ | 83 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон (Δ окно), дБ | 4 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон, % | 5,1 |

Таблица 3 - Результаты расчета вклада дополнительных источников шума в общее шумовое воздействие на рабочем месте машиниста локомотива ЧС8 №045

| Наименование определяемых величин | Значение определяемых величин |
|---|-------------------------------|
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 130 км/ч, дБ | 80 |
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 130 км/ч с учетом переговоров по рации, дБ | 83 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации (Δ рация), дБ | 3 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации, % | 3,8 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом срабатывания ЭПК, дБ | 84 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывании ЭПК (Δ ЭПК), дБ | 4 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывания ЭПК, % | 5 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом открытых окон, дБ | 84 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон (Δ окно), дБ | 4 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон, % | 5 |

Таблица 4 - Результаты расчета вклада дополнительных источников шума в общее шумовое воздействие на рабочем месте машиниста локомотива ЧС7 №006

| Наименование определяемых величин | Значение определяемых величин |
|---|-------------------------------|
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 130 км/ч, дБ | 78 |
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 130 км/ч с учетом переговоров по рации, дБ | 82 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации (Δ рация), дБ | 4 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации, % | 5,1 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом срабатывания ЭПК, дБ | 84 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывании ЭПК (Δ ЭПК), дБ | 6 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывания ЭПК, % | 7,7 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом открытых окон, дБ | 83 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон (Δ окно), дБ | 5 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон, % | 6,4 |

Таблица 5 - Результаты расчета вклада дополнительных источников шума в общее шумовое воздействие на рабочем месте машиниста локомотива ВЛ11 №755-733

| Наименование определяемых величин | Значение определяемых величин |
|---|-------------------------------|
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 70 км/ч, дБ | 80 |
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 70 км/ч с учетом переговоров по рации, дБ | 84 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации (Δ рация), дБ | 4 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации, % | 5 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 70 км/ч с учетом срабатывания ЭПК, дБ | 86 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывании ЭПК (Δ ЭПК), дБ | 6 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывания ЭПК, % | 7,5 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом открытых окон, дБ | 84 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон (Δ окно), дБ | 4 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон, % | 5 |

Таблица 6 - Результаты расчета вклада дополнительных источников шума в общее шумовое воздействие на рабочем месте машиниста локомотива ТЭП70 №406

| Наименование определяемых величин | Значение определяемых величин |
|---|-------------------------------|
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 130 км/ч, дБ | 80 |
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 130 км/ч с учетом переговоров по рации, дБ | 85 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации (Δ рация), дБ | 5 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации, % | 6,3 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом срабатывания ЭПК, дБ | 87 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывании ЭПК (Δ ЭПК), дБ | 7 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывания ЭПК, % | 8,8 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом открытых окон, дБ | 84 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон (Δ окно), дБ | 4 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон, % | 5 |

Таблица 7 - Результаты расчета вклада дополнительных источников шума в общее шумовое воздействие на рабочем месте машиниста локомотива ТЭП70 №547

| Наименование определяемых величин | Значение определяемых величин |
|---|-------------------------------|
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 130 км/ч, дБ | 80 |
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 130 км/ч с учетом переговоров по радиации, дБ | 85 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по радиации (Δ радиация), дБ | 5 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по радиации, % | 6,3 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом срабатывания ЭПК, дБ | 87 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывании ЭПК (Δ ЭПК), дБ | 7 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывания ЭПК, % | 8,8 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом открытых окон, дБ | 85 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон (Δ окно), дБ | 5 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон, % | 6,3 |

Таблица 8 - Результаты расчета вклада дополнительных источников шума в общее шумовое воздействие на рабочем месте машиниста локомотива 2ТЭ10У №438

| Наименование определяемых величин | Значение определяемых величин |
|---|-------------------------------|
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 70 км/ч, дБ | 88 |
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 70 км/ч с учетом переговоров по рации, дБ | 92 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации (Δ рация), дБ | 4 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации, % | 4,5 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 70 км/ч с учетом срабатывания ЭПК, дБ | 95 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывании ЭПК (Δ ЭПК), дБ | 7 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывания ЭПК, % | 7,9 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом открытых окон, дБ | 92 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон (Δ окно), дБ | 4 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон, % | 4,5 |

Таблица 9 - Результаты расчета вклада дополнительных источников шума в общее шумовое воздействие на рабочем месте машиниста локомотива ЧМЭТ №5070

| Наименование определяемых величин | Значение определяемых величин |
|---|-------------------------------|
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 10 км/ч, дБ | 79 |
| Эквивалентный уровень звука L_A при скорости 10 км/ч с учетом переговоров по рации, дБ | 83 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации (Δ рация), дБ | 4 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и с учетом переговоров по рации, % | 5,1 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 10 км/ч с учетом срабатывания ЭПК, дБ | 85 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывании ЭПК (Δ ЭПК), дБ | 6 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и срабатывания ЭПК, % | 7,6 |
| Эквивалентный уровень звука при скорости 130 км/ч с учетом открытых окон, дБ | 84 |
| Разность эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон (Δ окно), дБ | 5 |
| Процент разности эквивалентных уровней звука при скорости и от открытых окон, % | 6,3 |