

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО УрГУПС)

На правах рукописи



Закирова Альфия Резавановна

**СИСТЕМА ЗАЩИТЫ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА
ПРИ АДДИТИВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

Специальность 2.10.3. – «Безопасность труда»

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

Научные консультанты:

доктор технических наук, профессор **Кузнецов К.Б.**

доктор технических наук, профессор **Сидоров А.И.**

Екатеринбург – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	15
1.1. Обеспечение безопасности труда электротехнического персонала: влияние электрических и магнитных полей до 1 кГц.....	15
1.2. Практика исследования условий труда по электрическим и магнитным полям до 1кГц	19
1.3. Анализ результатов исследователей, указывающих на вредное воздействие ЭМП на электротехнический персонал.....	49
1.4. Существующая система защиты электротехнического персонала при воздействии электрических и магнитных полей 50 Гц.....	68
Задачи исследования.....	74
Глава 2. БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ.....	76
2.1. Определение энергетической нагрузки ЭМП.....	76
2.2. Обоснование применения предельно безопасных уровней по среднесменной энергетической нагрузке ЭМП.....	79
2.3. Исследование влияния электрических и магнитных полей разных частот на биологические объекты.....	85
2.3.1. Разработка устройства для создания энергетической нагрузки ЭМП.....	86
2.3.2. Оценка напряжённости электрического и магнитного полей до 1кГц в разработанном устройстве.....	88
2.3.3. Исследование аддитивного воздействия электрических и магнитных полей на биологические объекты.....	93
2.4. Определение низкочастотных ЭМП, проникающих внутрь биологических тел	97
2.5. Аддитивная дозовая оценка параметров ЭМП на рабочих местах в производственных условиях.....	113
2.6. Оценка аддитивного воздействия электрических и магнитных полей на электротехнический персонал с помощью логико-вероятностной модели.....	129
Выводы по главе 2.....	143
Глава 3 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭМП В ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА.....	145
3.1. Определение среднесменных энергетических нагрузок ЭМП в электроподвижном составе.....	145
3.2. Моделирование энергетических характеристик ЭМП в кабине электроподвижного состава.....	163
3.3. Уравнения регрессионных моделей энергетических характеристик ЭМП в кабине электроподвижного состава, расположенного на однопутной линии контактной сети.....	181

3.4. Уравнения регрессионных моделей энергетических характеристик ЭМП в кабине электроподвижного состава, расположенного на двухпутной линии контактной сети.....	186
3.5. Уравнения регрессионных моделей энергетических характеристик ЭМП в кабине электроподвижного состава, расположенного на трехпутной линии контактной сети.....	189
Выводы по главе 3.....	192
Глава 4. АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ.....	194
4.1. Экспериментальные исследования электрических и магнитных полей в электровозах постоянного тока.....	194
4.2. Экспериментальные исследования электрических и магнитных полей в электровозах переменного тока.....	200
4.3. Экспериментальные исследования электрических и магнитных полей в тяговых агрегатах	203
Выводы по главе 4.....	207
Глава 5. СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА: ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА.....	209
5.1. Аналитические исследования энергетических характеристик ЭМП в электроподвижном составе.....	209
5.2. Практика использования категорий вероятности повреждения здоровья персонала при воздействии электромагнитных полей.....	220
5.3. Система защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей.....	230
5.3.1. Технические решения, входящие в систему защиты при вредном влиянии электрических и магнитных полей.....	243
5.3.2. Способ и устройство контроля уровня напряжённости магнитного поля электроустановок переменного тока и их тестирование в электроподвижном составе.....	244
5.3.3. Способ и устройство контроля напряжённости магнитного поля по приведённым уровням высших гармонических составляющих переменного тока	250
5.3.4. Устройство для контроля напряжённости магнитных полей переменного и постоянного токов.....	253
5.3.5. Устройство для измерения энергетической нагрузки ЭМП.....	255
5.3.6. Определение социально-экономической эффективности внедрения прибора «ИМП УРГУПС-1»	261
Выводы по главе 5.....	274
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	276
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	278

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Проект ГОСТ Р СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ АДДИТИВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ.....	303
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Акт внедрения устройства контроля и измерения магнитного поля.....	318
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Акт внедрения методики определения вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала.....	319
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Заключение о возможности применения методических указаний.....	320
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Программа проведения совместных экспериментальных исследований	325
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Акт внедрения устройства для исследования энергии ЭМП на биологических объектах.....	326
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Справки о внедрении результатов диссертационного исследования в учебный процесс.....	327
ПРИЛОЖЕНИЕ З. Программа проведения теоретических исследований в электроподвижном составе.....	331
ПРИЛОЖЕНИЕ И. Программа проведения экспериментальных исследований в электроподвижном составе.....	332
ПРИЛОЖЕНИЕ К. Разрешение на проведение экспериментальных исследований в тяговых агрегатах.....	333
ПРИЛОЖЕНИЕ Л. Патенты на изобретения.....	334
ПРИЛОЖЕНИЕ М. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.....	339

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Инфраструктура систем тягового электроснабжения характеризуется многообразием технических средств (электрооборудование двухполюсного и однофазного тягового электроснабжения) с различными режимами работы и своей спецификой обслуживания.

«Электротехнический персонал, обслуживающий электроподвижной состав, попадает в зону аддитивного (совместного) воздействия электрического и магнитного влияния. ЭМП с высшими гармоническими составляющими до 1кГц, кроме 50 Гц, не оцениваются и не» [60] контролируются. Основные принципы обеспечения безопасности труда не выполняются, возможно повреждение здоровья работников. Чтобы соответствовать требованиям охраны труда, необходимо создать систему защиты электротехнического персонала. Эта система должна включать новые подходы в методическом, организационном, лечебно-профилактическом и техническом обеспечении, учитывающие аддитивное воздействие на электротехнический персонал электрических и магнитных полей.

Система защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей позволит обеспечить конституционное право работника на труд в условиях, отвечающих требованиям благоприятной окружающей среды (ст. 42 Конституции РФ), предотвратить сокрытие событий, создающих угрозу для здоровья людей (персонала), предупредить возникновение и распространение профессионально обусловленных заболеваний, вызванных воздействием на персонал ЭМП до 1кГц.

Таким образом, эта проблема является актуальной. Её решение направлено на сохранение здоровья персонала, достижение новых научных результатов в области безопасности труда, в том числе и электромагнитной безопасности персонала.

Степень разработанности проблемы

Большой вклад в решение проблем безопасности труда в «комплексе с разработкой нормативов, стандартов, способов и средств защиты персонала внесён С.М. Аполлонским, Р.В. Афанасьевым, В.Н. Бинги, В.Ф. Бухтояровым, О.А. Григорьевым, Ю.Г. Григорьевым, П.А. Долиным, Т.В. Калядой, Р.Н. Карякиным, Ю.И. Кольчугиным, К.Р. Малаяном, А.В. Меркуловым, И.С. Окраинской, В.Н. Никитиной, Ю.П. Пальцевым, Н.Б. Рубцовой, Т.Е. Сазоновой, А.А. Сошниковым, А.И. Сидоровым, Ю.А. Токарским, Е.В. Титовым, Г.И. Тихоновой, М. Andrew, D. Savitz, V. Robert» [60] и их коллегами.

Исследованию ЭМП и решению проблем электромагнитной безопасности посвящены работы М.П. Бадера, С.О. Белинского, С.В. Бирюкова, С.П. Власова, А.Н. Горского, В.П. Закарюкина, А.В. Крюкова, А.П. Киселева, С.М. Коробейникова, А.Б. Косарева, Б.И. Косарева, А.В. Котельникова, К.Б. Кузнецова, Н.М. Легкого, Г.В. Ломаева, Ю.П. Пальцева, Л.В. Походзея, Ю.Г. Рябова, J. Arrilaga, D. Bradley, P. Bodger и др [40].

Работы этих учёных составляют теоретическую и методологическую базу настоящего исследования. Однако оценка, контроль и нормирование ЭМП всего частотного диапазона до 1кГц, а также аддитивное воздействие электрических и магнитных полей, несмотря на её очевидную научно-практическую актуальность и значимость, ещё не проводились.

«Целью работы является создание системы защиты электротехнического персонала при» [44] аддитивном воздействии электрических и магнитных полей [60].

Объект исследования: тяговая сеть и электрооборудование электроподвижного состава [60].

«Предмет исследования: закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП» [60] в электроподвижном составе (ЭПС).

Для достижения поставленной цели потребовалось решение следующих задач:

1. Создать методику оценки, контроля и нормирования ЭМП и логико-вероятностные модели возможных исходов аддитивного воздействия электрических и магнитных полей на электротехнический персонал.
2. Разработать математическую модель энергетических характеристик ЭМП в ЭПС для построения системы защиты.
3. Выполнить экспериментальные и аналитические исследования «электрических и магнитных полей переменного тока на рабочих местах электротехнического персонала» [60].
4. Разработать «систему защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей и обосновать предложенные способы защиты и технические решения» [44].

Научная новизна

1. «Впервые установлены закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП от параметров тяговой сети» [60], позволяющие обеспечить «создание системы защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей» [44].
2. Для оценки вредного воздействия ЭМП на электротехнический персонал создана логико-вероятностная модель, позволяющая категорировать степень вредного воздействия энергетических характеристик ЭМП на персонал.
3. Подготовлен «проект ГОСТ Р» [44] «Определение вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей» [60].
4. «Впервые разработана и обоснована система защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей, базирующаяся на энергетических характеристиках ЭМП» [60].

5. Разработаны способы и устройства защиты персонала от электромагнитных полей до 1кГц, которые совместно с полученными нами закономерностями изменения энергетических характеристик ЭМП от параметров тяговой сети и предложенными нормами образуют систему защиты персонала:

- способ и устройство контроля уровня напряжённости магнитного поля по приведённым уровням высших гармонических составляющих переменного тока [60];
- «устройство для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля;
- способ, реализованный в устройстве контроля уровня напряжённости магнитного поля 50 Гц;
- устройство для контроля напряжённости магнитных полей переменного и постоянного токов;
- устройство» [60], позволяющее создавать энергетическую нагрузку ЭМП.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в «разработке системы защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей» [44], включающей закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП, математические модели, способы защиты персонала:

2. разработан метод определения вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала и опробован относительно ЭПС переменного тока;

3. установлены закономерности изменения параметров ЭМП, позволяющие обеспечить «создание системы защиты электротехнического персонала при» [44] «аддитивном воздействии электрических и магнитных полей;

4. создана математическая модель оценки среднесменной энергетической нагрузки ЭМП, которая позволяет учитывать аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на электротехнический персонал» [60], обслуживающий ЭПС;

5. разработана методика оценки, контроля и нормирования аддитивного вредного воздействия на электротехнический персонал «электрических и магнитных полей частотой от 25 Гц до 1 кГц;

6. подготовлен проект ГОСТ Р «Определение вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей»» [44];

7. предложены и обоснованы «категории вероятности повреждения здоровья персонала в зависимости от энергетической нагрузки ЭМП, дозы потенциальной энергии облучения, удельной дозы потенциальной поглощённой энергии ЭМП в» [60] электроподвижном составе тяговой сети (электровозах постоянного и «переменного токов, промышленных электровозах), которые можно использовать при исследовании энергетических характеристик ЭМП на аналогичных рабочих местах;

8. разработаны и обоснованы способы и устройства защиты персонала от вредного воздействия электрических и магнитных полей» [60], защищённые патентами РФ;

9. создано устройство (защищённое патентом РФ), предназначенное для исследования аддитивного вредного воздействия различных уровней энергетической нагрузки низкочастотных ЭМП на биологические объекты.

Методология и методы исследования

Решение проблем и сопутствующих задач осуществлялось на основе теоретических и экспериментальных методов исследования, методов индукции и конечных элементов, теории ЭМП. Теоретические методы включают анализ нормативных документов и научных статей по ограничению воздействия на персонал электромагнитных полей переменного тока частотой до 1 кГц,

математическое моделирование распределения энергетических характеристик ЭМП тяговой сети в электроподвижном составе переменного тока, а также разработку «деревьев логико-вероятностных моделей для определения категорий вероятности повреждения здоровья персонала» [60].

Экспериментальные методы включали «проведение инструментальных измерений и анализ полученных уровней напряжённости электрических и магнитных полей» [65] переменного тока до 1 кГц на объектах тяговой сети.

На защиту выносятся:

1. Обоснование необходимости разработки мероприятий по защите персонала от превышающих безопасные уровни энергетических характеристик ЭМП на «рабочих местах электротехнического персонала.
2. Логико-вероятностная модель, содержащая события, на основе которых определяется вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей, а в основу её построения положены предельно безопасные уровни.
3. Уравнения регрессионных моделей в ЭПС для прогнозирования аддитивного воздействия электрических и магнитных полей на электротехнический персонал, исследуемые по электрическим и магнитным полям, энергетической нагрузке ЭМП, дозе потенциальной энергии облучения, удельной дозе потенциальной поглощённой энергии ЭМП» [60].
4. Структура системы защиты персонала при аддитивном влиянии электрических и магнитных полей, включающая организационные мероприятия и технические решения.
5. «Система защиты персонала при аддитивном влиянии электрических и магнитных полей, включающая методическое, организационное, лечебно-профилактическое и техническое обеспечение» [44].

Степень достоверности и апробация результатов

Степень достоверности полученных результатов исследования подтверждается корректным применением методов математического

моделирования и теории электромагнитных полей, базирующихся на фундаментальных и прикладных исследованиях в электроэнергетике, биофизике, электробезопасности, «разработанных ведущими отечественными и зарубежными учёными в области изучения вредного действия ЭМП на биологические объекты и человека, статистических материалах, авторских разработках и обобщении собственного практического опыта» [40]. Обеспечивается совпадением результатов моделирования ЭМП с данными, полученными в программе ELCUT.

«Основные материалы и результаты диссертационной работы изложены и одобрены на ежегодной межвузовской научно-технической конференции Уральского государственного университета путей сообщения «Молодые ученые – транспорту-2009» (Екатеринбург, 2009), XII Международной НПК «Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго- и ресурсосбережение» (Краснодарский край, пос. Новомихайловский, 2010), научно-технической конференции «Транспорт XXI века: исследование, инновации, инфраструктура» [40] (Екатеринбург, 2011), Всероссийской «научно-технической конференции с международным участием «Приборы и методы измерений контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте» (г. Омск, 2013), VI Международной научно-практической конференции «Образование, охрана труда и здоровье» (г. Владикавказ, 2014), Международной научно-практической конференции [155] «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии» (г. Челябинск, 2015), Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию горного факультета «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование» [131] (Санкт-Петербург, 2015), Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности» [114] (г. Воронеж, 2015), Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг» [111] (г. Новочеркасск, 2015), Международной научно-технической конференции «Инновационный транспорт-2016: специализация

железных дорог» [3] (Екатеринбург, 2016), Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы, современное состояние, инновации в области техносферной безопасности» (Екатеринбург, 2016), «Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг» (г. Челябинск, 2016), Международной научно-практической конференции» [62] «Интеграция образовательной, научной и воспитательной деятельности в организациях общего и профессионального образования» (Екатеринбург, 2017), Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг» [62] (Санкт-Петербург, 2017), Международной научно-технической конференции «Автоматизация» (г. Сочи, 2019), Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии (г. Челябинск, 2019), II Международной научно-практической конференции «Новые импульсы развития: вопросы научных исследований» [47] (г. Саратов, 2020), X Всероссийской научно-практической конференции: «Результаты современных научных исследований и разработок», (г. Пенза, 2020), VIII Международной научной конференции: «Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности», (г. Казань, 2020), XIV Международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура сибирского региона» [57] (г. Иркутск, 2023), Международной научно-практической конференции «Исследование и развитие рельсового и автомобильного транспорта» [47] (Екатеринбург, 2024), а также на семинарах докторантов УрГУПС (Екатеринбург, 2017 и 2019 гг.) и аналогичных семинарах ЮУрГУ (г. Челябинск, 2019, 2022–2025 гг.).

Актуальность «создания системы защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей» [44] подтверждена неоднократными публикациями в профессиональном издании ОАО «РЖД» «Гудок, Уральская магистраль»¹.

¹ Тираж более 127 тыс. экз [49], электронная версия – 243 тыс. адресов): Закирова, А.Р. Кузнецов, К.Б. «Степень негатива определит прибор» / Беседовал С. Мустафин // Гудок, Уральская магистраль. 2014 г. № 153(25588). С. 7; Закирова А.Р., Кузнецов, К.Б. Статья «Прибор-подсказка» / Беседовал С. Мустафин // Гудок, Уральская магистраль. 2014. № 37(25472). С. 7; Закирова А.Р. «Разработан портативный индикатор магнитного поля» / Беседовал С. Мустафин // Гудок, Уральская

Внедрение результатов исследования

Разработанные устройство для контроля напряженности магнитного поля 50 Гц и «Методика «определения вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей» применяются» [44] в Свердловской дирекции капитального ремонта и реконструкции объектов электрификации и электроснабжения – филиале ОАО «РЖД».

Материалы исследований и разработанные методические рекомендации рассмотрены и одобрены Дорпрофжелом Свердловской железной дороги, Северо-Осетинской республиканской организацией Общероссийского профсоюза образования, ФГБОУН Института горного дела УрО РАН и рекомендованы для внедрения на предприятиях.

Устройство для создания аддитивного переменного магнитного и электрического полей от 25 Гц до 1 кГц используется на кафедре «Биология» ФГБОУ ВО ИнГГУ (г. Магас, Республика Ингушетия) с целью проведения исследований «по определению вредного влияния энергетической нагрузки ЭМП на биологические объекты» [60].

Теоретические положения, практические результаты и выводы применяются в учебном процессе на кафедрах «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО УрГУПС (Екатеринбург) и «Безопасность жизнедеятельности» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» (г. Челябинск), что подтверждается соответствующими актами внедрения.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Научные положения, приведенные в диссертации, полностью соответствуют паспорту специальности 2.10.3. «Безопасность труда», а именно:

– первое, второе и четвертое положения соответствуют п. 2 («Изучение физических, химических, биологических и социально-

экономических процессов, определяющих условия труда, установление взаимосвязей с вредными и опасными факторами производственной среды»);

– третье и пятое – п. 6 («Разработка научных основ, установление области рационального применения и оптимизация способов, систем и средств коллективной и индивидуальной защиты работников от воздействия вредных и опасных факторов»).

«Публикации. По теме диссертации опубликовано 62 печатные работы, в том числе 20 статей в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ» [40] (в категории К1–3 статьи, К2–17 статей), 7 публикаций, индексируемых в базе Scopus (в категории Q1–1 статья, Q3–2 статьи), пять патентов РФ на изобретения, две монографии, одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и 27 публикаций в рецензируемых изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения [40], списка использованной литературы и приложений. Основной текст изложен на 302 страницах машинописного текста и содержит 101 рисунок и 67 таблиц.

ГЛАВА 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе трудовой деятельности на «электротехнический персонал воздействуют вредные и опасные производственные факторы, в том числе электрические и магнитные поля. На основании определения уровней производственных факторов оцениваются условия труда персонала. Безопасными считаются условия труда, при которых воздействие на работающих вредных и (или) опасных производственных факторов исключено, либо уровни их воздействия не превышают установленных нормативов» [141]. В иных случаях возникает вероятность повреждения здоровья персонала.

Чтобы разобраться в этом вопросе, рассмотрим:

- обеспечение безопасности труда электротехнического персонала: влияние электрических и магнитных полей до 1кГц (разд. 1.1),
- «практику исследования условий труда по электрическим и магнитным полям до 1кГц (разд. 1.2),
- результаты исследований, указывающих на вредное воздействие ЭМП на электротехнический персонал» [60] «(разд. 1.3),
- систему защиты электротехнического персонала при воздействии электрических и магнитных полей 50 Гц (разд. 1.4)» [163].

В соответствии с полученными данными можно будет сделать вывод о вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала или её отсутствии и необходимости разработки системы защиты.

1.1. Обеспечение безопасности труда электротехнического персонала: влияние электрических и магнитных полей до 1 кГц

Основными принципами обеспечения безопасности труда являются предупреждение и профилактика факторов производственной среды, минимизация повреждения здоровья работников [129]. Соблюдение мер

безопасности труда позволит снизить вероятность возникновения «повреждений здоровья работников.

Согласно работник имеет право получать достоверную» [85] «информацию об условиях труда, степени их вредности, возможных повреждениях здоровья, необходимых средствах индивидуальной защиты и профилактических мероприятиях» [114]. Защищённость персонала утверждена законодательством Российской Федерации «об охране труда и базируется на нормах Конституции [135]:

- в Российской Федерации охраняются труд и здоровье людей (статья 7);
- работник имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены» [135] (ст. 37);
- «каждый имеет право» на охрану здоровья. Скрытие должностными лицами фактов и обстоятельств, создающих угрозу для жизни и здоровья людей, влечёт за собой ответственность в соответствии с федеральным законом (статья 41)» [23].

В диссертационной работе рассмотрено воздействие на «электротехнический персонал таких вредных производственных факторов, как электрические и магнитные поля до 1кГц. Для предупреждения производственно обусловленной заболеваемости их необходимо контролировать и оценивать» [60].

С целью контроля на рабочих местах электрических [60] и магнитных полей до 1кГц на соответствие действующим санитарным правилам и нормам, гигиеническим нормативам и получения санитарно-эпидемиологического заключения проводят производственный контроль и специальную оценку условий труда.

В производственных условиях проведение гигиенической оценки электрического и магнитного поля 50 Гц осуществляется по «МУК 4.3.2491-09» [192].

«Рассмотрим, как нормируются электрические и магнитные поля со» [192] «спектром высших гармонических составляющих в ЭПС, которые аддитивно воздействуют на электротехнический персонал.

В нормативном документе [130] установлены ПДУ для электростатического поля (ЭСП), постоянного магнитного поля (ПМП), электрического и магнитного полей промышленной частоты 50 Гц (ЭП и МП ПЧ), электромагнитных полей в диапазоне частот $\geq 10\text{--}30$ кГц и электромагнитных полей в диапазоне частот ≥ 30 кГц–300 ГГц. ЭМП ПЧ (50 Гц) оценивается отдельно по напряжённости электрического поля» [60] «(E , кВ/м) [60] и магнитного поля (H , А/м) или индукции магнитного поля (мкТл)» [50].

Отдельно выделены предельно допустимые уровни электромагнитных полей на рабочих местах и местах размещения обслуживающего персонала в помещениях локомотивов, моторвагонного и специального самоходного подвижного состава, подвижного состава метрополитена (таблица 1.1), которые дублируют ПДУ для 8-ми часовой экспозиции [130].

Таблица 1.1

ПДУ электрических и магнитных полей в помещениях локомотивов [130]

Наименование показателя	Значение показателя
Напряжённость переменного магнитного поля промышленной частоты (50 Гц), H , А/м, или магнитная индукция, B , мкТл [130] (H/B), не более	80/100
Напряжённость электрического поля промышленной частоты (50 Гц), E , кВ/м, не более [130]	5
Напряжённость постоянного магнитного поля, H , кА/м, не более [130]	8
Напряжённость электростатического поля [39], кВ/м, не более	2

В этом случае «основные нормируемые показатели – напряжённость ЭП и МП, продолжительность экспозиции ЭМП на рабочем месте» [43] – рабочая смена. В соответствии с данными таблицы 1.1. попробуем оценить электрические и магнитные поля на рабочих местах локомотивной бригады, обслуживающей ЭПС переменного тока. Для наглядности воспользуемся деревом событий (рисунок 1.1) [61].

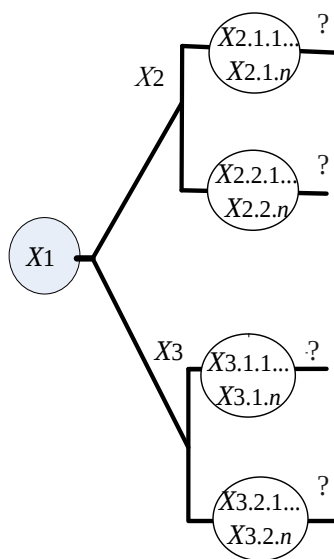


Рисунок 1.1 – Дерево событий для анализа электромагнитной безопасности в электроподвижном составе

В «контактной сети электрических железных дорог однофазного переменного тока, кроме тока основной частоты 50 Гц, содержатся нечетные гармоники тока и напряжения, кратные основной частоте 150, 250, 350, 450, 550, 650 и т.д. Поэтому на рабочих местах электротехнического персонала (событие X_1) одновременно (аддитивно) присутствуют электрические X_2 и магнитные X_3 поля со спектром высших гармонических составляющих» [60], это события $X_{2.1.1} \dots X_{2.1.n}$, $X_{2.2.1} \dots X_{2.2.n}$ и $X_{3.1.1} \dots X_{3.1.n}$ по $X_{3.2.1} \dots X_{3.2.n}$, которые необходимо исследовать [61].

Однако оценить ЭМП в «диапазоне до 1 кГц не представляется возможным, так как предельно допустимые уровни ЭМП в диапазоне 50 Гц –

1 кГц в России не установлены (кроме частоты 50 Гц)» [43], поэтому в таблице 1.1. отсутствуют ПДУ. Электрические и магнитные поля аддитивно воздействуют на электротехнический персонал, обслуживающий ЭПС, что также не учитывается в нормативных документах.

Возникает вопрос: как оценивать электрические и магнитные поля со спектром высших гармонических составляющих «на рабочих местах в ЭПС ? Как можно оценить аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на персонал, находящийся в ЭПС ? Для получения полной картины по уровням электромагнитных полей» [60] в ЭПС рассмотрим практику исследования условий труда по ЭП и МП до 1 кГц (разд. 1.2.).

1.2. Практика исследования условий труда по электрическим и магнитным полям до 1кГц

Для определения на «рабочих местах совокупности факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника, исследуют условия труда. С целью организации безопасных условий труда» [85] ученые и специалисты определяют уровни электрических и магнитных полей от разных источников, разрабатывают способы контроля и оценки ЭМП [2–12,15–18,20,31, 34,39–65,68–79,86–94,98–104,115–120,131–135, 137–140, 143–146, 153, 157, 158, 160,171–176,179,183,185,188–195].

Исследования носят как теоретический, так и экспериментальный характер. При этом учитывается, что источники ЭМП различаются по частоте переменного тока (напряжения), энергии излучения, продолжительности воздействия на персонал, режимам работы. Актуальность исследуемой проблемы подтверждаются большим количеством публикаций.

Сложные технические системы создают аддитивные электрические и магнитные поля со спектром высших гармонических составляющих;

контактная сеть железных дорог не является исключением. Контактная сеть как переменного, так и постоянного тока является источником электрических и магнитных полей частотой до 1 кГц. В контактной сети электрифицированных железных дорог однофазного переменного тока, помимо тока основной частоты 50 Гц, присутствуют нечётные гармоники тока и напряжения. «Нескомпенсированное магнитное поле при наличии электрического (контактная сеть) создаёт в пространстве энергетическую нагрузку ЭМП» [60]. Для анализа электромагнитной обстановки в ЭПС сначала рассмотрим ЭМП, создаваемые контактной сетью.

В [16] моделирование проведено для четырех схем тяговых сетей 25 кВ. Были рассмотрены следующие участки: однопутный, двухпутный и трехпутный. Трехмерные диаграммы для однопутного и двухпутных участков приведены на рисунках 1.2. и 1.3.

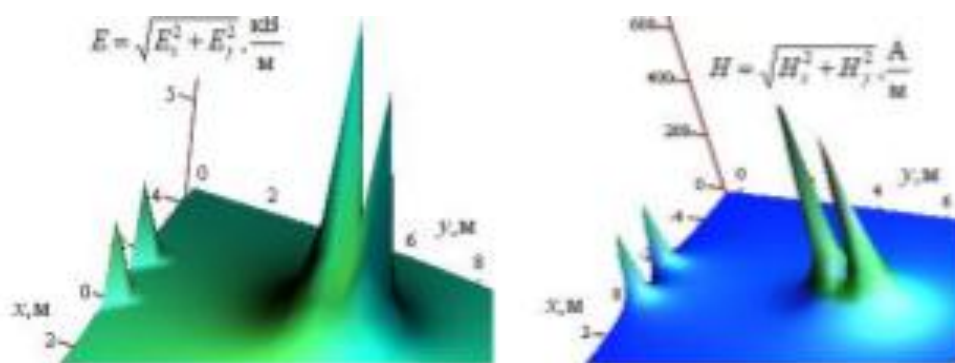


Рисунок 1.2 – Трехмерные диаграммы электрических и магнитных полей для однопутного участка

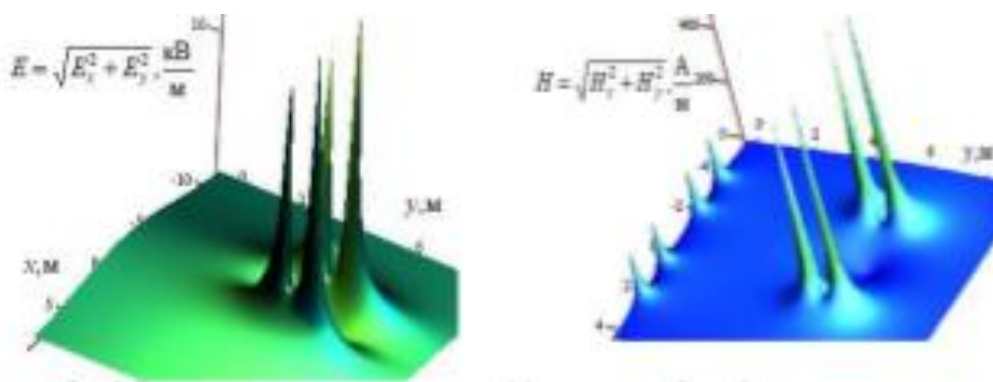


Рисунок 1.3 – Трехмерные диаграммы электрических и магнитных полей для двухпутного участка

Трехмерные диаграммы показывают, что наибольший уровень электромагнитных полей наблюдается вблизи проводов контактных подвесок. Это следует учитывать при организации работ на контактной сети без снятия напряжения. С ростом количества токоведущих частей максимальные и средние значения амплитуд $E_{\max}$ увеличиваются, однако, их величины не превышают допустимого действующего значения в 5 кВ/м [16]. Рассмотренные поля воздействуют как на электромонтеров КС, так и машинистов, обслуживающих ЭПС.

В [73] получено распределение напряженности электрического поля в зонах возможного нахождения персонала (рисунок 1.4).

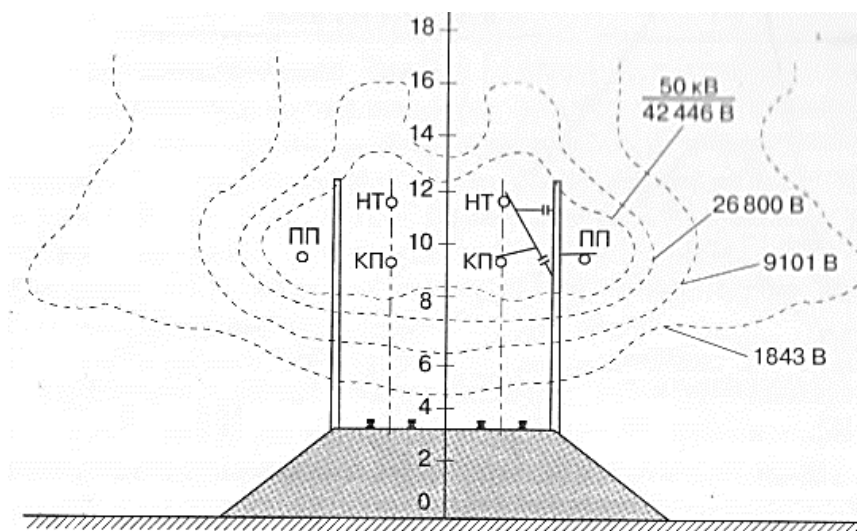
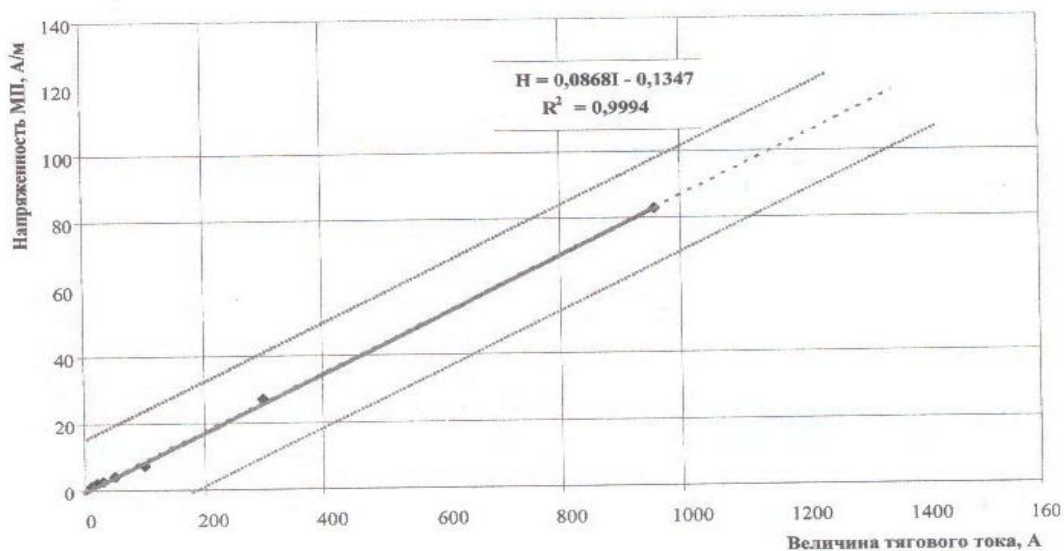


Рисунок 1.4 – Эквипотенциали в сечении тяговой сети с автотрансформаторами при повышенном напряжении в питающем проводе

Согласно рисунку 1.4, при приближении персонала к контактной сети напряжённость электрического поля резко возрастает. Наблюдается превышение предельно допустимого уровня ЭП 50 Гц, и соответственно требуется разработка технических средств защиты. В [6] «получена зависимость напряжённости магнитного поля промышленной частоты от величины тягового тока для однопутного участка сети (рисунок 1.5)» [43].



«Рисунок 1.5 – Зависимость напряженности магнитного поля 50 Гц» [43]

«на высоте 1,8 м, на расстоянии 2 метров от оси пути» [6]

На рисунке 1.5 «видно, что превышение уровня напряженности магнитного поля достигается при токе тяги в 950 А» [6]. Соответственно, электромонтерам КС небезопасно находиться под воздействием таких уровней полей. Необходима система защиты персонала, которой в настоящее время не существует.

Проанализируем уровни полей непосредственно в ЭПС. Климченко Л.Н. в своей работе исследовал магнитные поля в электровозах ВЛ80к и ВЛ80р [68]. «Уровни напряженности переменных магнитных полей в ВЛ80к при 8-часовой экспозиции превышают ПДУ как в кабине, так и в машинном отделении, вблизи высоковольтной камеры. Безопасное время пребывания в кабине машиниста составляет 8 часов» [60], а вблизи высоковольтной камеры – 1 час за смену. Мощное переменное магнитное поле в отдельных точках машинного отделения в 20 раз превышает ПДУ для 8-часовой экспозиции [65].

В электровозе ВЛ80р [68,69] вблизи высоковольтной камеры, в зоне размещения выпрямительной установки, «наблюдаются уровни магнитного поля (10000 А/м), превышающие ПДУ постоянного магнитного поля в 1,25 раза. Уровень напряженности переменного магнитного поля» [85] (2800 мкТл) в

отдельных исследованных точках по длине высоковольтной камеры превышает ПДУ (при 8-часовой экспозиции) в 28 раз. Необходимо разработать систему защиты с организационно-техническими мероприятиями, направленными на создание безопасных условий труда.

«Экспериментальные исследования в электровозах ЧС4т и ЧС8 подтверждают наличие на рабочих местах электротехнического персонала одновременного воздействия магнитных полей» [56] разного рода:

- в кабине ЧС4т зафиксированы уровни постоянного магнитного поля в 63 А/м и переменного 50 Гц – 42 мкТл; в машинном отделении постоянное магнитное поле составило 11200 А/м, переменное – 3800 мкТл;

- в ЧС8 уровни постоянного магнитного поля не превышают 80 А/м, а переменного 50 Гц достигают 48 мкТл; в машинном отделении постоянное поле составляет 11800 А/м, переменное – 3200 мкТл.

В соответствии с вышеизложенным, требуются технические решения, направленные на контроль электрических и магнитных полей в ЭПС.

Рассмотрим также результаты исследований ЭМП в других сериях электровозов. Зафиксировано [39], что в кузове – в проходах вблизи высоковольтной камеры, наблюдаются максимальные значения параметров электромагнитных полей. «Приведенные измерения электромагнитных полей показали [60], что в локомотивах наибольшее проявление имеют магнитные поля, изменяющиеся от 3,4 мкТл (при переменном токе) до 5–7 мкТл (при постоянном токе).

Эти данные получены при измерениях ЭМП в пределах высоковольтной камеры, трансформатора и преобразователей (точки 2,3,5 на рисунке 1.6).

Установлено, что фон импульсных магнитных полей в кабине машиниста составляет 0,3–5 мкТл. Однако, есть и всплески, достигающие 35–400 мкТл. При проектировании нового подвижного состава необходимо учитывать возможность появления таких импульсов» [39] и разрабатывать меры для защиты персонала.

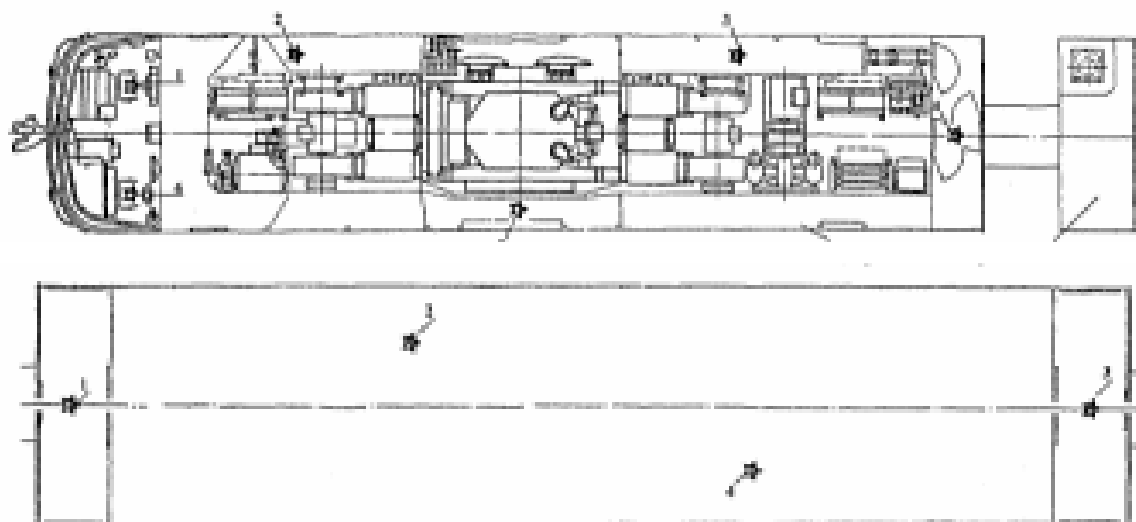


Рисунок 1.6 –Точки измерения ЭМП в ЭПС

Результаты измерений электрических и магнитных полей в кабине электровоза переменного тока 2ЭС5 и электровоза постоянного тока 2ЭС4К приведены в таблице 1.2 [132]. Измерение ЭМП осуществлялось в кабине нового электровоза переменного тока 2ЭС5 (совместное производство АО «Трансмашхолдинг», Россия, и Alstom, Франция), а также в электровозе постоянного тока 2ЭС4К (включая кабину машиниста, высоковольтную камеру и крышу электровоза).

В кабинах электровозов измерения ЭП и МП проводились вблизи работающих приборов, у кресла машиниста и его помощника на частотах, для которых установлены предельно допустимые уровни.

Измерены напряженности магнитного поля (как оказывающего наибольшее воздействие на функционирование электронных компонентов систем управления ЭПС и на человека) в кабине машиниста электровозов при различных значениях токов в режимах: трогание с места, тяга, торможение.

Таблица 1.2

Напряженности магнитных полей в кабинах электровозов 2ЭС5 и 2ЭС4К

Режим ведения	Ток, А	Напряженность магнитного поля, А/м			
Электровоз 2ЭС5					
Трогание с места	150	1,38	1,38	1,83	2,13
	250	1,75	1,13	2,00	2,38
	350	2,00	1,75	2,25	3,88
Тяга	450	2,38	1,50	3,38	3,56
	650	2,00	1,50	3,56	3,56
	750	2,06	2,06	3,38	3,56
Торможение	550	2,88	2,38	3,00	3,44
	350	2,63	2,63	2,75	2,38
	150	2,38	2,38	2,88	2,38
Электровоз 2ЭС4К					
Трогание с места	100	1,065	1,1	1,70	1,75
	150	1,75	1,13	1,88	2,25
	250	1,88	1,63	2,25	3,75
Тяга	350	2,25	1,50	3,25	3,25
	400	2,00	1,00	3,63	3,25
	450	1,88	1,88	3,88	3,50
Торможение	330	2,75	2,25	2,88	3,13
	200	2,50	2,40	2,88	2,25
	100	1,96	2,25	2,63	2,13

Результаты измерений показали, что напряженности электрического и магнитного полей, измеренные в кабине машиниста и в высоковольтной камере при различных режимах ведения поезда, меньше предельно допустимых уровней.

Приведенные уровни ЭМП «не превышают установленных в нормативных документах Российской Федерации; однако при движении поездов из-за переходных процессов в системе электроснабжения происходят всплески значений» [39] ЭМП. На электроподвижном составе постоянного тока

напряженность магнитного поля в кабине машиниста достигала 100 А/м, напряженность электрического поля — 8,5 кВ/м, а магнитная индукция на крыше электровоза постоянного тока составляла 400 мкТл. Эти данные превышают предельно допустимые уровни и требуют принятия необходимых мер для обеспечения электромагнитной безопасности персонала [132].

Экспериментальные исследования электромагнитных полей на рабочих местах электротехнического персонала, обслуживающего электроподвижной состав ЭП-2К

Измерения ЭМП проводились в пассажирском электровозе ЭП-2К постоянного тока по программе, разработанной к.т.н., доцентом кафедры Техносферная безопасность Закировой А.Р., и помощником машиниста Хрустальевым В.А.

Цель измерений: исследовать уровни электромагнитных полей в электроподвижном составе ЭП-2К.

1. Дата и время измерений: 07.02.14 г, с 8:00 до 17:00.
2. Температура в помещении 23⁰С, относительная влажность 54 %.
3. Температура наружная: - 28⁰С, ветер 3-5 м/с.
4. Максимальное рабочее напряжение $U=3,3$ кВ, максимальный рабочий ток на тяговых двигателях $I = 850$ А.

Измерения ЭМП реализованы в кабине машиниста электровоза ЭП - 2К (См. рисунок 1.7).

Измерения осуществлялись на трех высотах: 0,5 м, 1,0 м и 1,7 м от поверхности пола, при этом все замеры выполнялись на расстоянии 0,5 м от кресла машиниста.

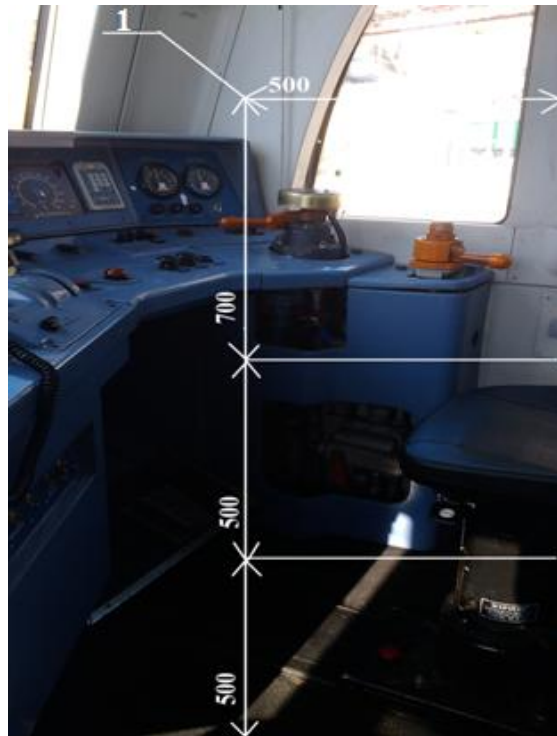
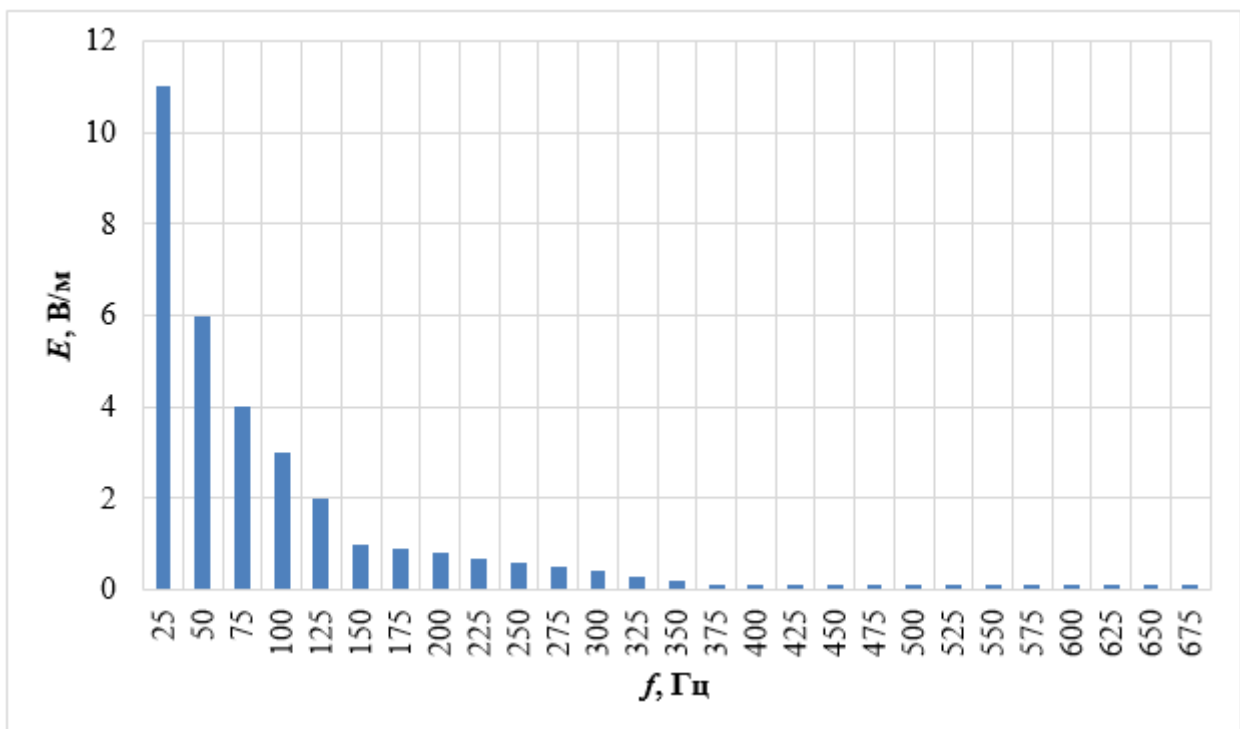


Рисунок 1.7 – Рабочее место машиниста в кабине ЭП-2К

Уровни электрических полей в точке № 1 при $U=3300$ В приведены на рисунке 1.8.

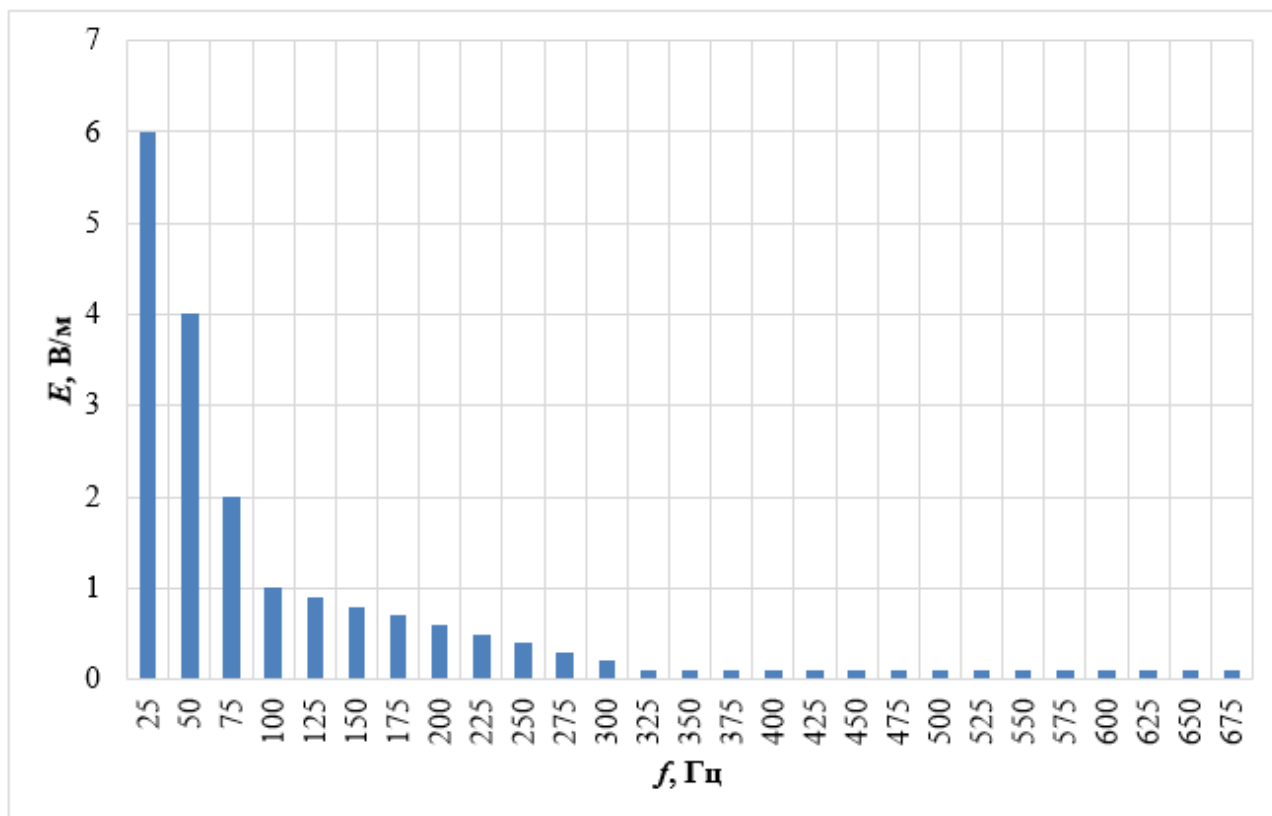


«Рисунок 1.8 – Напряжённость электрического поля в точке № 1 при $U=3300$ В» [60]

На рисунке 1.8 видно, что наибольшие значения напряжённости электрического поля зафиксированы при частоте 25 Гц и составляют 11 В/м, при 50 Гц – 6 В/м, что ниже ПДУ (5000 В/м). Обнаружены всплески электрических полей до 1200 В/м для частоты 25 Гц и до 590 В/м для 50 Гц. Кроме того, следует отметить, что зафиксированы электрические поля со спектром частот от 25 Гц до 675 Гц, которые в настоящее время, кроме частоты 50 Гц, не нормируются.

В соответствии с методикой оценки ЭМП, измерения полей должны производиться при максимальном рабочем напряжении электроустановки либо пересчитываться на максимальное рабочее напряжение. Пересчитав полученные значения напряжённости электрического поля 50 Гц на максимальное возможное рабочее напряжение, можно сделать вывод, что превышений ПДУ не зафиксировано.

На рисунке 1.9 представлены уровни электрических полей в точке № 1 при $U = 3200$ В.

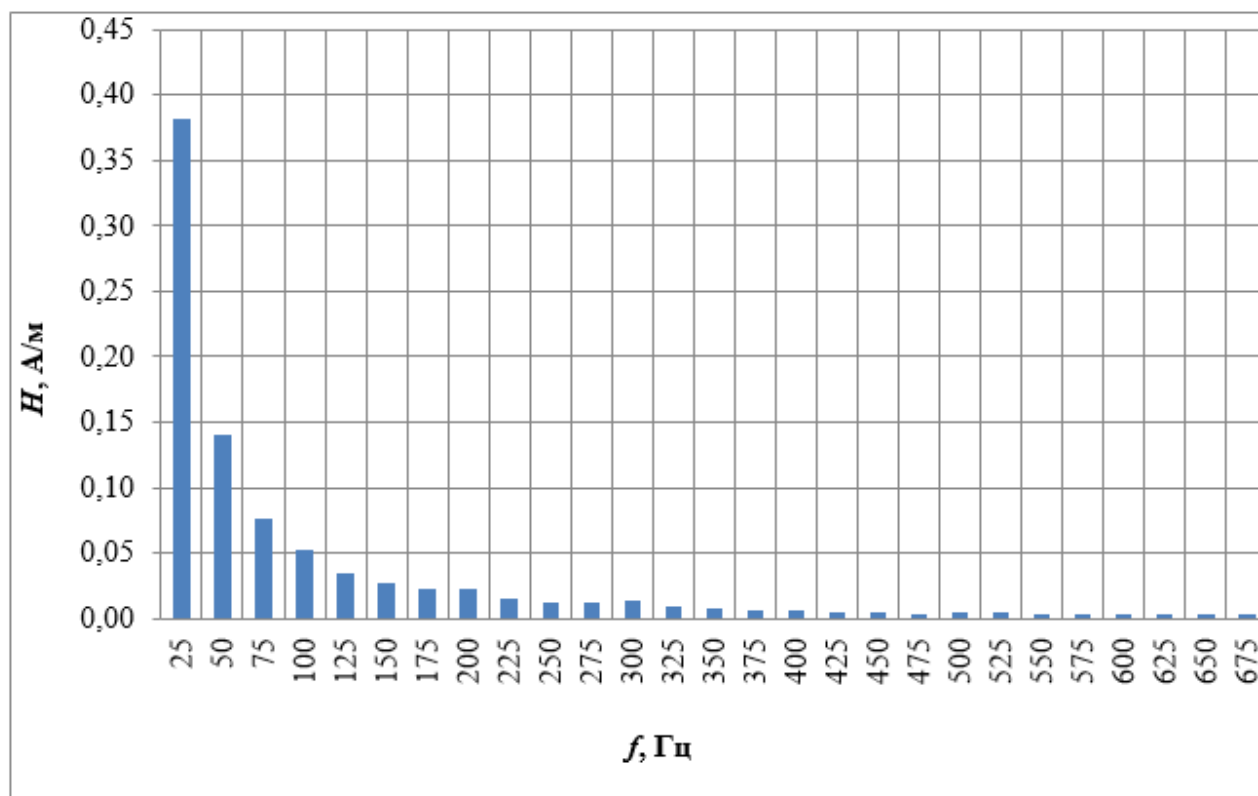


«Рисунок 1.9 – Напряжённость электрического поля в точке № 1 при $U=3200$ В» [60]

Наибольшее зафиксированное значение напряжённости электрического поля отмечено при частоте 25 Гц и составляет 6 В/м, при 50 Гц – 4 В/м (рисунок 1.9), что не превышает уровень ПДУ ЭП 50 Гц (5000 В/м). Имеются электрические поля со спектром частот от 25 Гц до 675 Гц и всплески, которые достигают до 600 В/м для частоты 25 Гц и до 200 В/м для 50 Гц.

Пересчитав полученные значения напряжённости электрического поля при частоте 50 Гц на максимальное рабочее напряжение, мы пришли к выводу, что превышения ПДУ нет. Уровни напряжённости электрического поля на частоте 50 Гц безопасны для здоровья машинистов.

Уровни магнитных полей в точке № 1 при $U=3200$ В показаны на рисунке 1.10.

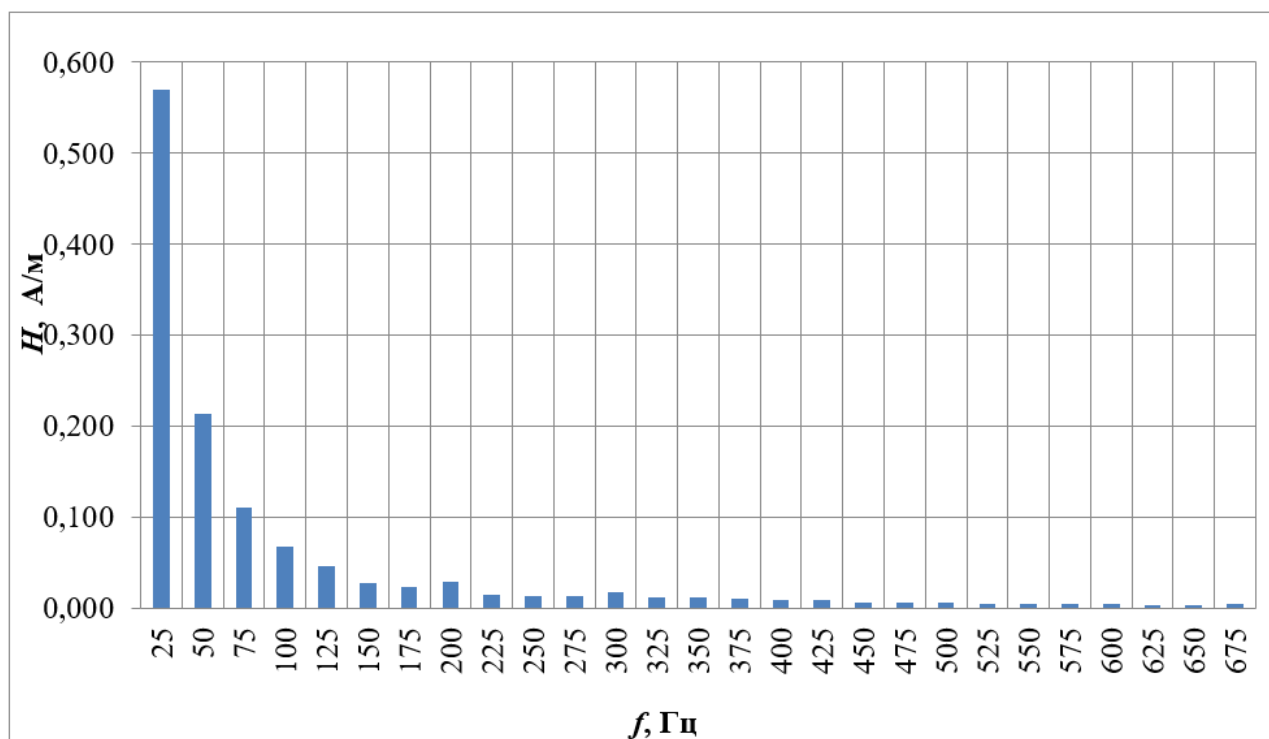


«Рисунок 1.10 – Напряжённость магнитного поля в точке № 1 при $I=530$ А» [60]

Максимальная интенсивность магнитного поля достигает 0,38 А/м на частоте 25 Гц и 0,14 А/м на частоте 50 Гц (рисунок 1.10). Зарегистрированы магнитные поля в диапазоне частот от 25 Гц до 675 Гц, которые в настоящее время, за исключением частоты 50 Гц, не имеют установленных норм.

В соответствии с методикой оценки электромагнитных полей (ЭМП), измерения полей должны производиться при максимальном рабочем токе электроустановки или пересчитываться на максимальный рабочий ток. После пересчёта напряжённости магнитного поля 50 Гц, превышения предельно допустимого уровня (ПДУ) не наблюдается. При измерениях уровень постоянного магнитного поля составил 2,28 мТл, а после пересчёта на максимальный рабочий ток – 3,65 А/м, при норме 10 мТл превышения ПДУ не установлено.

Уровни магнитных полей в точке № 1 при $I=700$ А показаны на рисунке 1.11.



«Рисунок 1.11 – Напряжённость магнитного поля в точке № 1 при $I=700$ А» [40]

«Можно отметить, что наибольшее значение напряжённости магнитного поля составило 0,57 А/м» [60] при частоте 25 Гц и 0,21 А/м – при 50 Гц [40] (рисунок 1.11). «Поскольку имеются поля со спектром высших гармонических составляющих с частотой от 25 Гц до 675 Гц» [85], то возникает вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала, обслуживающего ЭПС.

Превышения ПДУ МП 50 Гц не зафиксировано. Уровни напряженности «постоянного магнитного поля» [40] (2,74 мТл) ниже ПДУ. Магнитные поля частотой 50 Гц и постоянные магнитные поля в точке № 1 не оказывают вредного влияния на машинистов, обслуживающих ЭП-2К.

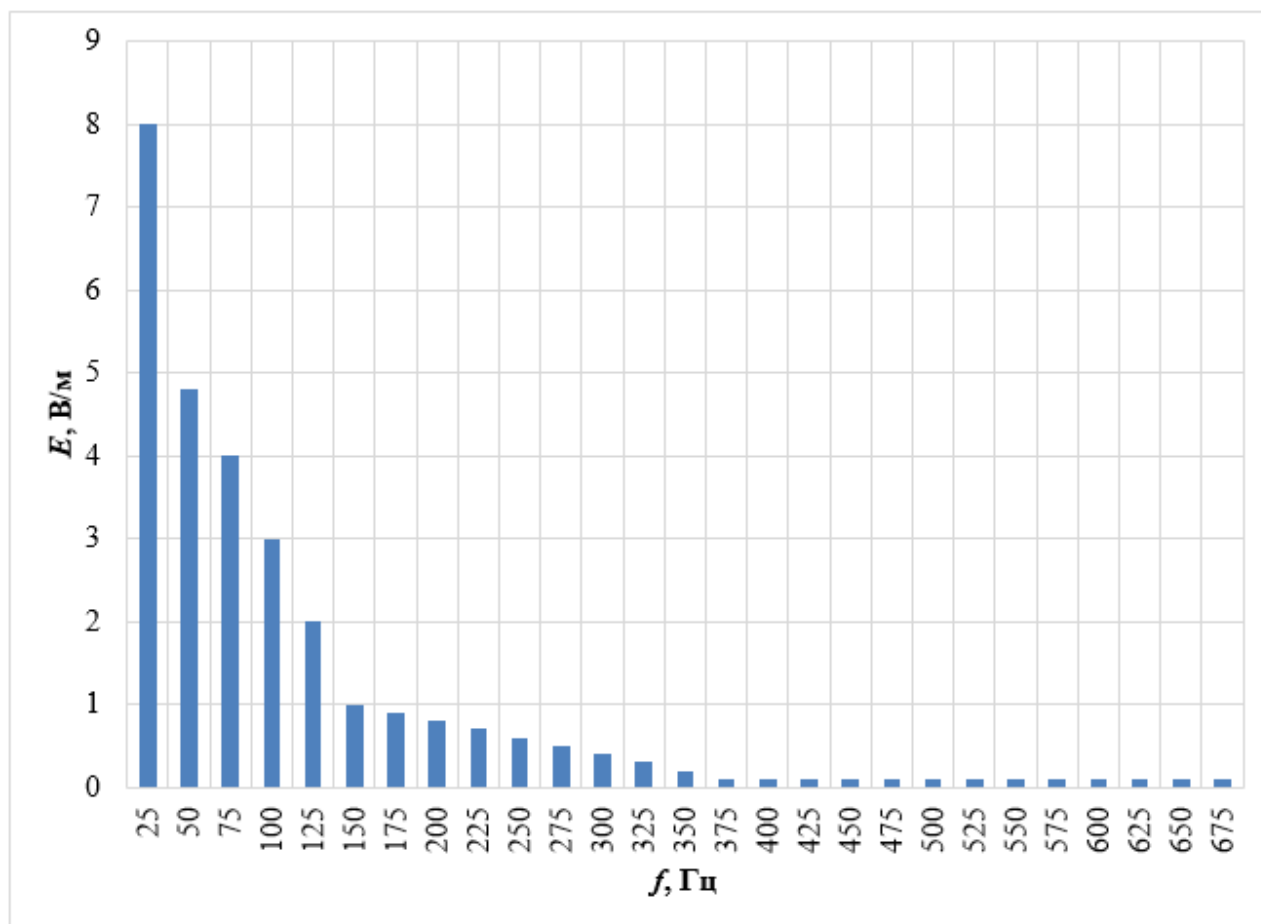
Проведённые измерения позволяют проанализировать характеристики полей и их изменение в зависимости от заданных параметров, что можно использовать при прогнозировании ЭМП в ЭПС ЭП-2К.

Измерения ЭМП были выполнены на рабочем месте помощника машиниста (рисунок 1.12).



Рисунок 1.12 – Рабочее место помощника машиниста в кабине ЭП-2К

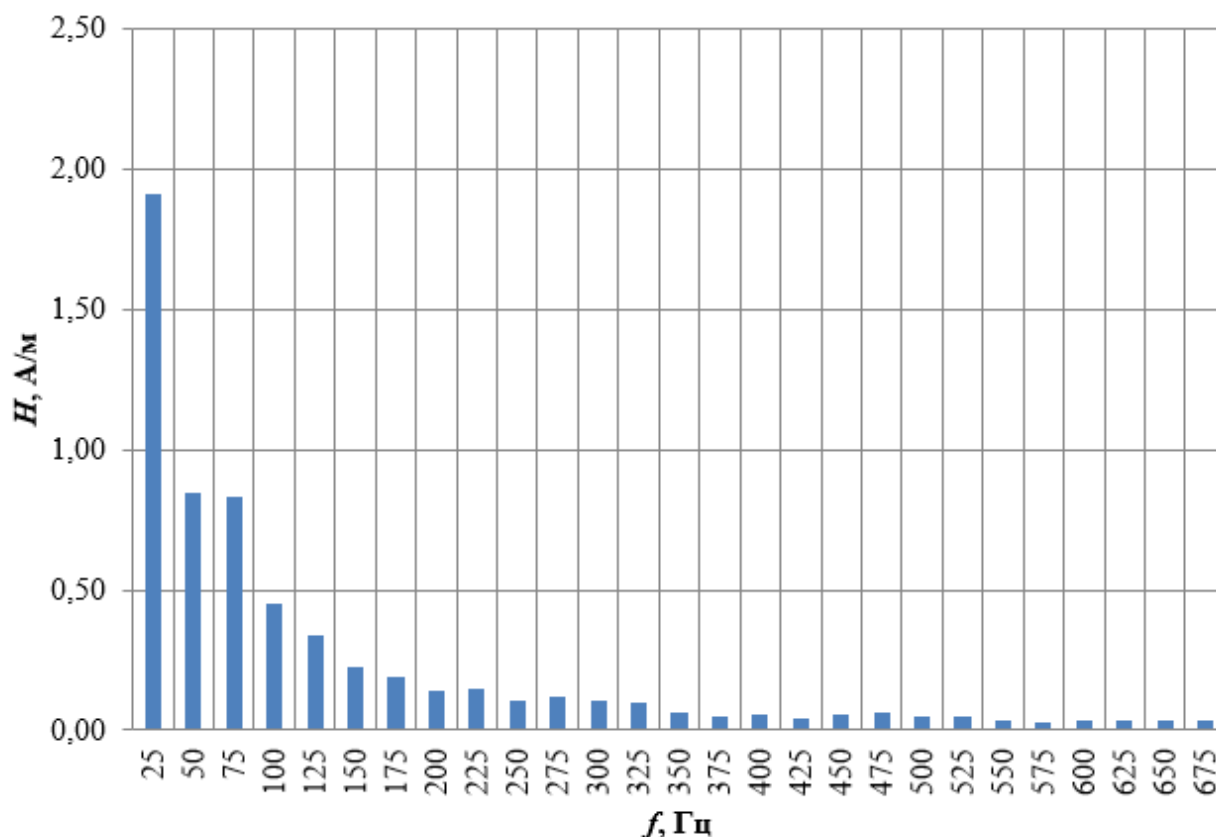
Рабочим местом помощника машиниста считается не только кабина электровоза, но и машинное отделение, поэтому далее электромагнитные поля будут исследованы и в машинном отделении. Уровни электрических полей в точке № 2 при $U=3250$ В и $I=470$ А приведены на рисунке 1.13.



«Рисунок 1.13 – Напряжённость электрического поля в точке № 2 при $U=3250$ В» [85]

«На рисунке 1.13 представлены результаты измерений напряжённости электрического поля на различных частотах. Максимальное значение напряжённости зафиксировано на частоте 25 Гц» [85] и составляет 8,0 В/м, в то время как на частоте 50 Гц оно равно 4,8 В/м, что значительно ниже предельно допустимого уровня (ПДУ) в 5000 В/м. Эти показатели находятся в рамках норм, что свидетельствует о благоприятных условиях для работы машиниста. Отмечается наличие электрических полей с частотами от 25 Гц до 675 Гц, которые следует оценивать и контролировать на рабочих местах. После пересчёта значений напряжённости поля на максимальное рабочее напряжение для частоты 50 Гц уровень электрического поля составил 4,06 В/м.

Уровни магнитных полей в точке № 2 при $U=3100$ В и $I=350$ А показаны на рисунке 1.14.



«Рисунок 1.14 – Напряжённость магнитного поля в точке № 2
при» [42] $I=380$ А

«Максимальная напряжённость магнитного поля достигает 1,91 А/м при частоте 25 Гц и 0,8 А/м при 50 Гц. После пересчёта напряжённости магнитного поля» [60] «для частоты 50 Гц на максимальный рабочий ток, превышения предельно допустимого уровня нет. Зафиксированы магнитные поля с частотами от 25 Гц до 675 Гц» [85], которые требуют оценки и контроля со стороны работодателя. В противном случае существует «вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала, обслуживающего ЭПС.

Уровни напряжённости постоянного магнитного поля» [44] составляют 2,22 мТл, что не превышает ПДУ. Таким образом, результаты измерений магнитных полей подтверждают необходимость регулярных оценок и контроля, что будет способствовать не только соблюдению нормативных требований, но и созданию комфортной рабочей среды.

Уровни магнитных полей [40] в точке № 2 при $I=350$ А представлены на рисунке 1.15.

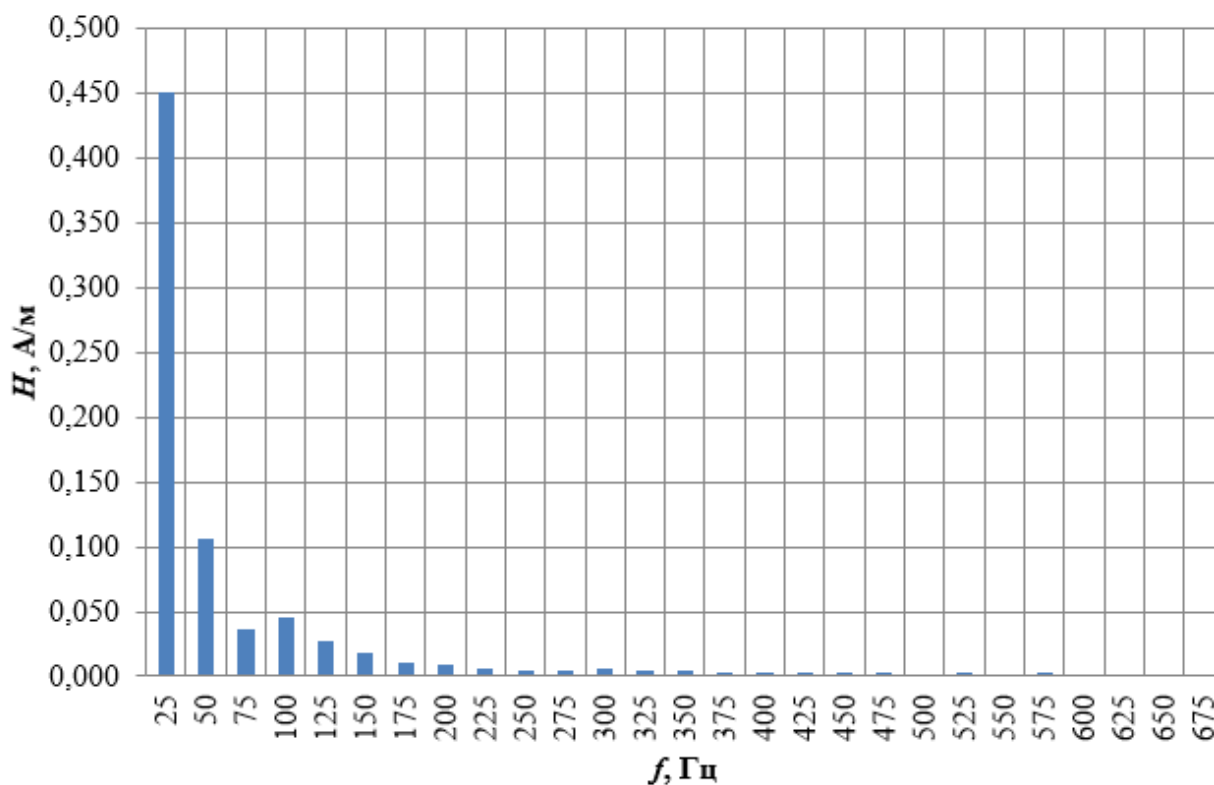


Рисунок 1.15 – Напряжённость магнитного поля в точке № 2 при $I=350$ А

В данном исследовании анализируются напряжённости магнитных полей в диапазоне частот от 25 Гц до 675 Гц. Наибольшее значение поля зафиксировано на уровне 0,45 А/м при частоте 25 Гц и 0,1 А/м при частоте 50 Гц. При определении значений напряжённости магнитного поля на максимальном рабочем токе мы получили 0,22 А/м, что полностью соответствует нормам.

Уровни напряжённости постоянного магнитного поля составляют 2,0 мТл, что значительно ниже ПДУ в 10 мТл. После пересчёта значений постоянного магнитного поля на максимальный рабочий ток, получаем 4,5 мТл, что подтверждает отсутствие превышения норм. Исследование подчёркивает важность мониторинга магнитных полей в ЭПС для обеспечения безопасности электротехнического персонала.

Измерения ЭМП выполнены и в коридоре машинного отделения электровоза ЭП-2К (рисунок 1.16).

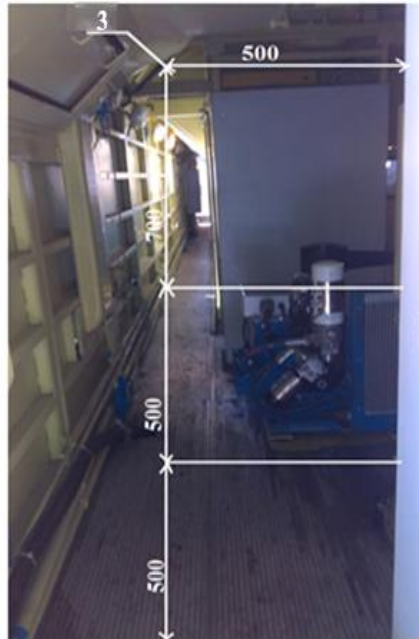
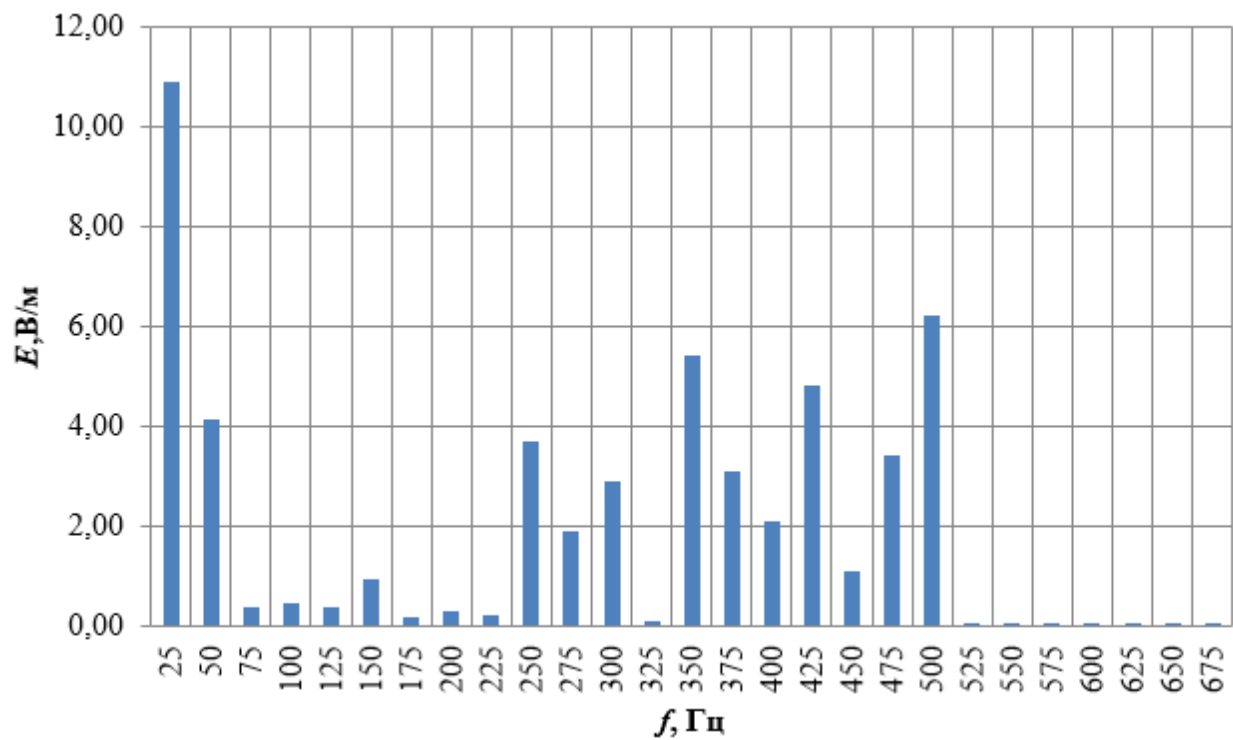


Рисунок 1.16 – Проход в машинном отделении ЭП-2К

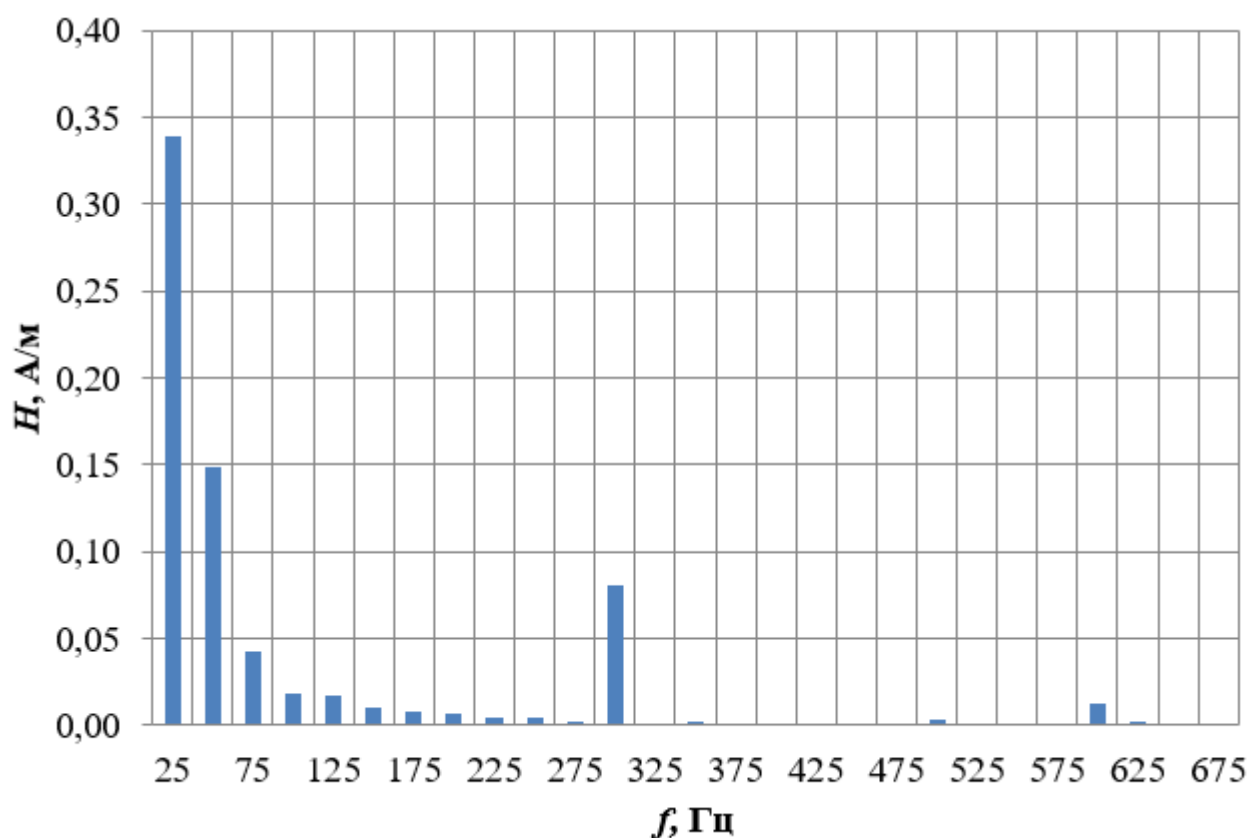
На рисунке 1.17. показаны уровни электрических полей в точке № 3 при $U=3200$ В и $I=130$ А.



«Рисунок 1.17 – Напряжённость электрического поля в точке № 3 при $U=3200$ В» [42]

В соответствии с рисунком 1.17 максимальное значение напряжённости электрического поля при частоте 25 Гц составляет 10,90 В/м, а при частоте 50 Гц – 4,0 В/м, что не превышает ПДУ. Зафиксирован спектр электрических полей от 25 Гц до 675 Гц, который в настоящее время при специальной оценке условий труда не оценивается (кроме 50 Гц). После перерасчёта электрического поля с частотой 50 Гц на максимальное рабочее напряжение можно утверждать, что предельно допустимые уровни не превышены.

Уровни магнитных полей в точке № 3 при $U=3250$ В (режим работы ЭУ – холостой ход) приведены на рисунке 1.18.



«Рисунок 1.18 – Напряженность магнитного поля в точке № 3» [42]

«При измерениях магнитных полей получена напряженность магнитного поля, достигающая максимальных значений 0,34 А/м при частоте 25 Гц и 0,15 А/м при частоте 50 Гц (рисунок 1.18)» [42]. После пересчета значений напряженности магнитного поля на максимальный рабочий ток для частоты 50

Гц, уровень составит 0,22 А/м, что подтверждает отсутствие превышения предельно допустимого уровня. Также отмечается, что уровни напряженности постоянного магнитного поля – 2,2 мТл, что ниже установленной нормы в 10 мТл [130].

Измерения ЭМП проведены и в машинном отделении электровоза ЭП-2К у шкафа БАУ (рисунок 1.19).



Рисунок 1.19 – Машинное отделение - шкаф БАУ

Блок аппаратов управления (БАУ) пассажирского электровоза ЭП-2К расположен в машинном отделении со стороны кабины №1. На корпусе блока расположены переключатели кабин управления и разъединители цепей управления, используемые для проверки сопротивления изоляции относительно корпуса.

Уровни электрических полей в машинном отделении меняются в зависимости от режима работы электровоза. Поэтому мы оцениваем электрические поля не только при определённом напряжении, но и анализируем, под какие уровни попадает машинист при максимальных режимах работы электрооборудования. Это необходимо для оценки условий труда по ЭМП, а также для разработки мероприятий по их минимизации.

Уровни электрических полей в точке № 4 при $U=3150$ В показаны на рисунке 1.20.

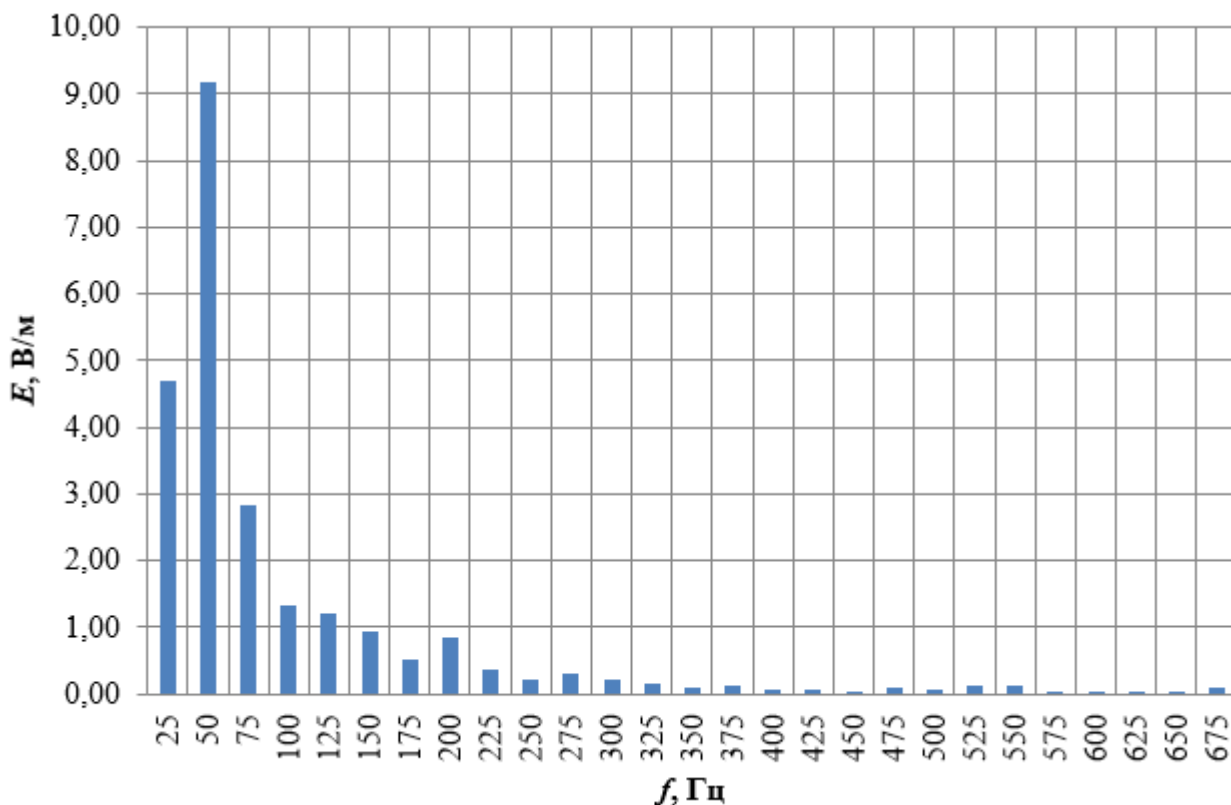
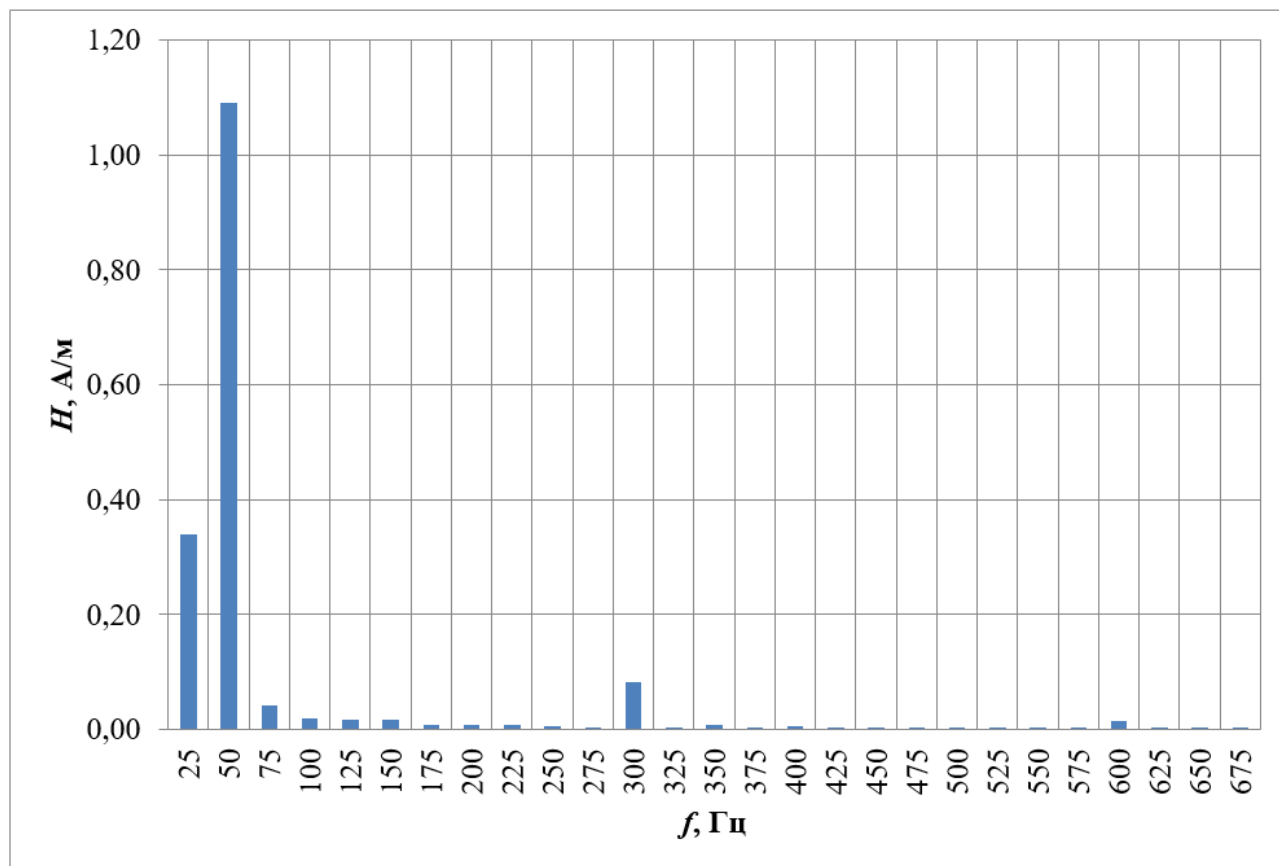


Рисунок 1.20 – Напряжённость электрического поля в точке № 4 при $U=3150$ В

Уровни напряжённости электрического поля изменяются до 9,16 В/м на частоте 50 Гц, и до 4,8 В/м на 25 Гц. После перерасчёта ЭП 50 Гц на максимальное напряжение, можно сделать вывод, что превышения ПДУ нет.

В процессе измерений электрических полей выявлены электрические поля со спектром высших гармонических составляющих (рисунок 1.10), которые в России в настоящее время не подлежат оценке и контролю. Кроме того, важно учитывать, что гармонические составляющие могут оказывать различное влияние на здоровье человека в зависимости от их частоты и амплитуды. В связи с этим возникает необходимость разработать методику, которая позволит устранить этот пробел в оценке и нормировании электромагнитных полей (ЭМП). Создание такой методики будет способствовать обеспечению электромагнитной безопасности персонала в области безопасности труда.

Уровни магнитных полей в точке № 4 при $I=130$ А приведены на рисунке 1.21 [60].



«Рисунок 1.21 – Напряженность магнитного поля в точке № 4 при $I=130$ А» [60]

«По результатам измерений полей установлено, что максимальное значение напряженности магнитного поля достигает 0,35 А/м» [60] при частоте 25 Гц и 1,1 А/м при частоте 50 Гц (см. рисунок 1.21). После пересчета значений напряженности магнитного поля «для частоты 50 Гц на максимально рабочий ток, получено 7,2 А/м. При этом» [147] «превышения предельно допустимого уровня (ПДУ) не зафиксировано.

Уровни напряженности постоянного магнитного поля составляют 2,7 мТл при норме 10 мТл. Магнитные поля с частотой 50 Гц» [141] не наносят вреда здоровью работников, занимающихся обслуживанием ЭПС постоянного тока.

Измерения электромагнитных полей (ЭМП) были проведены в машинном отделении электровоза ЭП-2К, в зоне расположения трансконвектора (см. рисунок 1.22).



Рисунок 1.22 – Машинное отделение – Трансконвектор

Уровни электрических полей в точке № 5 при $U=3300$ В приведены на рисунке 1.23.

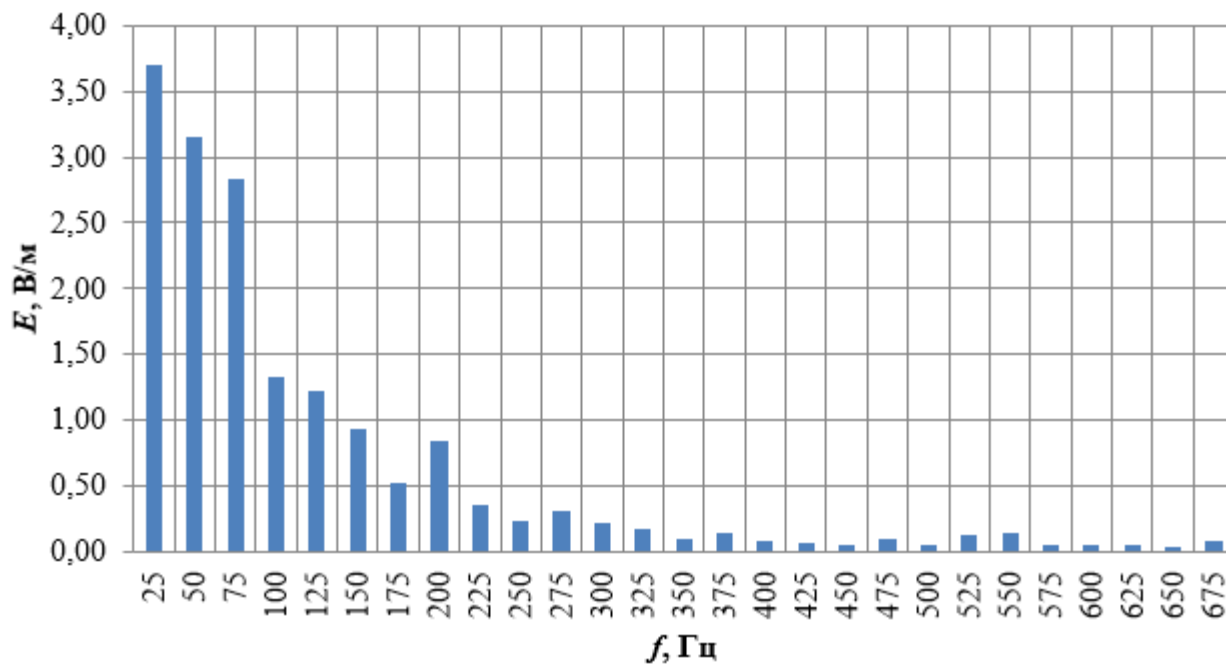
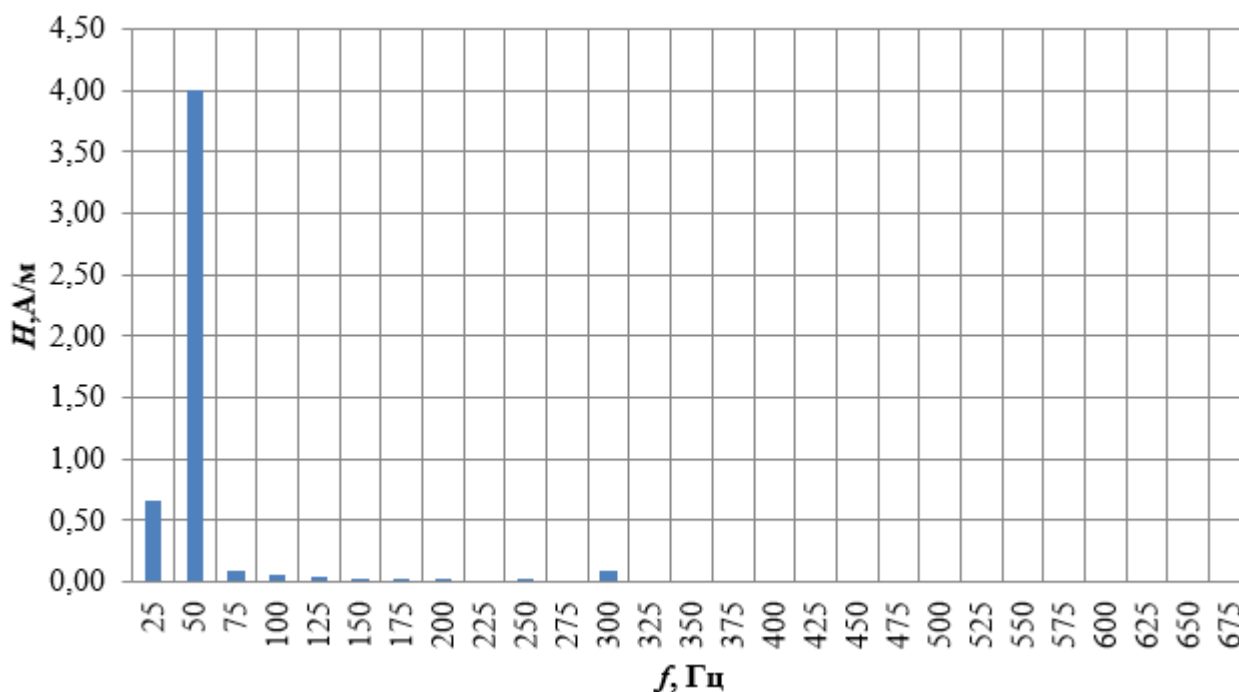


Рисунок 1.23 – Напряженность электрического поля в точке № 5
при $U=3300$ В [43]

На рисунке 1.23 «видно, что наибольшие значения напряженности электрического поля зафиксированы при частоте 25 Гц – 3,7 В/м и при частоте 50 Гц – 3,1 В/м, и они не превышают» [40] «ПДУ для ЭП 50 Гц. По имеющимся данным, электрические поля с частотой 50 Гц не оказывают вредного воздействия на здоровье работников локомотивных бригад. Существуют электрические поля со спектром частот» [43] «от 25 Гц до 675 Гц» [192], которые в настоящее время не нормируются (кроме 50 Гц) [147], и оценить их влияние на персонал не представляется возможным в силу отсутствия ПДУ.

Уровни магнитных полей в точке № 5 при $I=130$ А представлены на рисунке 1.24.



«Рисунок 1.24 – Напряженность магнитного поля в точке № 5 при $I=130$ А» [85]

«Максимальное значение напряженности магнитного поля составляет 4 А/м (рисунок 1.24), что ниже предельно допустимого уровня в 80 А/м. При пересчете значений на максимальный рабочий ток получается 26 А/м, что также не превышает установленные нормы. Уровень постоянного магнитного поля – 2,0 мТл» [85]. Таким образом, результаты показывают, что магнитные поля

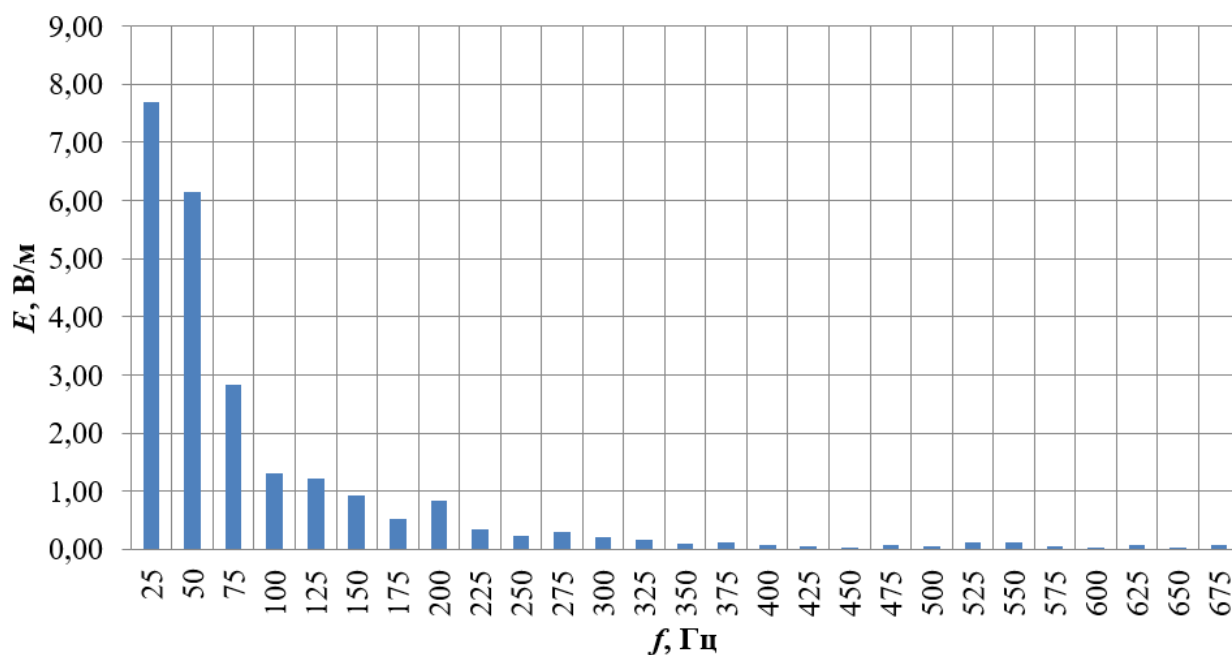
находятся в пределах допустимых значений и не представляют угрозы для здоровья персонала.

Измерения электромагнитных полей (ЭМП) проводились в машинном отделении электровоза ЭП-2К, вблизи шкафа БВА-3 (см. рисунок 1.25).



Рисунок 1.25 – Машинное отделение - шкаф БВА-3

Уровни электрических полей в точке № 6 при $U=3100$ В приведены на рисунке 1.26.

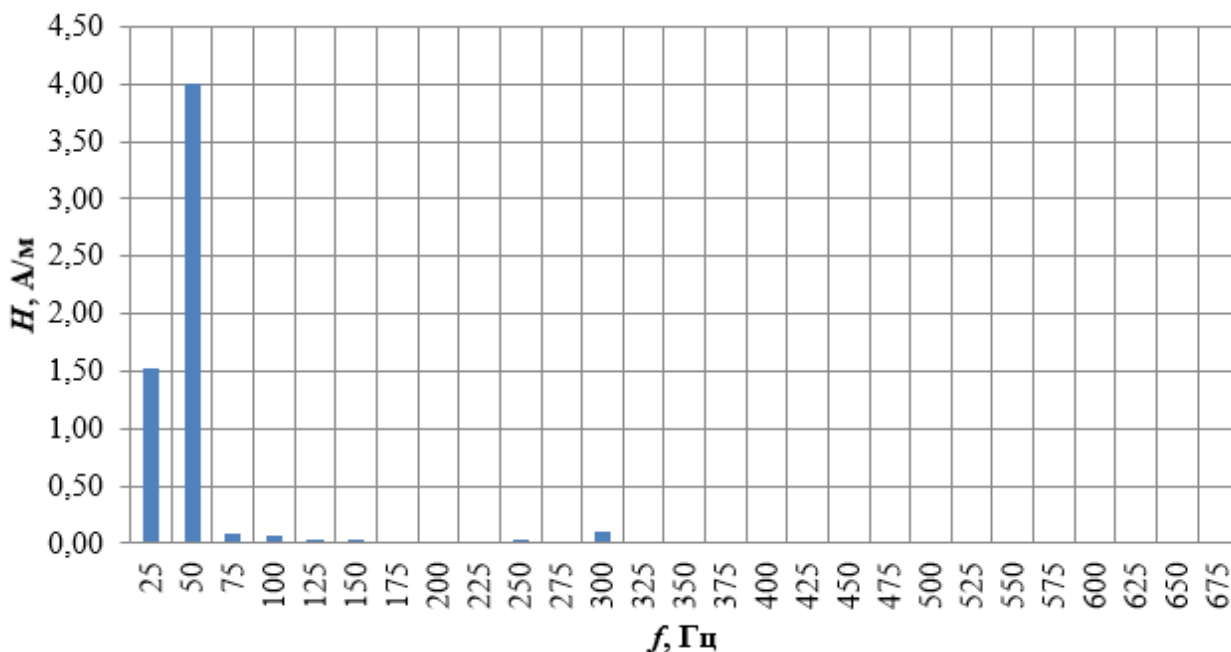


«Рисунок 1.26 – Напряженность электрического поля в точке № 6 при $U=3100$ В» [85]

«Максимальное значение напряженности электрического поля зафиксировано при частоте 25 Гц и составляет 7,8 В/м, а при частоте 50 Гц — 6,1 В/м (рисунок 1.26), что не превышает ПДУ. Исследование охватывает электрические поля со спектром частот от 25 Гц до 675 Гц, большинство» [85] из которых не подлежат нормированию, за исключением частоты 50 Гц. Это создает вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала.

После пересчета уровней напряженности электрического поля на частоте 50 Гц на максимальное рабочее напряжение оно станет 9,5 В/м, что также не превышает установленные нормы [85].

Уровни магнитных полей в точке № 6 при $I=130$ А показаны на рисунке 1.27.



«Рисунок 1.27 – Напряженность магнитного поля в точке № 6» [60]

«Согласно рисунку 1.27, максимальное» [60] «значение напряженности магнитного поля составляет 4 А/м при частоте 50 Гц, что ниже предельно допустимого уровня в 80 А/м. При пересчете значений напряженности» [40] магнитного поля 50 Гц [147] на максимально рабочий ток получаем 26 А/м, что также ниже ПДУ. Уровни напряженности постоянного магнитного поля

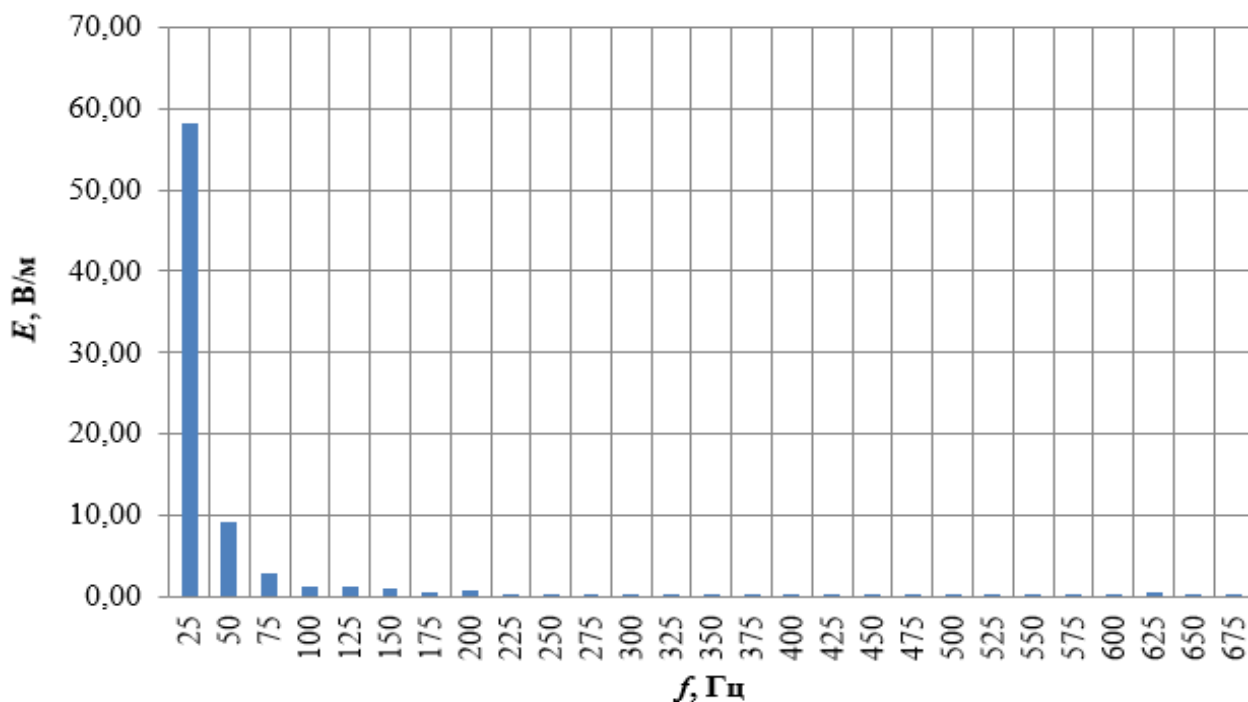
составляют 2,0 мТл. Таким образом, магнитные поля 50 Гц в точке № 6 не оказывают вредного влияния на здоровье помощников машинистов.

Измерения электромагнитных полей были выполнены в машинном отделении электровоза ЭП-2К рядом со шкафом БВА-2 (рисунок 1.28).



Рисунок 1.28 – Машинное отделение - шкаф БВА-2

«Уровни электрических полей в точке № 7 при $U=3100$ В приведены на рисунке 1.29» [43].

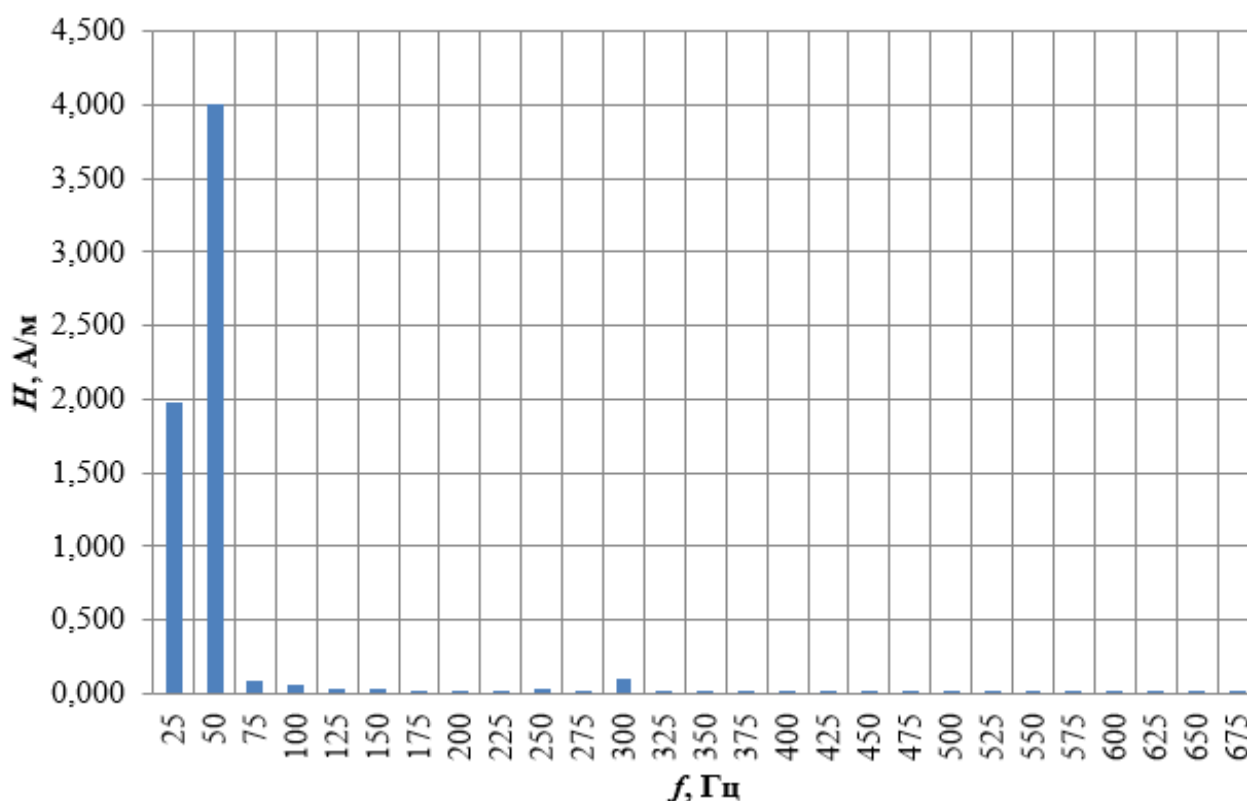


«Рисунок 1.29 – Напряженность электрического поля в точке № 7 при $U=3100$ » [43]

При «измерениях полей зафиксировано, что максимальное значение напряженности [43] электрического поля (рисунок 1.29) получено при частоте 25 Гц и составляет 57 В/м, при частоте 50 Гц – 9 В/м, что не превышает ПДУ. Имеются электрические поля со спектром частот от 25 Гц до 675 Гц» [85], «в дальнейшем требуется их оценка и контроль.

Уровни электрических полей с частотой 50 Гц, пересчитанные» [192] на «максимально допустимое рабочее напряжение, не превышают предельно допустимых уровней и, соответственно, безопасны для персонала [60].

Уровни магнитных полей в точке № 7 при $I=130$ А, приведены на рисунке 1.30» [60].



«Рисунок 1.30 – Напряженность магнитного поля в точке № 7 при $I=130$ А» [60]

«Полученные данные показывают (рисунок 1.29), что при токе в 130 А уровень напряженности магнитного поля составляет 2 А/м» [60] при 25 Гц и 4 А/м – при частоте 50 Гц.

Пересчитав полученные значения напряженности магнитного поля 50 Гц на максимальный рабочий ток [147], получим – 26 А/м, что ниже ПДУ.

Уровни постоянного магнитного поля составляют 2,0 мТл [40]. Магнитные поля не оказывают вредного воздействия на здоровье электротехнического персонала.

Измерения электромагнитных полей проходили в машинном отделении электровоза ЭП-2К, возле высоковольтной камеры (см. рисунок 1.31).

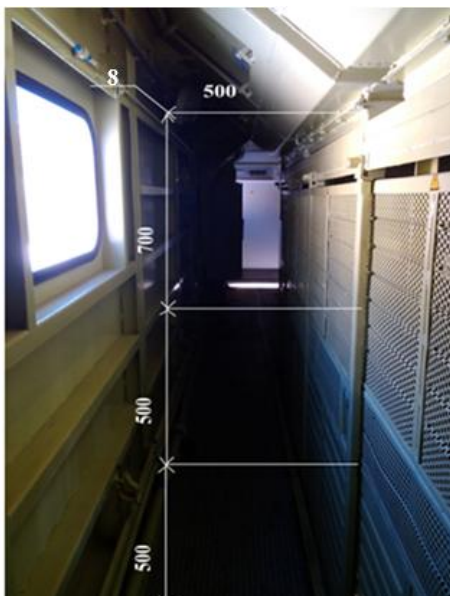
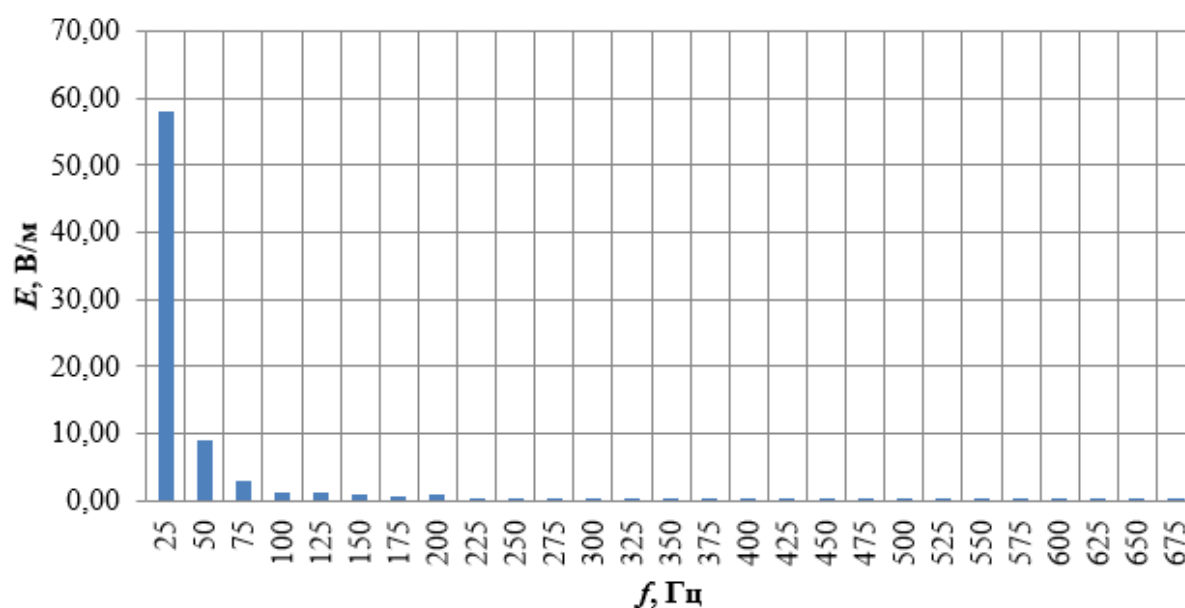


Рисунок 1.31 – Машинное отделение - высоковольтная камера

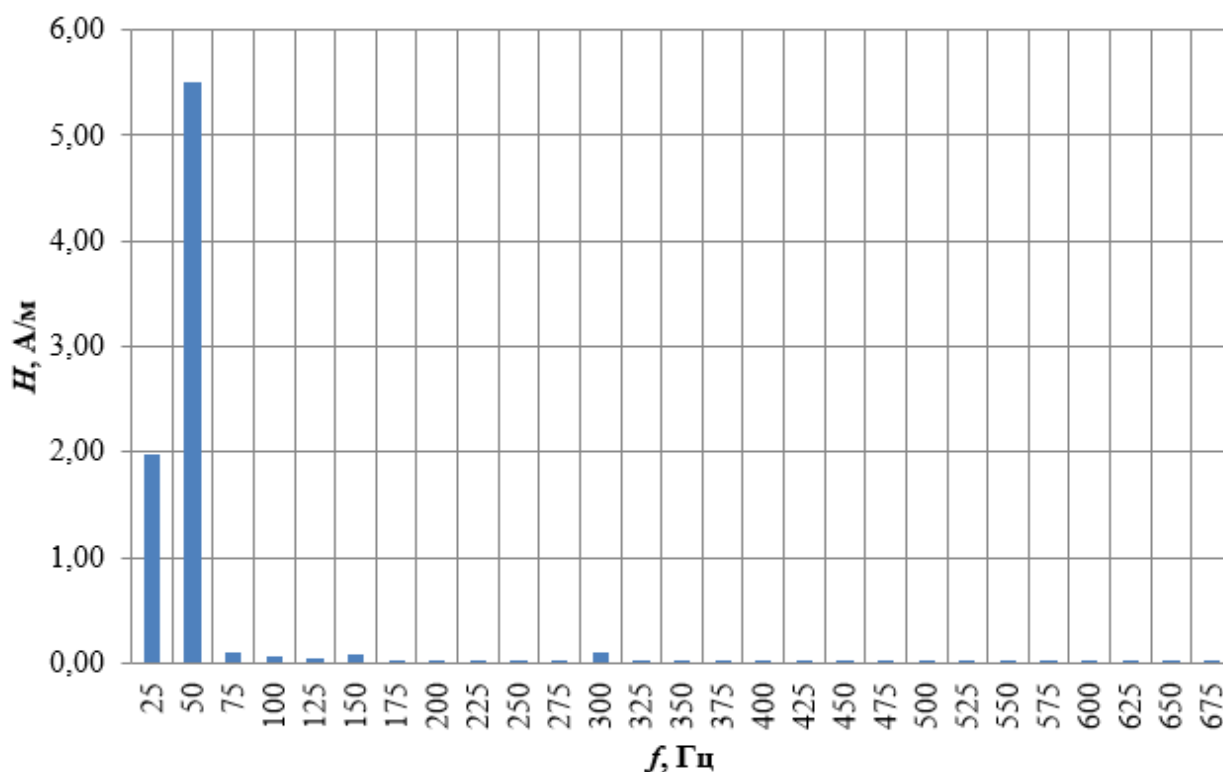
Уровни электрических полей в точке № 8, зафиксированные при напряжении $U = 3150$ В приведены на рисунке 1.32.



«Рисунок 1.32 – Напряженность электрического поля в точке № 8 при $U=3150$ В» [43]

«На рисунке 1.32 видно, что наибольшие значения напряжённости электрического поля зафиксированы при частоте 25 Гц и составляют 58 В/м, а при частоте 50 Гц – 9 В/м, что ниже предельно допустимого уровня. Электрические поля с частотой 50 Гц безопасны для работников локомотивных бригад. Следует отметить, что зафиксированные электрические поля как при частоте 25 Гц, так и 75 Гц» [43] не нормируются. Для «снижения вероятности повреждения здоровья персонала в дальнейшем требуется их оценка.

Уровни магнитных полей в точке № 8 при $I = 130$ А показаны на рисунке 1.33» [60].



«Рисунок 1.33 – Напряженность магнитного поля в точке № 8 при $I=130$ А» [60]

«На рисунке 1.33 показано, что максимальные значения напряженности магнитного поля» [85] при частоте 25 Гц составляют 2 А/м, а при 50 Гц - 5,6 А/м. Пересчитанные уровни магнитного поля «50 Гц на максимально рабочий ток не превышают ПДУ. Также зафиксированы электрические поля с частотой 25 Гц и 75 Гц, однако их оценка невозможна из-за отсутствия ПДУ. Магнитные поля с

частотой 50 Гц не оказывают» [193] вредного влияния на здоровье помощников машинистов.

Результаты экспериментов позволяют оценить уровень электромагнитного воздействия в рабочей зоне машиниста, что имеет важное значение для оценки электромагнитной безопасности. Полученные данные могут быть использованы для дальнейшего анализа электромагнитной обстановки в ЭПС.

В ходе экспериментальных исследований была проведена оценка рабочих мест (кабина машиниста, машинное отделение ЭПС) электротехнического персонала с точки зрения электромагнитной безопасности.

В результате были получены данные, позволяющие сделать следующие выводы:

1. «Электрические и магнитные поля частотой 50 Гц в пассажирских электровозах ЭП-2К не превышают предельно допустимых значений [60].

2. Как в кабине машиниста, так и в машинном отделении имеются электромагнитные поля с» [192] «частотным спектром от 25 Гц до 675 Гц, которые в настоящее время не нормируются и не оцениваются, за исключением частоты 50 Гц.

3. Учитывая наличие ЭМП со спектром высших гармонических составляющих» [60], возникает необходимость в разработке системы защиты персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей [60].

4. Требуются дальнейшие исследования в этом направлении, которые позволят снизить вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала, обслуживающего ЭПС.

5. Анализ работ по теоретическим и экспериментальным исследованиям электрических и магнитных полей, электромагнитной совместимости оборудования, электромагнитной безопасности и охране труда показал, что:

- в «электровозах переменного тока ВЛ80к, ВЛ80р, ЧС4т наблюдается

превышение ПДУ ЭП и МП 50 Гц, следовательно, необходимы технические средства защиты персонала;

- электрические и магнитные поля» [60] со спектром высших гармонических составляющих ЭМП в ЭПС не оцениваются на основании существующих нормативных документов, как и их аддитивное воздействие. Требуется методика, которая позволит устранить этот пробел в нормировании ЭМП.

На российских железных дорогах эксплуатируются и другие мощные серии электровозов, которые рассчитаны на большой рабочий ток и напряжение. Предполагается, что в них создаются более высокие уровни электромагнитного поля, что может не только увеличить вероятность повреждения здоровья персонала, но и создать угрозу безопасному движению электроподвижного состава (ЭПС). Особенно это актуально для машинистов, работающих в одно лицо.

Соответственно, не выполняются основные принципы обеспечения безопасности труда, и возникает вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала; все это происходит из-за отсутствия системы защиты персонала. Для подтверждения данных о вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала, обслуживающего ЭПС, рассмотрим результаты исследований предшественников, указывающие на вредное воздействие ЭМП на электротехнический персонал (разд. 1.3) [60].

1.3. Анализ результатов исследователей, указывающих на вредное воздействие ЭМП [60] на электротехнический персонал

«Повреждение здоровья электротехнического персонала» [44], «обслуживающего локомотивы, связано с производственно обусловленной и профессиональной заболеваемостью. Производственно обусловленная заболеваемость – это стандартизованная по возрасту заболеваемость общими (не

относящимися к профессиональным) заболеваниями различной этиологии, которая имеет тенденцию к повышению по мере увеличения стажа работы в неблагоприятных условиях труда и превышает таковую в профессиональных группах, не контактирующих с вредными факторами» [60].

«Высокая вероятность повреждения» [23] здоровья электротехнического персонала от электромагнитных полей подтверждается:

1) результатами исследований [155, 158, 160, 179, 183, 185, 190] по воздействию ЭМП низкочастотного диапазона (НЧ) на работников, обслуживающих электроустановки (таблица 1.3);

Таблица 1.3

Основные публикации зарубежных исследователей, указывающие на вредное воздействие ЭМП НЧ на работников [40]

Minder C., 2001 [179]	Возникновение лейкемии, опухолей головного мозга от влияния низких частот электромагнитного поля на работников железнодорожного транспорта (Швейцария) [40].
Burch J., 2000 [158]	Последствия воздействия магнитного поля частотой 60 Гц на персонал, обслуживающий подстанции [40].
Savitz D, 1999 [185]	Воздействие магнитных полей на сердечно-сосудистую систему работников электроэнергетических компаний, смертность [40].
Alfredsson L, 1996 [155]	Заболеваемость раком среди мужчин железнодорожных профессии – машинистов и помощников машинистов в Швеции. Причина заболевания рака [40].
Coogan P, 1996 [160]	Профессиональное воздействие магнитных полей частотой до 60 Гц на человека. Риск заболевания раком молочной железы у женщин [40].
Pfluger D., 1996 [183]	Последствия воздействия магнитного поля в частотном диапазоне до 16,7 Гц на половую систему работников железнодорожного транспорта (Швейцария) [40].
Tynes T., 1994 [190]	Лейкемия и опухоль головного мозга у работников железнодорожного транспорта (Норвегия) [40].

2) статистическими исследованиями, проведенными на Западно-Сибирской железной дороге — филиале ОАО «РЖД». Количество обращений

железнодорожников в больничные учреждения за 25 лет по рассматриваемым заболеваниям существенно возросло по сравнению с контрольными группами городских жителей (по заболеваниям злокачественных опухолей — более чем [60] в два раза, по заболеваниям эндокринной системы и кровообращения — в четыре) [153]. Рост обращений с заболеваниями связан с множеством причин, однако здесь нельзя исключать вредное воздействие ЭМП из-за электрификации железнодорожной магистрали [60];

3) результатами статистического исследования данных о повреждении здоровья электротехнического персонала на полигоне Свердловской железной дороги, которые показали, что электротехнический персонал (персонал локомотивных бригад) обращается в медицинские учреждения с заболеваниями нервной и эндокринной систем, системы кровообращения и крови, новообразованиями от 5,8 до 10,7 раз чаще, чем персонал неэлектротехнический (персонал локомотивных бригад тепловозов на участках без электрической тяги). С большой степенью вероятности это связано и с вредным воздействием ЭМП спектра частот выпрямленного тока и напряжения [49];

4) анализом повреждения здоровья работников различных структурных подразделений железнодорожного транспорта, в котором показано, что количество обращений с заболеваниями ишемической болезнью сердца среди машинистов электровозов составляет 12,4 на 1000 чел./год, а машинистов моторвагонных секций — 6,2 на 1000 чел./год. Эти результаты позволяют рассматривать присутствующие в электровозе переменные магнитные поля как фактор дополнительного риска возникновения заболеваний сердечно-сосудистой системы [49];

5) исследованиями, выявившими, что наибольшее число случаев повреждения здоровья с временной утратой трудоспособности отмечено у работников локомотивных бригад, обслуживающих грузовые поезда. Также анализ основных причин первичного выхода работников локомотивных бригад на инвалидность показал, что более половины всех случаев профессиональной

непригодности (55,9 %) связано с заболеваниями сердечно-сосудистой системы [25];

6) результатами исследований всех профессий работников ОАО «РЖД» [67, 109] «за период с 2011 по 2015г. Отмечено, что наибольший вклад [60] в заболеваемость внесли работники локомотивных бригад – до 43 %. В последние годы у работников локомотивных бригад активно обсуждаются вопросы сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ). Определено, что 86% случаев ВС (внезапной смерти) приходится на лиц в возрасте от 40 до 59 лет.

7) исследованиями локомотивных бригад ОАО «РЖД» за период с 2009 по» [44] 2017г [35]. В исследовании условно всех работников разделили на 3 группы по типу обслуживаемого локомотива: тепловоз ($n=39$, 1-я группа), электровоз ($n=52$, 2-я группа) и другое (автомотриса, мотовоз, железнодорожная самоходная машина и т.д., $n=28$, 3-я группа). Рассмотрены мужчины трудоспособного возраста, минимальный возраст которых составил 23 года, максимальный – 63. Средний стаж работы – 20,3 года (минимальный – менее 1 года, максимальный – 41 год). В 80,6 % случаев смерть наступила по причине ССЗ (серечно-сосудистых заболеваний), 9,2 % – по причине болезней мозга. Внезапная смерть у 2-ой группы выше (21,1%), чем у первой (15,3%) и третьей (17,8%) [60].

8) «анализом, проведённым среди работников ОАО «РЖД» с 2009 по 2021 г. [37]. Из них 38 % – это работники локомотивных бригад, 33,8 % – работники группы пути, 28,2 % – работники остальных категории профессий железнодорожного транспорта. Проанализированы места смертей работников локомотивных бригад (профессиональная группа I); результаты следующие: в рабочее время и на рабочем месте (не во время движения локомотива) — 61 %, в рабочее время и во время движения локомотива –16 %, вне дома — 15 % и дома — 8 %. Медиана возраста исследуемых составила 49 [43-53] лет, самому молодому умершему работнику было 23 года, а самому возрастному — 64. Наличие смертей работников локомотивных бригад (машинистов и их

помощников) на рабочих местах свидетельствует о высоком уровне» [60]
 «профессионально обусловленного и профессионального риска, вызванного воздействием вредных производственных факторов, в том числе и электромагнитных полей» [44].

«Прогнозируемый уровень повреждения здоровья машинистов и помощников машинистов, соответствующий производственно обусловленной заболеваемости, приведен в таблице 1.4» [60].

Таблица 1.4

«Производственно обусловленная заболеваемость, потенциальная опасность и риск профессиональной патологии» [110]

«Профессия	Прогнозируемый уровень общей заболеваемости	Производственно обусловленная (зависимая) заболеваемость	Потенциальная опасность и риск профессиональной патологии» [110]
«Машинист и помощники машиниста электровазов [110]	очень высокий (5 баллов) [110]	Болезни центральной и периферической нервной системы Злокачественные новообразования Болезни крови и кроветворных органов Болезни уха Болезни системы кровообращения Болезни органов дыхания Болезни органов пищеварения Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани [110]	-вибрационная болезнь - заболевания опорно-двигательного аппарата - производственная нейросенсорная тугоухость - профессиональные отравления (острые и хронические химические интоксикации) - болезни нервной системы» [110]

«Один из основных факторов производственной среды, воздействующих

на персонал, — неионизирующее излучение (магнитные и электрические поля). Его вредное влияние на машинистов и их помощников приводит к заболеваниям нервной системы, крови и системы кровообращения, злокачественным новообразованиям [110].

Согласно данным таблицы 1.4., прогнозируемый уровень общей заболеваемости у машинистов» [60] и их помощников очень высокий, 5 баллов из 5 возможных, что также подтверждает высокую вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала, обслуживающего ЭПС, и необходимость использования системы защиты персонала.

Кроме производственно обусловленной заболеваемости, у рассматриваемого персонала также осуществляется оценка профессиональных рисков [110] (таблица 1.5).

Таблица 1.5

Оценка профессиональных рисков у машинистов
и помощников машинистов электровозов [110]

Профессия	Степень профессионального риска			Итоговая оценка
	по показателям условий труда	по возрастностажевым показателям	по показателям скорости старения	
Машинист и помощник машиниста электровозов	Высокая 1	Высокая 2	Высокая 1	Очень высокая
Машинист и помощник машиниста электропоезда (секции)	Высокая 1	Высокая 1	Высокая 1	Очень высокая

«С учётом кадрово-статистических (возрастных и стажевых) показателей, физиолого-гигиенических (показателей условий труда) и медико-биологических критериев (показателей состояния здоровья) профессиональный риск машинистов и помощников машинистов очень высок» [60], что также подтверждает актуальность создания системы защиты.

«Компания ОАО «РЖД» осознаёт проблему повреждения здоровья и смертности персонала от болезней системы кровообращения, поэтому периодически разрабатывает целевые комплексные программы» [44]. Например, для решения проблем заболеваемости машинистов и их помощников была «реализована Целевая комплексная программа по снижению заболеваемости и предотвращению смертности от болезней системы кровообращения, и раннему выявлению онкологических заболеваний у работников ОАО «РЖД» на период 2019–2023 гг. Однако, как показывает анализ заболеваемости, этого недостаточно, и требуются меры защиты персонала» [44].

*«Статистический анализ повреждения здоровья» [44] работников,
обслуживающих тяговые агрегаты*

Повреждение здоровья работников, обслуживающих тяговые агрегаты, представляет собой важную проблему, требующую комплексного анализа и решения. На его уровень влияют различные факторы производственной среды. Эти факторы можно условно разделить на физические, гигиенические и нервно-психологические, каждый из которых играет свою роль в формировании здоровья работников.

Для более точного определения факторов, влияющих на вероятность повреждения здоровья персонала, необходимо проводить специальную оценку условий труда и производственный контроль, а также мониторинг здоровья. Опросы, анкетирование и статистический анализ — это дополнительные мероприятия, которые могут помочь выявить основные проблемы и факторы, влияющие на здоровье машинистов и помощников машинистов.

Для проведения статистического анализа причинения вреда здоровью работников, обслуживающих тяговые агрегаты, «рассмотрены две группы [101]:

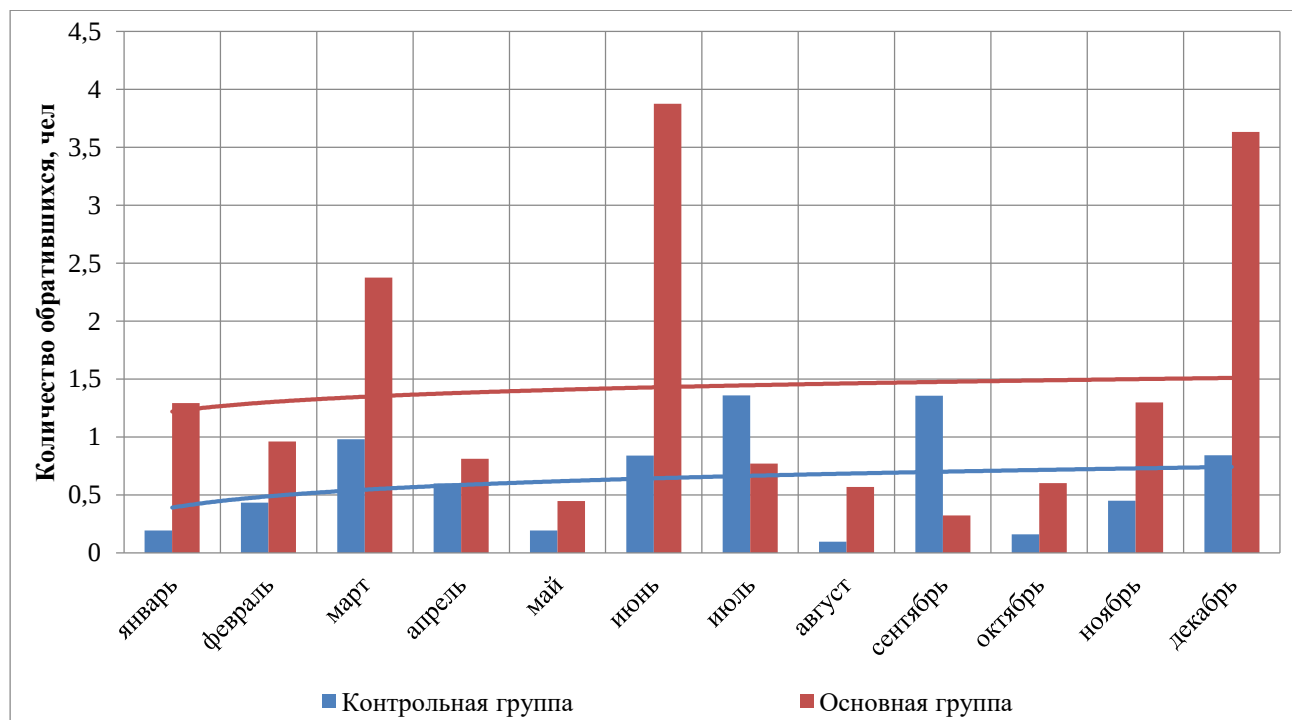
- основная группа — работники цеха внутреннего транспорта: машинисты и помощники машинистов;

- контрольная группа — работники Управления цеха горного железнодорожного транспорта: руководители, специалисты и служащие.

Статистические исследования нами проводились на основе удельного показателя — количества обращений работников основной и контрольной групп с заболеваниями: крови, нервной системы, новообразованиями, сердечно-сосудистыми и эндокринными заболеваниями на 100 обратившихся в медицинские учреждения в 2012–2013 гг. В основной группе» [60] в 2012 г. текучесть кадров составила 5% от общего числа работников данной группы, а в 2013 г. — 20%.

Эндокринная система

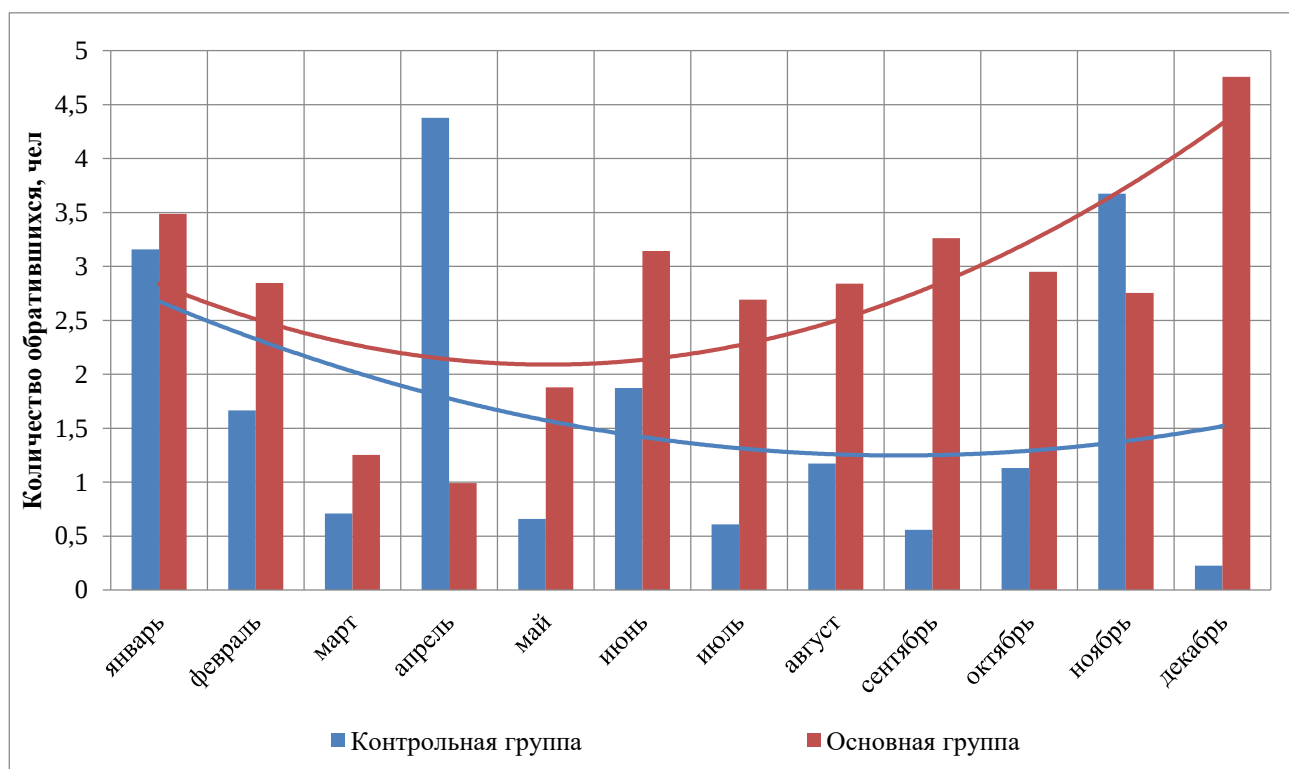
Удельные показатели обращений работников основной и «контрольной групп в медицинские учреждения по заболеваниям эндокринной системы в 2012 году представлены на рисунке 1.34» [60].



«Рисунок 1.34. — Удельные показатели количества обращений исследуемых групп в медицинские учреждения по заболеваниям эндокринной системы в 2012 г.» [60]

«Из изменений на рисунке 1.34 видно, что удельный показатель количества обращений основной группы в больничные учреждения по заболеваниям эндокринной системы в 3 раза выше, чем в контрольной группе. В 2012 году у основной группы наибольшие значения удельного показателя по заболеваниям эндокринной системы были зафиксированы в июне (3,8)» [60], а у контрольной группы – в июле (1,4). Анализ удельных показателей количества обращений исследуемых групп в медицинские учреждения показывает сезонные колебания заболеваемости персонала.

Удельные показатели обращений работников основной и «контрольной» групп в медицинские учреждения по заболеваниям эндокринной системы в 2013 году приведены на рисунке 1.35» [60].



«Рисунок 1.35 – Удельные показатели количества обращений исследуемых групп в медицинские учреждения по заболеваниям эндокринной системы в 2013 г.» [60]

«Удельный показатель количества обращений основной группы в больничные учреждения с заболеваниями эндокринной системы в 2 раза выше, чем в контрольной группе (рисунок 1.35). Наибольшие значения удельного

показателя основной группы получены в декабре (4,75), а контрольной в апреле (4,4).

Исследования персонала по заболеваниям эндокринной системы с 2012 по 2013 гг. показали, что работники основной группы подвержены более высокой вероятности повреждения здоровья, чем в контрольной» [60].

Нервная система

«На рисунке 1.36. представлены удельные показатели количества обращений работников основной и контрольной групп в медицинские учреждения с заболеваниями нервной системы за 2012 г. В течение года количество обращений работников в летние и зимние месяцы различается, но в основной группе значительно чаще» [60].

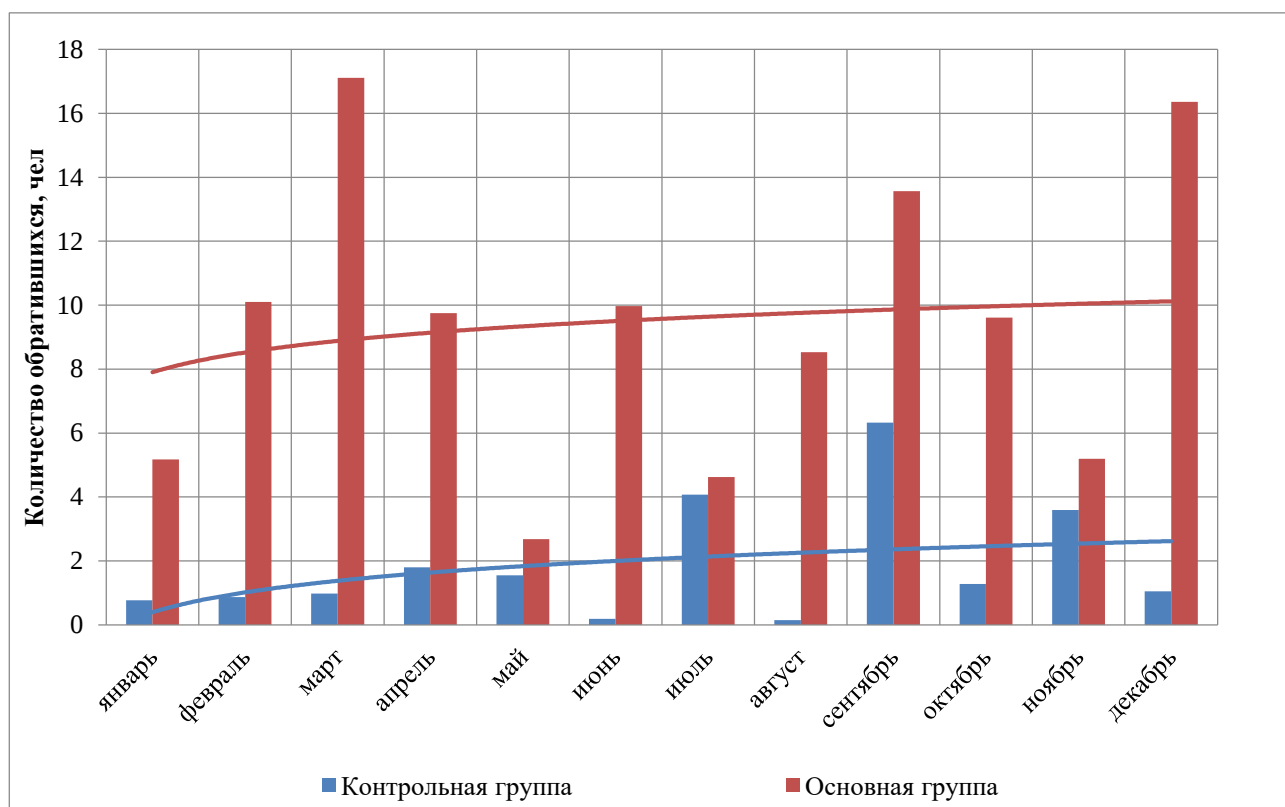
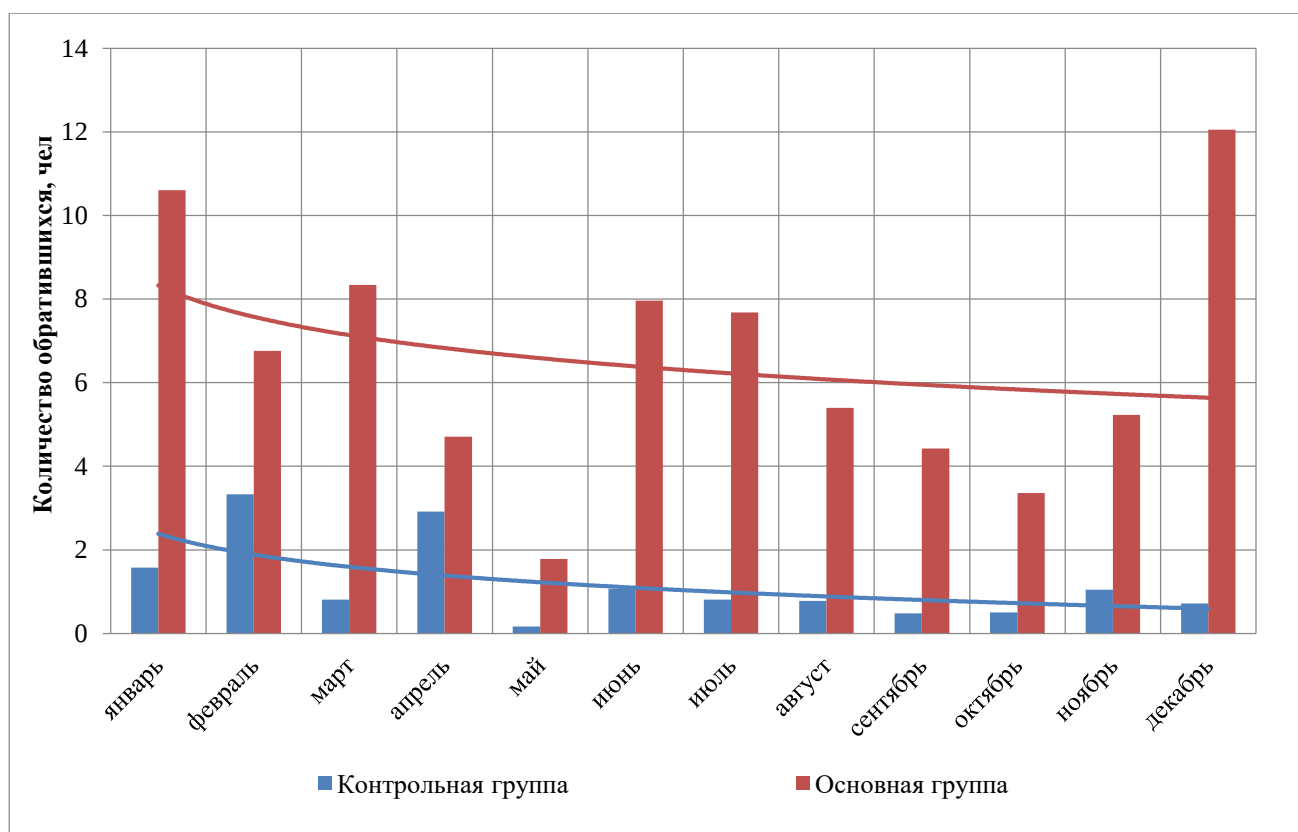


Рисунок 1.36 – Удельные показатели количества обращений исследуемых групп в медицинские учреждения по заболеваниям нервной системы в 2012 г. [60]

«В связи с тем, что удельный показатель обращений основной группы в больничные учреждения по заболеваниям нервной системы в 5 раз превышает таковой в контрольной группе, необходимы мероприятия, включающие не только профилактику заболеваемости, но и контроль факторов, вызывающих высокий уровень заболеваемости. Наибольшие значения удельного показателя в основной группе по заболеваниям нервной системы были получены в марте (17), а в контрольной — в сентябре (6,2).

Удельные показатели обращений работников основной и контрольной групп в медицинские учреждения по заболеваниям нервной системы в 2013 году показаны на рисунке 1.37» [60].



«Рисунок 1.37 – Удельные показатели количества обращений исследуемых групп в медицинские учреждения по заболеваниям нервной системы в 2013 г.» [60]

«Удельный показатель количества обращений основной группы в больничные учреждения по заболеваниям нервной системы в 4 раза выше, чем в контрольной группе (рисунок 1.37). В основной группе наибольшие значения

удельного показателя по заболеваниям нервной системы получены в декабре (12), а в контрольной — в феврале (3,2). По анализу сезонности заболеваемости видно, что пик заболеваемости приходится на декабрь, что может быть связано с изменением погодных условий и повышенной нагрузкой на организм, которая усугубляет воздействие ЭМП на персонал. Важно не только выявлять факторы, способствующие повреждению здоровья персонала, но и активно работать над их устранением, что позволит снизить уровень заболеваемости и повысить безопасность труда» [60].

Новообразования

Графики изменения удельных показателей количества обращений работников основной и контрольной групп в медицинские учреждения по онкологическим заболеваниям (новообразования) в 2012 году приведены на рисунке 1.38.

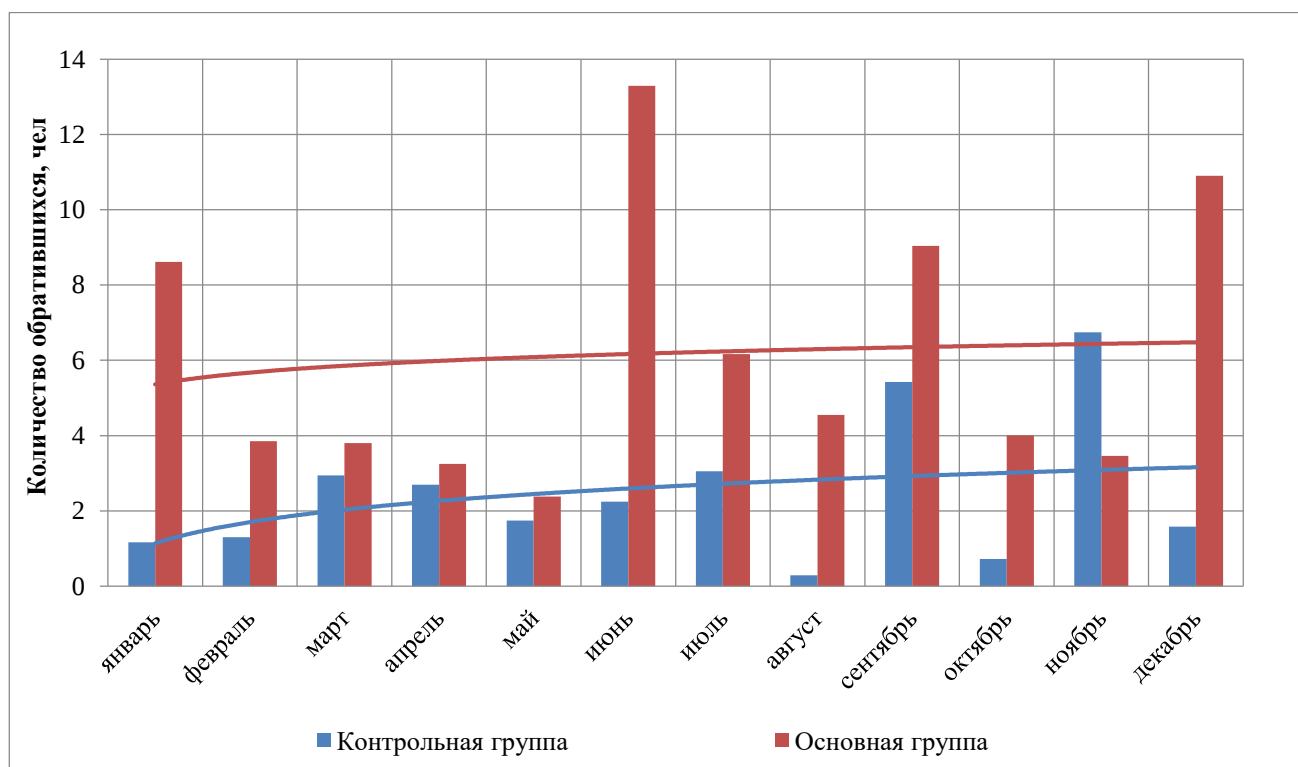


Рисунок 1.38 – Удельные показатели количества обращений исследуемых групп в медицинские учреждения по онкологическим заболеваниям в 2012 г.

Определено (рисунок 1.38), что доля обращений основной категории персонала в медицинские учреждения с онкологическими заболеваниями в 2 раза выше, чем в контрольной группе. У основной группы самые высокие показатели по онкологическим заболеваниям в декабре (13,4), а у контрольной — в феврале (6,6).

Графическое представление удельных показателей количества обращений работников основной и контрольной групп в медицинские учреждения по онкологическим заболеваниям в 2013 г. показано на рисунке 1.39.

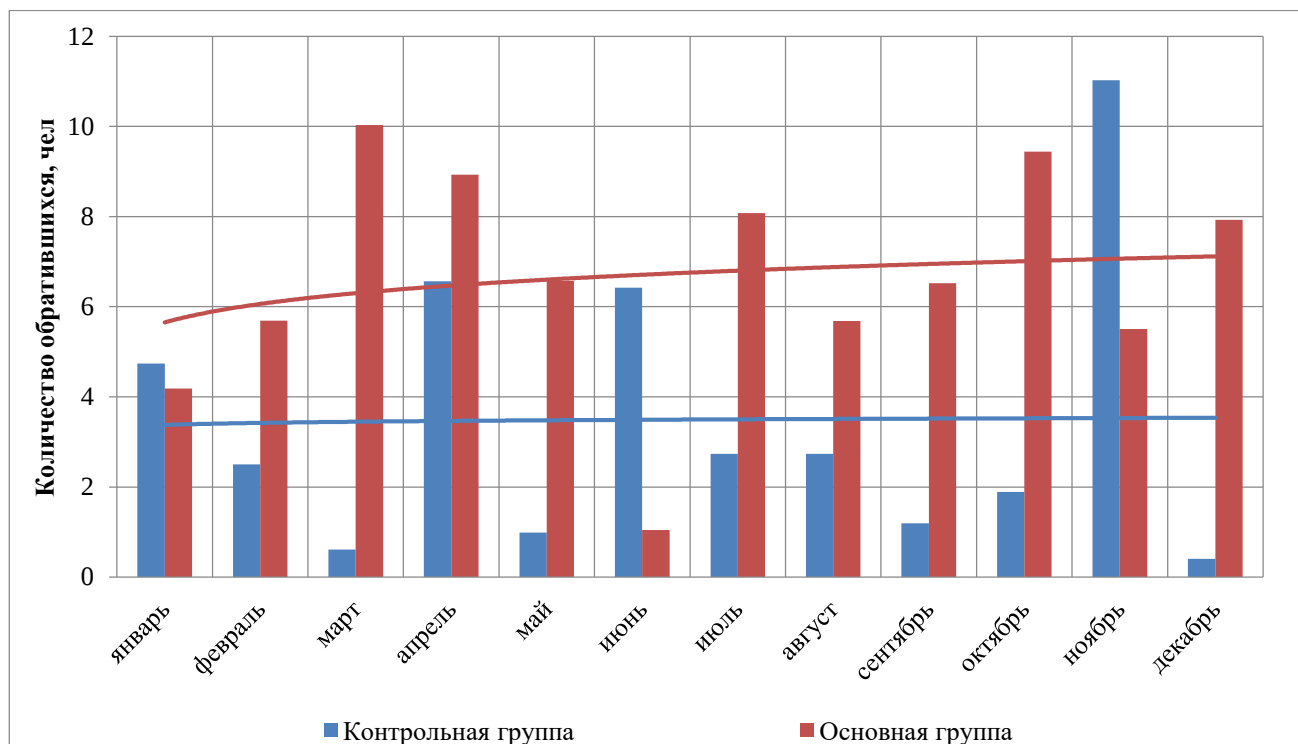


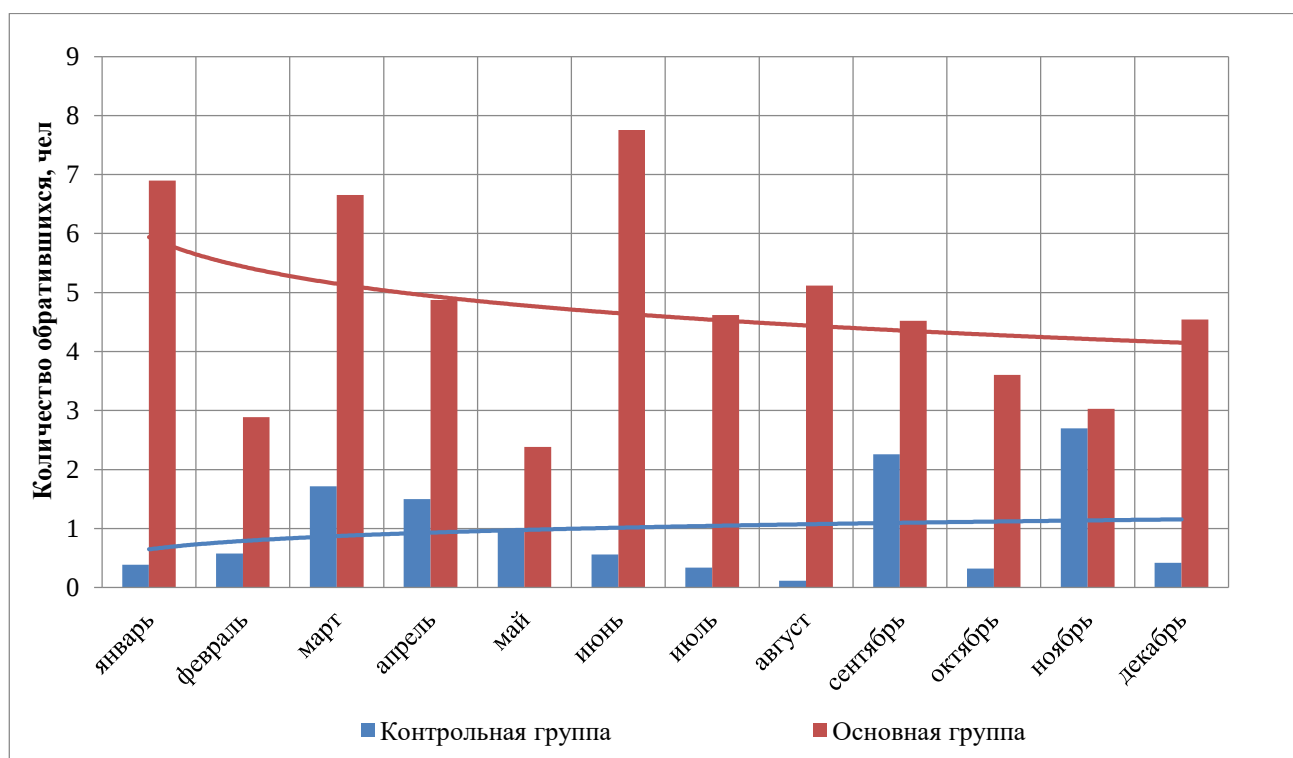
Рисунок 1.39 – Удельные показатели количества обращений исследуемых групп в медицинские учреждения по онкологическим заболеваниям в 2013 г.

Удельный показатель (рисунок 1.39) количества обращений в больничные учреждения по онкологическим заболеваниям в основной группе в 2 раза выше, чем в контрольной. В марте 2013 года в основной группе он был максимальным и составил 10, а в контрольной — в ноябре — 11. За период 2012–2013 гг. значительных изменений в распределении онкологических заболеваний в зависимости от рассматриваемых групп не произошло. В основной группе вероятность повреждения здоровья по онкологическим заболеваниям выше, чем

в контрольной. Необходимо проводить регулярные обследования работников, анализировать условия труда и разрабатывать программы по улучшению условий труда.

Заболевания крови

С целью проведения статистических исследований нами рассмотрены «удельные показатели количества обращений работников основной и контрольной групп в медицинские учреждения по заболеваниям крови» [60] в 2012 году (рисунок 1.40).



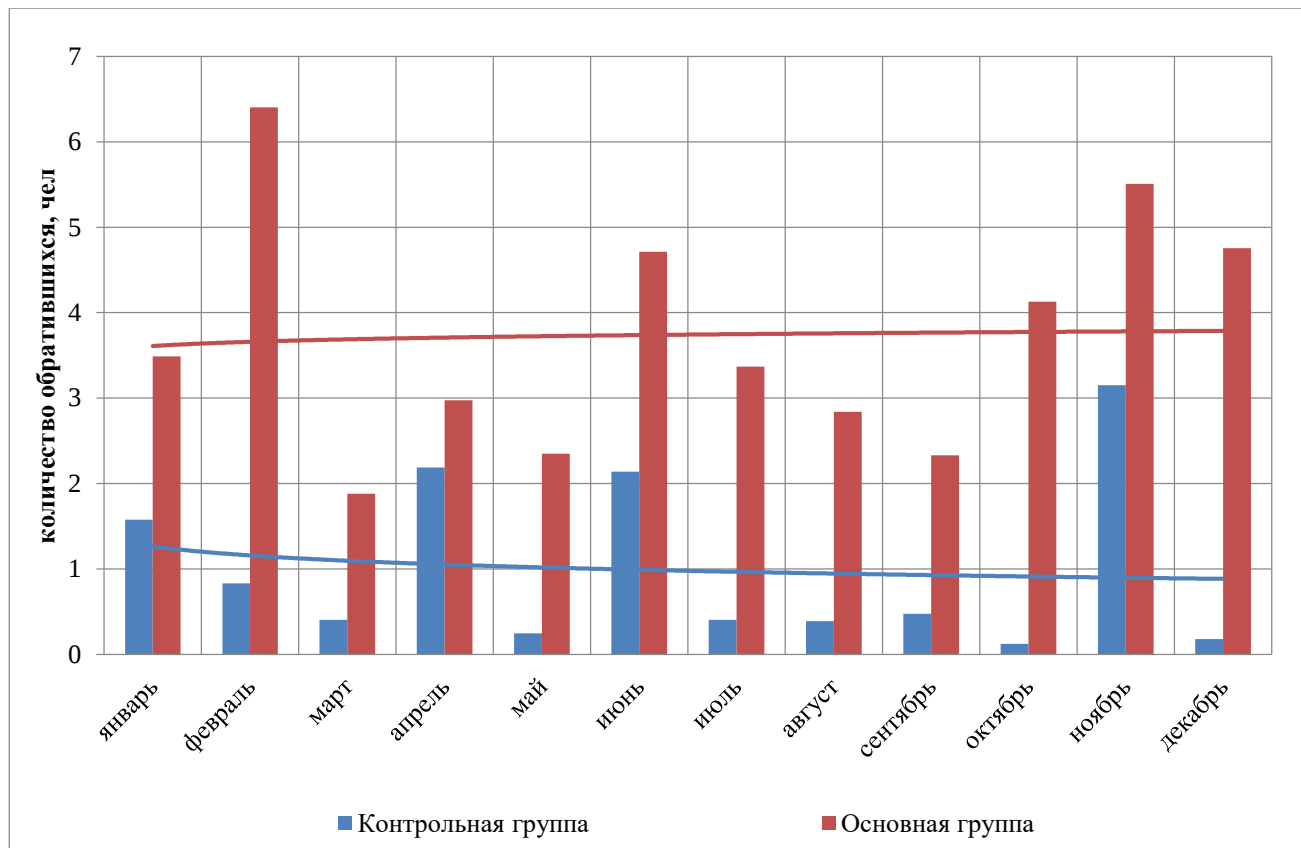
«Рисунок 1.40 – Удельные показатели количества обращений исследуемых групп в медицинские учреждения по заболеваниям крови в 2012 г.» [60]

«По данным рисунка 1.40. удельный показатель количества обращений основной группы в больничные учреждения» [60] с заболеваниями крови почти в 4 раза выше, чем в контрольной группе. В 2012 году у основной группы наибольшие значения удельного показателя по заболеваниям крови зафиксированы в июне (7,7), контрольной – в ноябре (2,7).

Проводимый анализ позволяет на первом этапе создать основу для разработки рекомендаций по улучшению условий труда. В дальнейшем

необходимо создать систему защиты электротехнического персонала, которая позволит снизить уровень заболеваемости.

Аналогично проведены исследования «удельных показателей количества обращений работников основной и контрольной групп в медицинские учреждения по заболеваниям крови» [60] в 2013 г. (рисунок 1.41.)



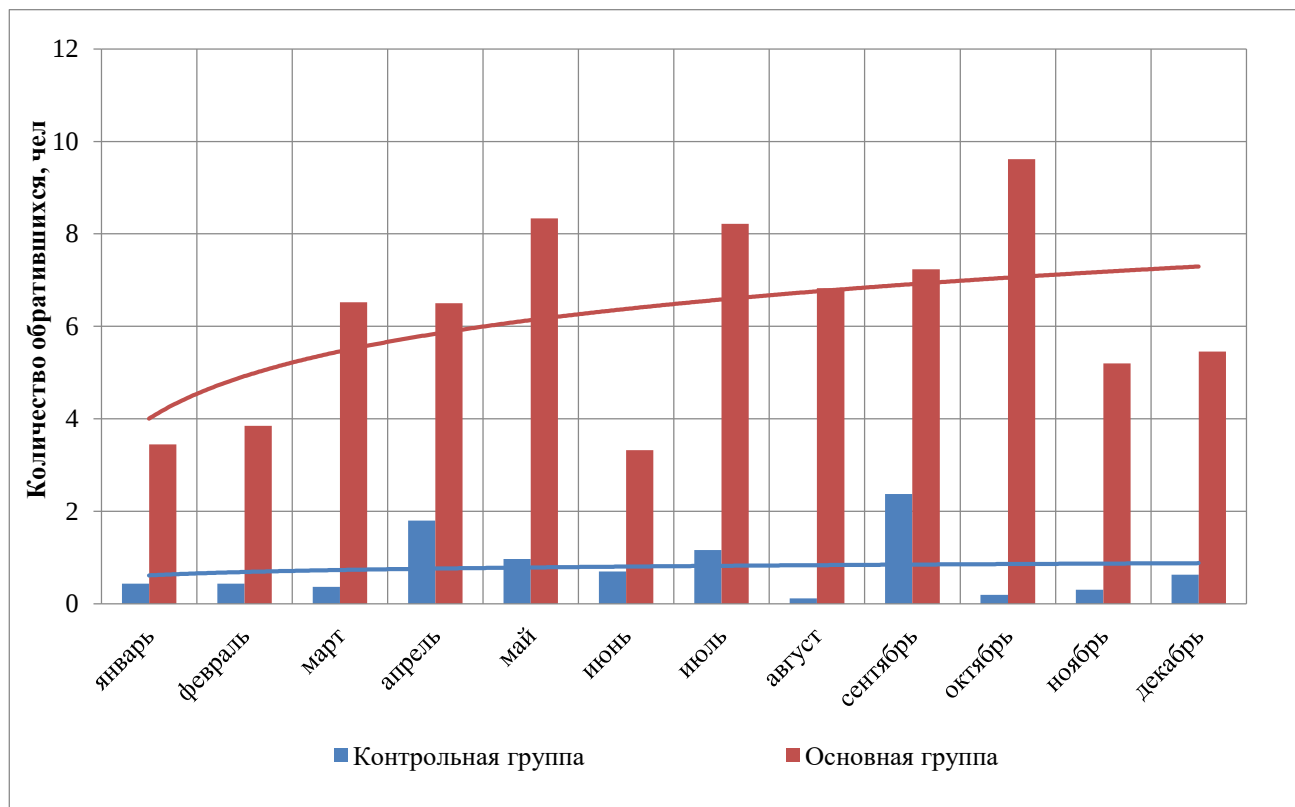
«Рисунок 1.41 – Удельные показатели количества обращений исследуемых групп в медицинские учреждения по заболеваниям крови в 2013 г.» [60]

«Как и в 2012 году, удельный показатель количества обращений основной группы в больничные учреждения по заболеваниям крови почти в 4 раза выше, чем в контрольной группе. Наибольшие значения удельного показателя основной группы в феврале составили 6,4, а в контрольной — в ноябре 3.

Результаты исследования показали, что в 2012 и 2013 годах удельный показатель количества обращений в основной группе» [60] в несколько раз выше, чем в контрольной. Это свидетельствует о высокой вероятности повреждения здоровья персонала и необходимости разработки системы защиты персонала.

Заболевания системы кровообращения

На рисунке 1.42. «показаны удельные показатели количества обращений работников основной и контрольной групп в медицинские учреждения по заболеваниям системы кровообращения в 2012 году» [60].



«Рисунок 1.42 – Удельные показатели количества обращений исследуемых групп в медицинские учреждения по заболеваниям системы кровообращения в 2012 г.» [60]

«Согласно рисунку 1.42, удельный показатель количества обращений основной группы в больничные учреждения с заболеваниями системы кровообращения почти в 4 раза выше, чем в контрольной группе. В марте 2012 года у основной группы были получены наибольшие значения удельного показателя по заболеваниям системы кровообращения (10), у контрольной – в ноябре (11).

Чтобы исследовать удельные показатели количества обращений работников основной и контрольной групп в медицинские учреждения по

заболеваниям системы кровообращения в 2013 [60] году», рассмотрим рисунок 1.43.

Полученные данные могут быть полезны для разработки рекомендаций по улучшению условий труда.

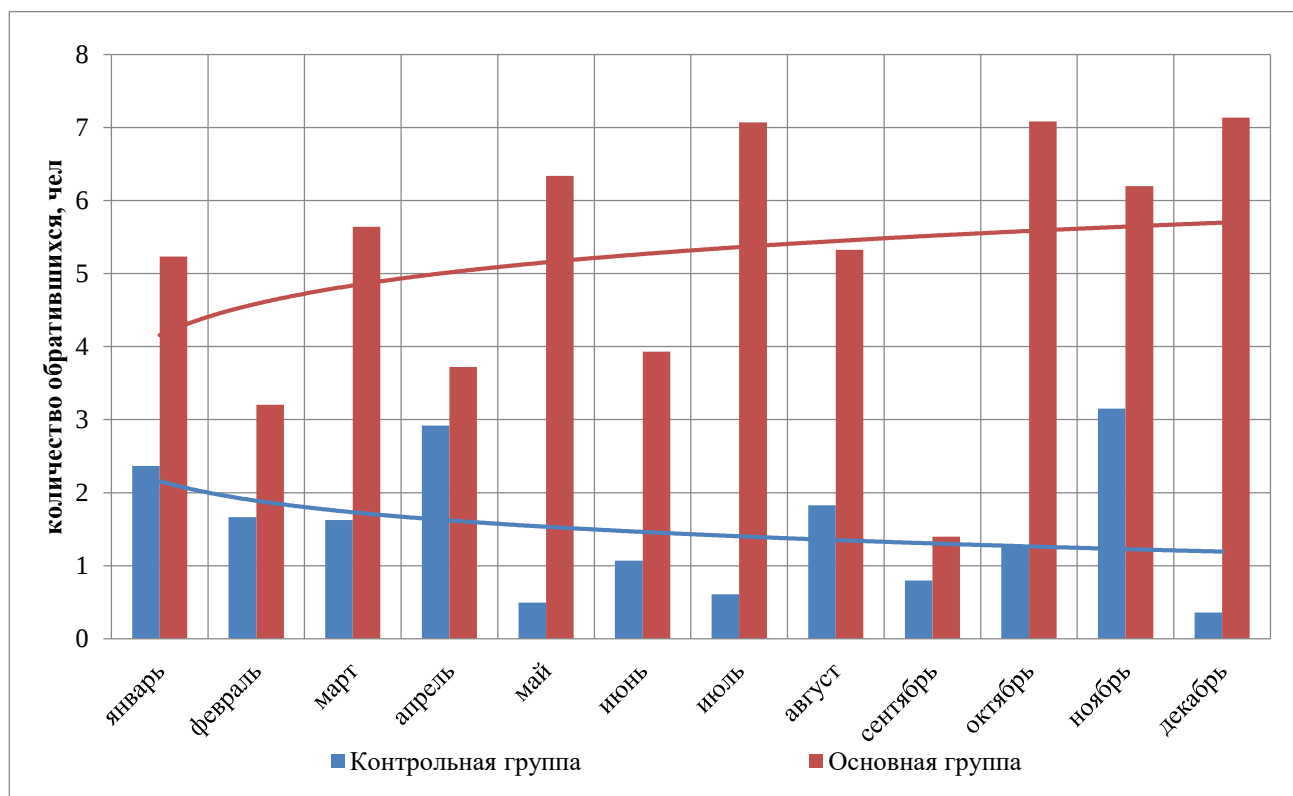


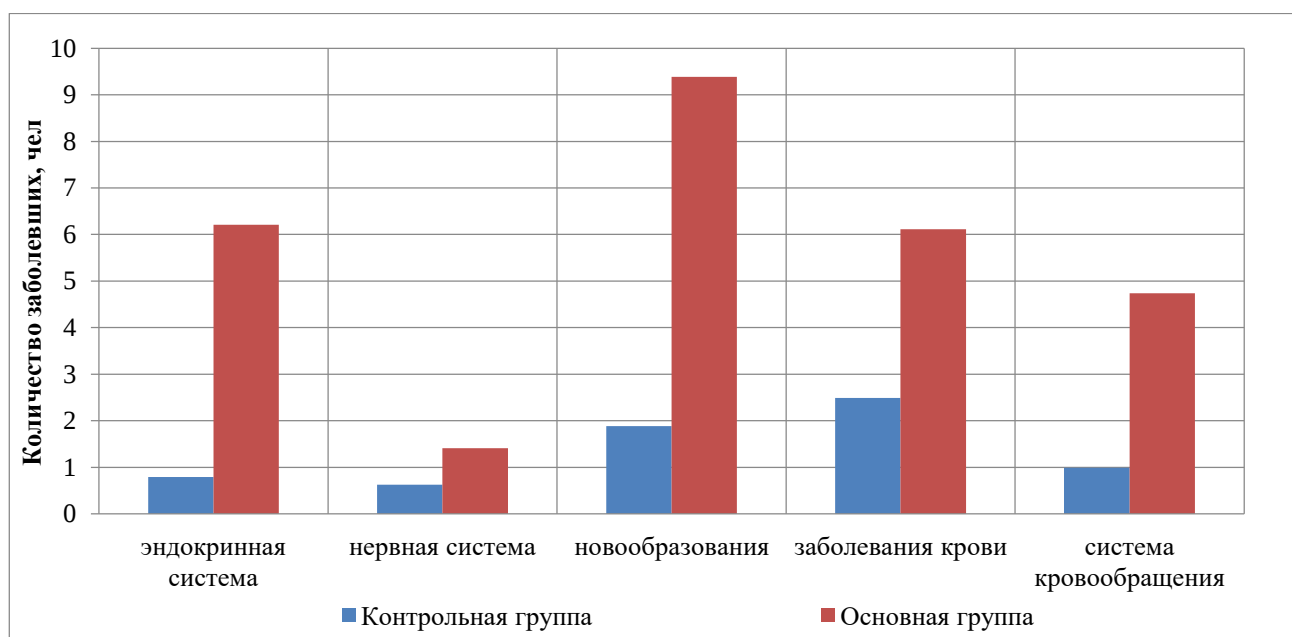
Рисунок 1.43 – Удельные показатели количества обращений исследуемых групп в медицинские учреждения по заболеваниям системы кровообращения в 2013 г. [60]

«Из рисунка 1.43 видно, что удельный показатель количества обращений основной группы в больничные учреждения с заболеваниями системы кровообращения более чем в 3 раза выше, чем в контрольной группе. В 2013 году у основной группы наибольшие значения удельного показателя по заболеваниям системы кровообращения зафиксированы в декабре (7,1), а у контрольной – в ноябре (3,1).

Анализ повреждений здоровья персонала за 2012–2013 годы показал, что основная группа по заболеваниям эндокринной и нервной систем, новообразованиям, заболеваниям крови и системы кровообращения [60]

обращается» [60] «за медицинской помощью в 2–6 раз чаще, чем контрольная» [43]. Несмотря на текучесть кадров в основной группе — 20%, высокие показатели заболеваемости не снизились; соответственно, требуется разработка системы защиты персонала, включающей мониторинг заболеваемости работников.

Нами проведена сравнительная характеристика удельных показателей количества обращений исследуемых групп «в медицинские учреждения в 2012 (рисунок 1.44.) и 2013 гг. (рисунок 1.45.)» [60].



«Рисунок 1.44 – Удельные показатели количества обращений исследуемых групп в медицинские учреждения в 2012 г.

Удельные показатели количества обращений основной группы в медицинские учреждения в 2012 году выше, чем в контрольной, по следующим заболеваниям:

- эндокринной системы – в 6,4 раза;
- новообразований – в 4,8 раза;
- крови – в 2,4 раза;
- системы кровообращения – в 5,0 раз» [60].

Важно отметить, что профилактика данных заболеваний требует комплексного подхода, включающего организационно-технические мероприятия.

На рисунке 1.45. представлена сравнительная характеристика удельных показателей количества обращений исследуемых групп в 2013 году.

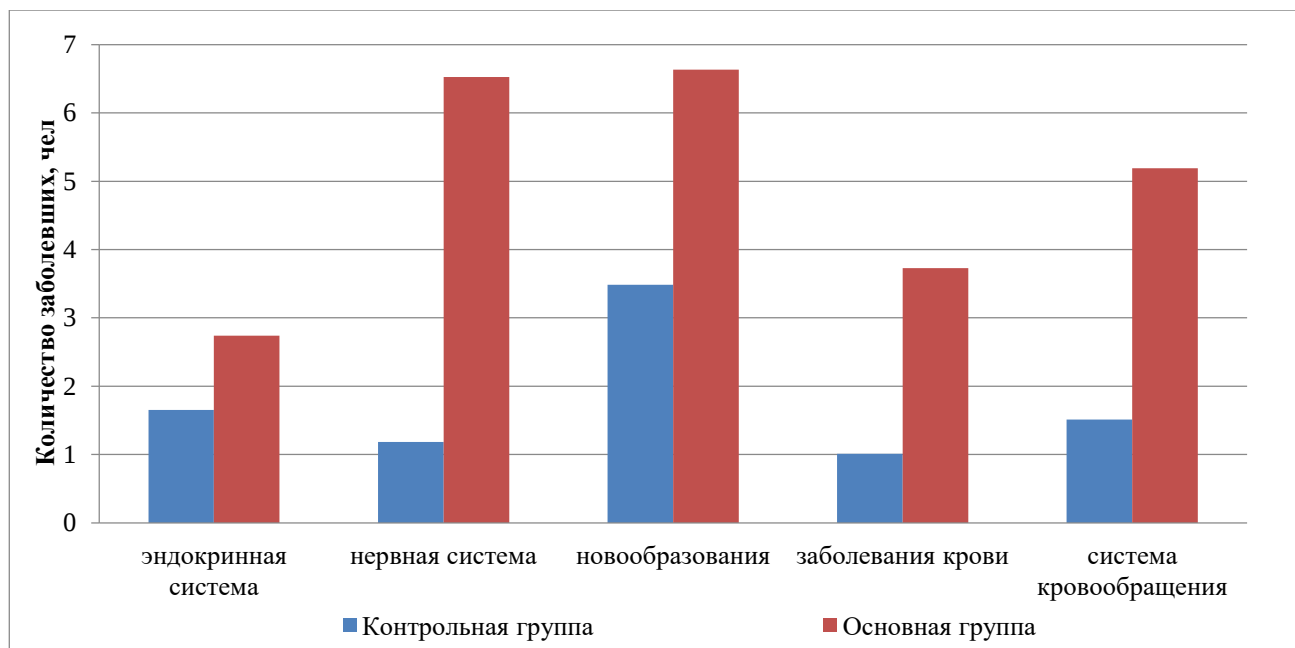


Рисунок 1.45 – Удельные показатели количества обращений исследуемых групп в медицинские учреждения в 2013 г. [60]

«Удельные показатели количества обращений основной группы в 2013 году выше, чем в контрольной, по заболеваниям:

- эндокринной системы – в 1,8 раза;
- новообразований – в 1,9 раза;
- крови – в 3,9 раза;
- системы кровообращения – в 3,0 раза.

Проведение статистического анализа» [60] заболеваемости машинистов и помощников машинистов является ключевым этапом в исследовании, направленном на выявление факторов, влияющих на вероятность повреждения здоровья рассматриваемых групп. Визуализация данных представлена в виде графиков, что позволяет наглядно оценить полученные результаты.

Данные «по заболеваниям эндокринной и нервной систем,

новообразованиям, заболеваниям крови и системы кровообращения» [60] рассматриваемых групп также свидетельствуют о высокой производственно обусловленной вероятности заболеваемости работников (машинистов и помощников машинистов) [101].

Важно внедрять программы по профилактике заболеваний и повышению уровня электромагнитной безопасности персонала. Забота о здоровье сотрудников должна стать приоритетом для работодателей, что в конечном итоге приведет к увеличению производительности и снижению затрат на лечение и восстановление работников.

Публикации исследователей указывают на высокую вероятность повреждения здоровья электротехнического «персонала. Для предупреждения повреждения здоровья персонала необходимо разработать и внедрить новую систему защиты» [44] в уже действующую (разд. 1.4). В ней предлагается рассмотреть и раскрыть оценку, контроль и гигиеническое нормирование ЭМП, а также разработать организационные мероприятия и технические средства защиты персонала. Появляется необходимость проведения дополнительных исследований в этой области, в том числе связанных с «аддитивной оценкой электрических и магнитных полей до 1 кГц и изменением их уровней в ЭПС» [60].

1.4. Существующая система защиты электротехнического персонала при воздействии электрических и магнитных полей 50 Гц [60]

«По нашему мнению, система – это полный комплекс взаимосвязанных подсистем, решающих определенную задачу. В настоящее время функционирует система защиты электротехнического персонала при воздействии электрических и магнитных полей частотой 50 Гц» [192], которая включает в себя несколько

ключевых аспектов, направленных на снижение вероятности повреждения здоровья этого персонала.

В соответствии с рисунком 1.46 основными элементами системы являются:

- **Оценка ЭМП 50 Гц.** Оценка ЭМП на рабочих местах электротехнического персонала реализуется в рамках специальной оценки условий труда и производственного контроля. Измерения электрических и магнитных полей 50 Гц осуществляются приборами, соответствующими требованиям ГОСТ. Измерения электрических и магнитных полей 50 Гц проводятся в соответствии с Методическими указаниями (МУК).

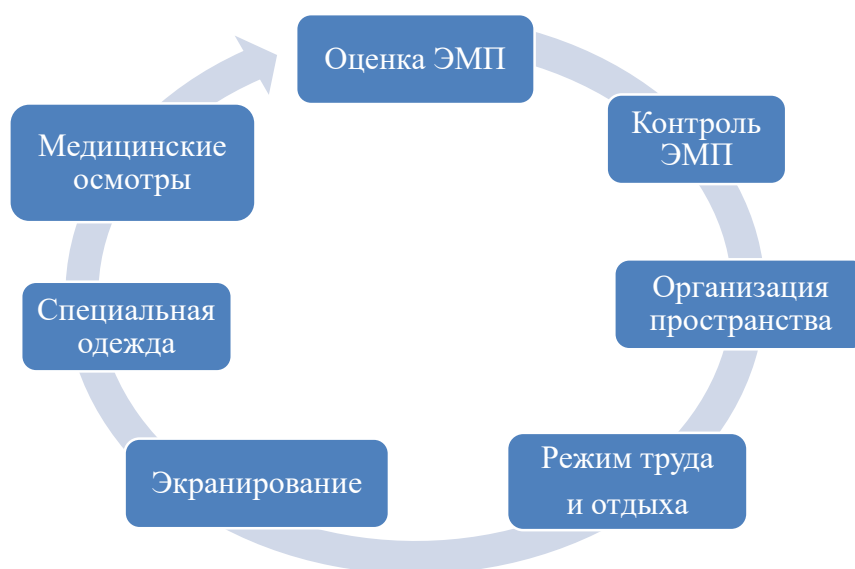


Рисунок 1.46 – Система защиты электротехнического персонала при воздействии электрических и магнитных полей 50 Гц

Полученные уровни полей сравнивают с предельно допустимыми и устанавливают классы условий труда.

- **Контроль ЭМП.** Контроль ЭМП 50 Гц осуществляется в рамках специальной оценки с периодичностью 1 раз в 5 лет, а при производственном контроле – 1 раз в год.

- **Организация пространства.** Электроустановки на рабочих местах электротехнического персонала размещаются так, чтобы минимизировать воздействие ЭМП на персонал. Реализуется «защита расстоянием».

- **Режим труда и отдыха.** Организация режима труда и отдыха электротехнического персонала проводится таким образом, чтобы уменьшить время его нахождения под воздействием ЭМП, превышающих ПДУ, то есть происходит «защита временем».

- **Экранирование.** Электромагнитное поле состоит из электрической и магнитной составляющих, которые взаимодействуют друг с другом и распространяются в пространстве. Электромагнитные поля взаимодействуют с материалами через механизмы отражения, поглощения и рассеяния, которые зависят от свойств материала, таких как электропроводность, магнитная проницаемость и диэлектрическая постоянная, а также от «частоты электромагнитного поля. При отражении значительная часть энергии возвращается в исходную среду, что снижает проникновение поля в материал. Поглощение связано с преобразованием энергии поля» [157] в тепловую внутри материала, что особенно важно для экранирования. Рассеяние изменяет направление распространения поля, уменьшая его интенсивность в определенном направлении. На низких частотах экранирование становится более сложным из-за увеличения длины волны, что требует использования более толстых материалов. Также необходимо учитывать параметры конструкции, которые могут влиять на общую эффективность экранирования. Эффективность экранирующих материалов определяется их физическими и химическими свойствами. Гибридные материалы, сочетающие свойства металлов и полимеров, представляют собой инновационное решение для экранирования.

- **Специальная одежда.** Использование персоналом защитной одежды из материалов, экранирующих воздействие электрических полей. При напряженности электрического поля частотой 50 Гц, превышающей 25 кВ/м,

работодатель обязан выдавать электротехническому персоналу экранирующие костюмы.

- **Медицинские осмотры.** Медицинские осмотры — это важный инструмент, способствующий увеличению производительности и снижению вероятности повреждения здоровья среди работников, обслуживающих электроустановки. Медицинские осмотры персонала являются важной частью системы охраны труда и направлены на обеспечение здоровья работников, а также на предупреждение профессиональных заболеваний. Раннее обнаружение заболеваний или нарушений здоровья увеличивает вероятность выздоровления персонала. Осуществляется регистрация случаев заболевания, ведется учет всех случаев профессиональных заболеваний и определяется их связь с условиями труда. В настоящее время имеется перечень профессиональных заболеваний, возникающих при воздействии на персонал ЭМП неионизирующего излучения.

Нам представлена хорошо продуманная система защиты электротехнического персонала при раздельном воздействии электрических и магнитных полей 50 Гц. Кроме ЭМП 50 Гц, на рабочих местах [114] электротехнического персонала могут присутствовать электрические и магнитные поля иных частот [44]. В этом случае приведенная система защиты электротехнического персонала (рисунок 1) нуждается в совершенствовании. Методик оценки, контроля и нормирования электрических и магнитных полей до 1 кГц (кроме 50 Гц) нет, и защитные мероприятия не разрабатываются.

Нами впервые предлагается структура системы защиты (рисунок 1.47), обеспечивающая защиту персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей. Она содержит организационные мероприятия и технические средства. При разработке системы использовался метод дедукции.



Рисунок 1.47 – Структура системы защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей

Так как электротехнический персонал при эксплуатации электрооборудования ряда систем электроснабжения и электрических сетей находится под одновременным совместным (аддитивным) «воздействием электрических и магнитных полей, необходима система защиты персонала при аддитивном воздействии этих полей. Эта система должна включать комплекс мероприятий, направленных на исключение или ослабление воздействия данных факторов на электротехнический персонал, обслуживающий электроустановки» [60].

1. Методическое обеспечение содержит:

- «методику оценки электрических и магнитных полей при аддитивном воздействии на электротехнический персонал (разд. 2.5);
- методику оценки вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей (разд. 2.6)» [44].

2. «Организационное обеспечение включает:

- оценку ЭМП. Измерение электрических и магнитных полей до 1 кГц» [44]. Сопоставление полученных данных с предельно безопасными уровнями и принятие решений о необходимости внедрения мер защиты являются важными шагами в обеспечении безопасности;

- аудиты электромагнитной безопасности. Проведение регулярных проверок соблюдения электромагнитной безопасности на рабочих местах электротехнического персонала.

3. Лечебно-профилактическое обеспечение содержит:

- регулярные медицинские осмотры работников для выявления заболеваний, в том числе связанных с производственно обусловленной заболеваемостью. В настоящее время работники проходят медицинские осмотры только по профессиональным заболеваниям;
- программу, направленную на предотвращение производственно обусловленной заболеваемости машинистов и помощников машинистов;
- «мониторинг состояния здоровья электротехнического персонала.

4. Техническое обеспечение охватывает:

- разработку приборов для контроля электрических и магнитных полей до 1 кГц, что позволяет минимизировать вероятность повреждения здоровья работников» [60];
- «экранирование. Для защиты персонала в машинном отделении ЭПС при воздействии низкочастотных электромагнитных полей применяют перегородки» [192] (сплошные и сетчатые).

Наполнить предложенную систему защиты персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей (рисунок 1.47) возможно после получения данных о том, каким образом изменяются энергетические характеристики ЭМП в ЭПС, изучив ЭМП «со спектром высших гармонических составляющих, присутствующие на рабочих местах электротехнического персонала, обслуживающего ЭПС.

Задачи исследования

Электротехнический персонал попадает в зону электрического и магнитного влияния со спектром высших гармонических составляющих ЭМП» [191]; возникает необходимость в их оценке и контроле, что в настоящее время не осуществляется (кроме полей частотой 50 Гц). Для электротехнического персонала, обслуживающего ЭПС, актуально аддитивное воздействие рассматриваемых полей, которое в настоящее время не подлежит оценке, контролю и нормированию.

Имеющиеся пробелы в законодательстве приводят к тому, что условия труда на «рабочих местах не оцениваются должным образом, при этом наблюдается рост производственно обусловленной заболеваемости [60].

Ситуация усугубляется ещё и тем, что в результатах приведённых экспериментальных исследований магнитных и электрических полей в электровозах переменного тока» [60] ВЛ80к, ВЛ80р, ЧС4т зафиксировано превышение ПДУ полей [39,68-69, 132].

Результаты экспериментальных исследований ЭП и МП в ЭПС, а также статистические данные по производственно обусловленной заболеваемости электротехнического персонала [25,35,37,39,49,67,101,109,110,153,155,158, 160,179,183,190] подтвердили необходимость разработки и применения системы защиты электротехнического персонала, которая требует решения следующих задач:

1. Создание методики оценки, контроля и нормирования ЭМП и логико-вероятностной модели определения возможных исходов аддитивного воздействия электрических и магнитных полей на электротехнический персонал (глава 2).
2. Разработку математической модели энергетических характеристик ЭМП в ЭПС, знание которых необходимо для создания системы защиты (глава 3).

3. «Выполнение экспериментальных и аналитических исследований электрических и магнитных полей переменного тока на рабочих местах электротехнического персонала (глава 4)» [60].

4. «Разработку и обоснование способов и устройств защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей до 1 кГц» [192], которые совместно с полученными нами закономерностями изменения энергетических характеристик ЭМП от параметров тяговой сети и предложенными нормами образуют систему защиты персонала (глава 5).

ГЛАВА 2. БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

«ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ» [44]

«Для разработки системы защиты электротехнического персонала» [44] при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей необходимо:

1. предложить гипотезу, позволяющую аддитивно оценивать электрические и магнитные поля через энергию неионизирующего ЭМП (разд. 2.1),
2. обосновать возможность её применения на практике (разд. 2.2),
3. провести биологические исследования. Для этого нужно:
 - создать установку для осуществления исследований на биологических объектах (разд. 2.3.1);
 - исследовать созданные на установке электрические и магнитные поля разной частоты и их аддитивное действие на биологические объекты (разд. 2.3.2 и разд. 2.3.3).
4. провести расчет низкочастотных ЭМП, проникающих внутрь биологических тел (разд. 2.4),
5. разработать методику оценки, контроля и нормирования ЭМП и логико-вероятностную модель возможных исходов аддитивного воздействия электрических и магнитных полей на электротехнический персонал (разд. 2.5 и разд. 2.6).

2.1. Определение энергетической нагрузки ЭМП

На рассматриваемых рабочих местах электротехнического персонала одновременно присутствуют электрические и магнитные поля. Поэтому необходимо проводить аддитивную оценку этих полей, которая в настоящее время осуществляется раздельно. Методика аддитивной оценки электрических и

магнитных полей на рабочих местах электротехнического персонала отсутствует. В связи с этим предлагается осуществлять аддитивную оценку электрических и магнитных полей через «энергию неионизирующего ЭМП.

Энергию неионизирующего ЭМП можно выразить через вектор Умова-Пойнтинга» [43]. «Электромагнитное поле в некотором малом объеме пространства dV имеет запас электрической (E) и магнитной (H) энергии:

$$W = \int_v \frac{DE}{2} dV + \int_v \frac{DH}{2} dV = \int_v \left(\frac{\varepsilon E^2}{2} + \frac{\mu H^2}{2} \right) dV. \quad (2.1)$$

Электромагнитное поле и его запас энергии непрерывно изменяются во времени. Допустим, что происходит убывание количества энергии в объеме V со скоростью :

$$-\frac{dW}{dt} = - \int_v \left(\varepsilon E \frac{dE}{dt} + \mu H \frac{dH}{dt} \right) dV.$$

Из первого и второго уравнений Максвелла следует» [60]:

$$\varepsilon \frac{dE}{dt} = [\nabla H] - \gamma E; \quad \mu \frac{dH}{dt} = -[\nabla E].$$

В любом месте пространства, где существует ток проводимости, имеется вихревое магнитное поле. Второе уравнение Максвелла выражает в математической форме факт индуктирования вихревого электрического поля в любой среде изменяющимся во времени магнитным полем [45].

Рассматривая оператор ∇ как символ дифференцирования и обращаясь с ним формально как с вектором, можно получить [57]:

$$\nabla[E \cdot H] = E[H\nabla] + H[\nabla E] = H[\nabla E] - E[\nabla H],$$

Выражение скорости убывания энергии примет следующую форму [60]:

$$-\frac{dW}{dt} = \int_V \gamma E^2 dV + \int_V \nabla [E \cdot H] dV.$$

Энергия расходуется на нагревание объёма за счет токов проводимости и излучение энергии во внешнее пространство [43]. «Второй член уравнения преобразуем по теореме Остроградского – Гаусса:

$$\int_V \nabla [E \cdot H] dV = \oint_S [E \cdot H] ds,$$

Мгновенное значение плотности потока энергии в единицу времени или энергетическая нагрузка ЭМП будет равна:

$$\mathcal{E} = [E \cdot H]. \quad (2.2)$$

где $\mathcal{E}$ – поток энергии (вектор Умова-Пойтинга), Вт/м² или ВА/м²;

E – напряженность электрического поля, В/м;

H – напряженность магнитного поля, А/м» [60].

При переменном токе требуется использовать полную мощность, состоящую из активной и реактивной составляющих. Использование данного метода «оценки позволит заполнить пробел в области аддитивной оценки электрических и магнитных полей на рабочих местах электротехнического персонала.

После проведения оценки электрических и магнитных полей» [6] на рабочих местах необходимо сравнить полученный результат с нормой. Возникает вопрос: как нормировать электрические и магнитные поля при их аддитивном воздействии на персонал ? Ответ и обоснование приведены в разд. 2.2.

2.2. Обоснование применения предельно безопасных уровней по среднесменной энергетической нагрузке ЭМП

«Детерминированные методы нормирования предельно допустимых уровней (ПДУ) напряженности электрических и магнитных полей не позволяют в полной мере оценивать вредное воздействие ЭМП на работников» [57]. «Следовательно, нормирование должно основываться на вероятности повреждения здоровья персонала в зависимости от экспозиции ЭМП» [43].

В связи с тем, что вблизи «контактной сети переменного тока создается энергетическая нагрузка ЭМП, необходимы предельно безопасные уровни (ПБУ) энергетической нагрузки ЭМП. Предельно безопасные уровни (ПБУ) — это уровни энергетических характеристик ЭМП» [60], превышение которых приведет к повреждению здоровья персонала, связанного с обслуживанием «электроустановок.

Нормирование вредного воздействия неионизирующего ЭМП в виде предельно допустимых значений напряженности электрической и магнитной составляющих ставит перед исследователями вопрос: как нормировать сочетанное (аддитивное) воздействие электрической и магнитной составляющих ЭМП» [43] ? Существует необходимость более глубокого понимания в вопросах нормирования сочетанного (аддитивного) воздействия этих составляющих на работников, что является актуальным для обеспечения их здоровья и безопасности. Для решения этой задачи проведен анализ изменений предельно безопасных уровней «энергетической нагрузки ЭМП при линейно разнонаправленном изменении электрической и магнитной составляющих» [60] (рисунок 2.1).

Ожидается, что результаты данного исследования послужат основой для дальнейшего развития нормативных требований и методик, направленных на повышение уровня электромагнитной безопасности работников,

обслуживающих электроустановки, а также на минимизацию негативного влияния ЭМП на их здоровье [60].

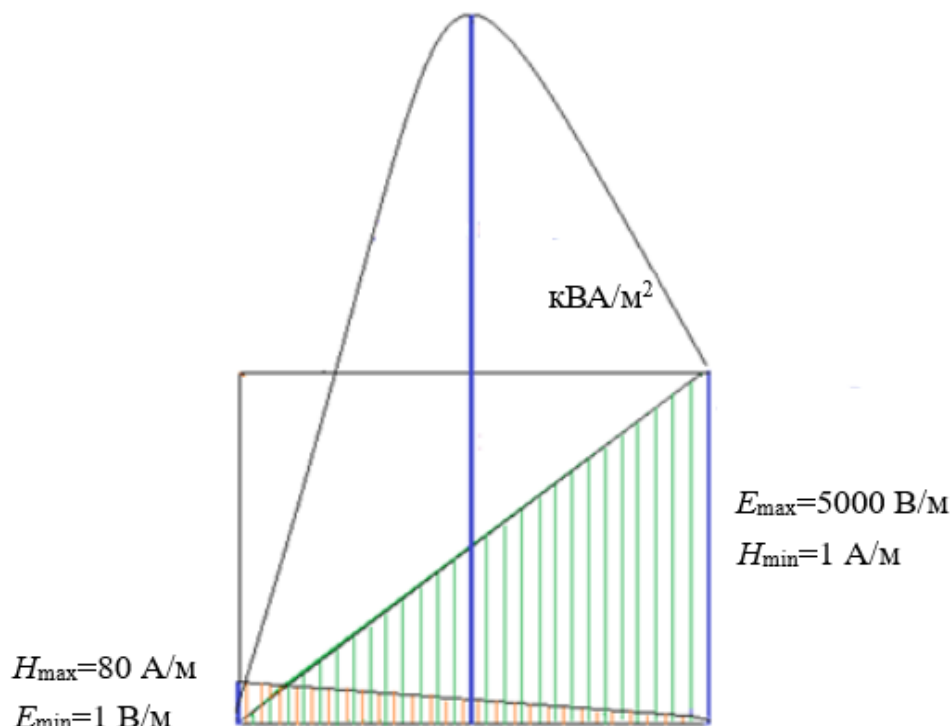


Рисунок 2.1 – Диаграмма ПБУ энергетической нагрузки ЭМП [60]

Из рисунка 2.1 можно сделать вывод, что ПБУ энергетической нагрузки ЭМП может удовлетворять требованиям СанПиН 1.2.3685-21 [130] при одной и той же продолжительности экспозиции и самым разным значениям, зависящим от сочетания величины электрической и магнитной составляющих ЭМП (80 ВА/м², 5,0 кВА/м², 100 кВА/м², 200 кВА/м²). Возникает вопрос: как определиться с ПБУ [60] ?

Для этого значения напряженности электрического и магнитного поля представим в относительных безразмерных единицах в следующем виде [60]:

$$\frac{E_i}{E_{\text{норм}}} = e_{io}, \quad \frac{H_i}{H_{\text{норм}}} = h_{io}, \quad (2.3)$$

При учете и нормировании данного показателя должна выполняться следующая система уравнений [60]:

$$\begin{cases} h_{io} + e_{io} \leq 1, \\ 0 < h_{io} < 1, \\ 0 < e_{io} < 1. \end{cases} \quad (2.4)$$

Значение вероятности наступления такого события находится в пределах от 0 до 1. Представим данную систему уравнений в графическом виде (рисунок 2.2) [60].

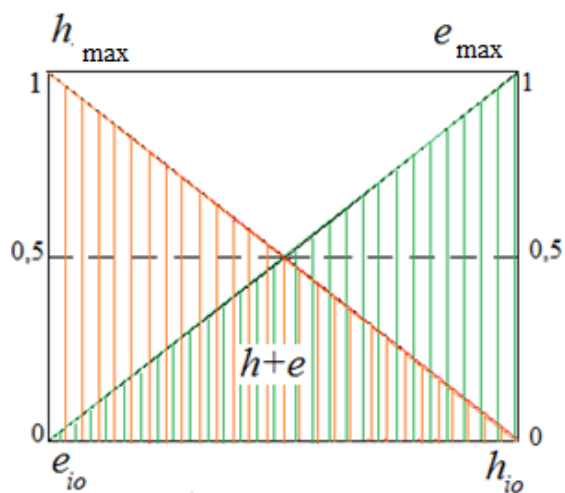


Рисунок 2.2 – Линейное разнонаправленное изменение относительных значений напряженности электрического и магнитного полей[60]

На рисунке 2.2 приведен единственный возможный вариант суммирования относительных значений напряженности электрического и магнитного полей при линейном и пропорциональном разнонаправленном изменении относительно друг друга, когда выполняются все три уравнения системы уравнений (2.4) [60].

Вероятность повреждения здоровья персонала при вредном воздействии электромагнитного поля как случайного фактора определяется случайным сочетанием различных событий. Рассмотрим вероятность события: возникновение уровня экспозиции, вызывающего повреждение здоровья персонала. Условимся, что ЭМП всегда существует при наличии электрической и магнитной составляющих [60]. С учетом некоторого запаса, который может

быть связан со случайными факторами наличия особенно устойчивых отдельных организмов на воздействие ЭМП, можно принять [60]:

$$\Theta = 0,999, \text{ если } \frac{E_i}{E_{\text{норм}}} + \frac{H_i}{H_{\text{норм}}} \geq 1 \quad (2.5)$$

Рассмотрим вероятность события: возникновение уровня экспозиции, не вызывающего наступления повреждения здоровья персонала в результате экспозиции ЭМП. В этом случае данное событие не наступит, если каждое из слагаемых и их сумма (2.5) не превысит 0,5. С учетом возможных особенно чувствительных организмов к воздействию ЭМП в качестве допущения можно принять [43]:

$$\Theta=0,001, \text{ если } \frac{E_i}{E_{\text{норм}}} < 0,5; \frac{H_i}{H_{\text{норм}}} < 0,5; \frac{E_i}{E_{\text{норм}}} + \frac{H_i}{H_{\text{норм}}} < 0,5 \quad (2.6)$$

«где Θ – энергетическая нагрузка ЭМП, ВА/м²» [43].

«Сложно оценить вероятность возникновения экспозиции, которая может вызвать наступление повреждения здоровья персонала в случае изменяющейся интенсивности воздействия вредного фактора.

Можно сформулировать гипотезу: величина» [60] «вероятности наступления повреждения здоровья персонала» [48] «изменяется пропорционально превышению параметра, действующего ЭМП на работника, по отношению к величине предельно безопасного уровня. В качестве такого комплексного параметра, характеризующего электрическую и магнитную составляющую ЭМП, можно принять энергетическую нагрузку (вектор Умова-Пойтинга).

Для выражений при совместном воздействии на работников электрической и магнитной составляющих ЭМП максимальное расчетное значение величины ПБУ энергетической нагрузки составит $0,25 \cdot H_{\text{норм}} \cdot E_{\text{норм}}$. Вероятность

превышения уровня экспозиции, при которой может возникнуть повреждение здоровья персонала, с учетом сформулированной гипотезы можно выразить соотношением:

$$\Theta = \frac{E_i \cdot H_i}{0,25 \cdot E_{\text{норм}} \cdot H_{\text{норм}}}, \text{ если } 0,5 \leq \frac{E_i}{E_{\text{норм}}} + \frac{H_i}{H_{\text{норм}}} \leq 1. \quad (2.7)$$

На основании изложенного можно определить вероятность превышения уровня экспозиции параметров ЭМП, при которой наступит вероятность производственно обусловленного заболевания работников, в частности электротехнического персонала, обслуживающего электроподвижной состав»:

$$\Theta = \begin{cases} \frac{E_i \cdot H_i}{0,25 \cdot E_{\text{норм}} \cdot H_{\text{норм}}}, & 0,5 \leq \frac{E_i}{E_{\text{норм}}} + \frac{H_i}{H_{\text{норм}}} \leq 1, \\ 0,001, & \frac{E_i}{E_{\text{норм}}} < 0,5; \frac{H_i}{H_{\text{норм}}} < 0,5; \frac{E_i}{E_{\text{норм}}} + \frac{H_i}{H_{\text{норм}}} < 0,5, \\ 0,999, & \frac{E_i}{E_{\text{норм}}} + \frac{H_i}{H_{\text{норм}}} \geq 1. \end{cases} \quad (2.8)$$

«Эти соотношения позволят более точно оценивать вероятность производственно обусловленных заболеваний работников при воздействии на них электромагнитных полей.

Метод оценки аддитивности доз вредного воздействия электрической и магнитной составляющих ЭМП на персонал через изоэффективности подтверждает возможность использования приведенной гипотезы. В этом случае уравнение единичной изоэффективной дозы для 8-ми часовой экспозиции электрической и магнитной составляющих ЭМП можно представить соотношением:

$$k_a = \frac{1}{\frac{H}{H_{\text{норм}}} + \frac{E}{E_{\text{норм}}}} = \frac{1}{\frac{40}{80} + \frac{2500}{5000}} = 1, \quad (2.9)$$

где: k_a – коэффициент аддитивности;

H и E – полудозовые уровни напряженностей электрической и магнитной составляющих поля при одновременном их воздействии на персонал;

$H_{\text{норм}}$ и $E_{\text{норм}}$ – пороговые предельно допустимые (дозовые) уровни напряженности магнитной и электрической составляющих поля» [60].

Поскольку $k_a=1$, то это позволяет утверждать, что на электротехнический персонал ЭП и МП действуют аддитивно. Для ЭМП на частоте 50 Гц уровни пороговых предельно допустимых значений магнитной и электрической составляющих равны ПБУ [60]. При нормировании одновременно двух факторов (электрических и магнитных составляющих ЭМП) необходимо ПДУ дозового уровня напряженности каждого уменьшить в 2 раза [56].

Итак, предельно безопасный уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП (ВА/м²) можно определить по формуле [60]:

$$\mathcal{E}_{\text{ПБУ}}(f) = \frac{E_{\text{ПБУ}}(f) \cdot H_{\text{ПБУ}}(f)}{2 \cdot 2} = \frac{E_{\text{ПБУ}}(f) \cdot H_{\text{ПБУ}}(f)}{4}. \quad (2.10)$$

где $H_{\text{ПБУ}}(f)$ и $E_{\text{ПБУ}}(f)$ – предельно безопасные уровни (или предельно допустимые уровни) напряженности магнитной и электрической составляющих поля со спектром высших гармонических составляющих [49].

Подтверждают необходимость оценки аддитивного воздействия ЭП и МП и исследования по определению вредного влияния энергетической нагрузки ЭМП на биологические объекты [42], полученные в результате междисциплинарного сотрудничества (программа проведения совместных экспериментальных исследований на 2016-2023 гг.) биологов ФГБОУ ВО ИнГГУ и инженеров ФГБОУ ВО УрГУПС (д.т.н., профессор Кузнецов К.Б., к.т.н., доцент Закирова А.Р.) [60].

Для проведения исследований потребовалось создать установку и подобрать объект исследования (разд. 2.3). Для получения в будущем достоверных результатов по исследованию аддитивного действия ЭП и МП на биологические объекты необходимо знать характеристики ЭМП, поэтому на

разработанной нами установке необходимо было измерить уровни электрических и магнитных полей разной частоты, то есть провести экспериментальные исследования (разд. 2.3.1 и разд. 2.3.2). Затем, в соответствии с разработанной программой, на биологических объектах исследовать аддитивное воздействие ЭП и МП (разд. 2.3.3).

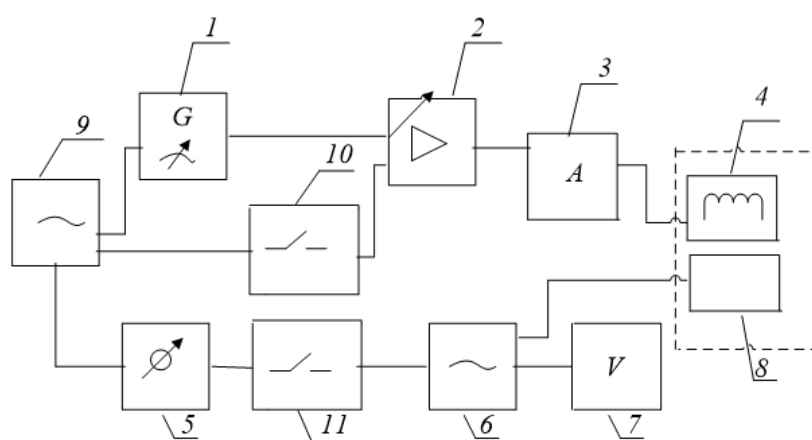
2.3. Исследование влияния электрических и магнитных полей разных частот на «биологические объекты» [42]

«Биологические процессы, протекающие в теле человека, сложны и многогранны. Разработка системного подхода к сложным научным вопросам о действии электромагнитных полей на биологические объекты может быть достигнута только в междисциплинарном сотрудничестве биологов и инженеров. В настоящее время в России информация о действии энергетической нагрузки ЭМП со спектром частот до 1 кГц на биологические объекты и его влиянии на живые организмы отсутствует. Поэтому впервые:

- нами было разработано устройство для генерирования ЭП и МП, энергетической нагрузки ЭМП,
- определён порядок и методы» [42] «проведения экспериментальных исследований воздействия ЭМП в частотном диапазоне до 1 кГц на биологические объекты (животные, растения) в зависимости от частоты и продолжительности воздействия данного фактора» [46],
- «проведены исследования по определению аддитивного влияния ЭП и МП на биологические объекты при частоте 50 Гц» [42].

2.3.1. Разработка устройства для создания энергетической нагрузки ЭМП [60]

«Для проведения биологических экспериментов на живых объектах специально разработана экспериментальная установка (устройство) по созданию переменного магнитного и электрического полей низкочастотного диапазона» [60] «и энергетической нагрузки ЭМП. Схема устройства (Патент № 2589497, Российская Федерация) представлена на рисунке 2.3» [42].



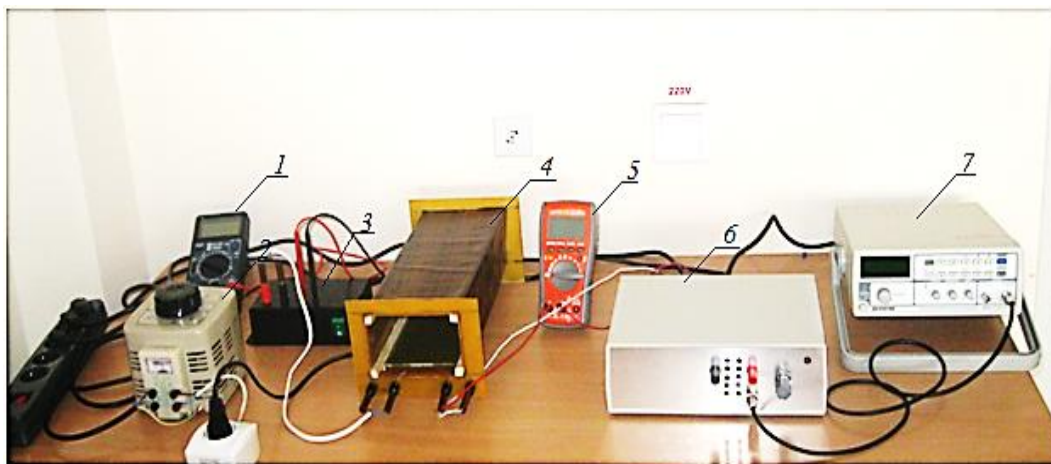
«Рисунок 2.3 – Схема устройства для создания аддитивного переменного магнитного и » [42] электрического полей

«С помощью генератора переменного напряжения 1, подключенного к сети 9 напряжением 220 В, осуществляется получение переменного напряжения заданной формы и частоты. Сигнал с генератора переменного напряжения 1 подается на один из входов усилителя переменного напряжения 2, который вторым входом через выключатель 10 подключен к сети 9 напряжением 220 В. К выходу усилителя переменного напряжения 2 через амперметр переменного тока 3 подключена обмотка соленоида 4. В обмотке соленоида 4 протекает ток заданной величины, который приводит к образованию переменного магнитного поля внутри соленоида 4. Величину тока определяют с помощью амперметра переменного тока 3. Регулирование тока производится с помощью изменения

напряжения на выходе генератора переменного напряжения 1 и реостата, встроенного в усилитель переменного напряжения 2.

Для получения электрического поля служит высоковольтный источник переменного напряжения 6, вход которого подключен через выключатель 11 к выходу лабораторного автотрансформатора 5. Лабораторный автотрансформатор 5 входом подключен к сети 9 напряжением 220 В. С помощью лабораторного автотрансформатора 5 регулируют напряжение на входе источника переменного напряжения 6. Высоковольтный источник переменного напряжения 6 имеет два выхода, один из которых подключен к металлическим пластинам 8, а другой – к вольтметру переменного напряжения 7, с помощью которого измеряют напряжение на выходе высоковольтного источника переменного напряжения 6» [46].

При подаче напряжения на металлические пластины 8 в пространстве между ними образуется электрическое поле [46]. Внешний вид устройства «представлен на рисунке 2.4» [43].



«Рисунок 2.4 – Устройство для создания

аддитивного переменного магнитного и электрического полей:

1 – вольтметр переменного напряжения; 2 – автотрансформатор; 3 – высоковольтный источник переменного напряжения; 4 – соленоид со встроенными металлическими пластинами» [60]; «5 – амперметр переменного тока; 6 – реостат регулировки тока (встроен в усилитель); 7 – генератор низкочастотный» [43].

«Таким образом, разработанное устройство позволяет генерировать переменные электрические и магнитные поля, а также энергетическую нагрузку ЭМП, задавать необходимые параметры этих полей в зависимости от исследуемых биоорганизмов.

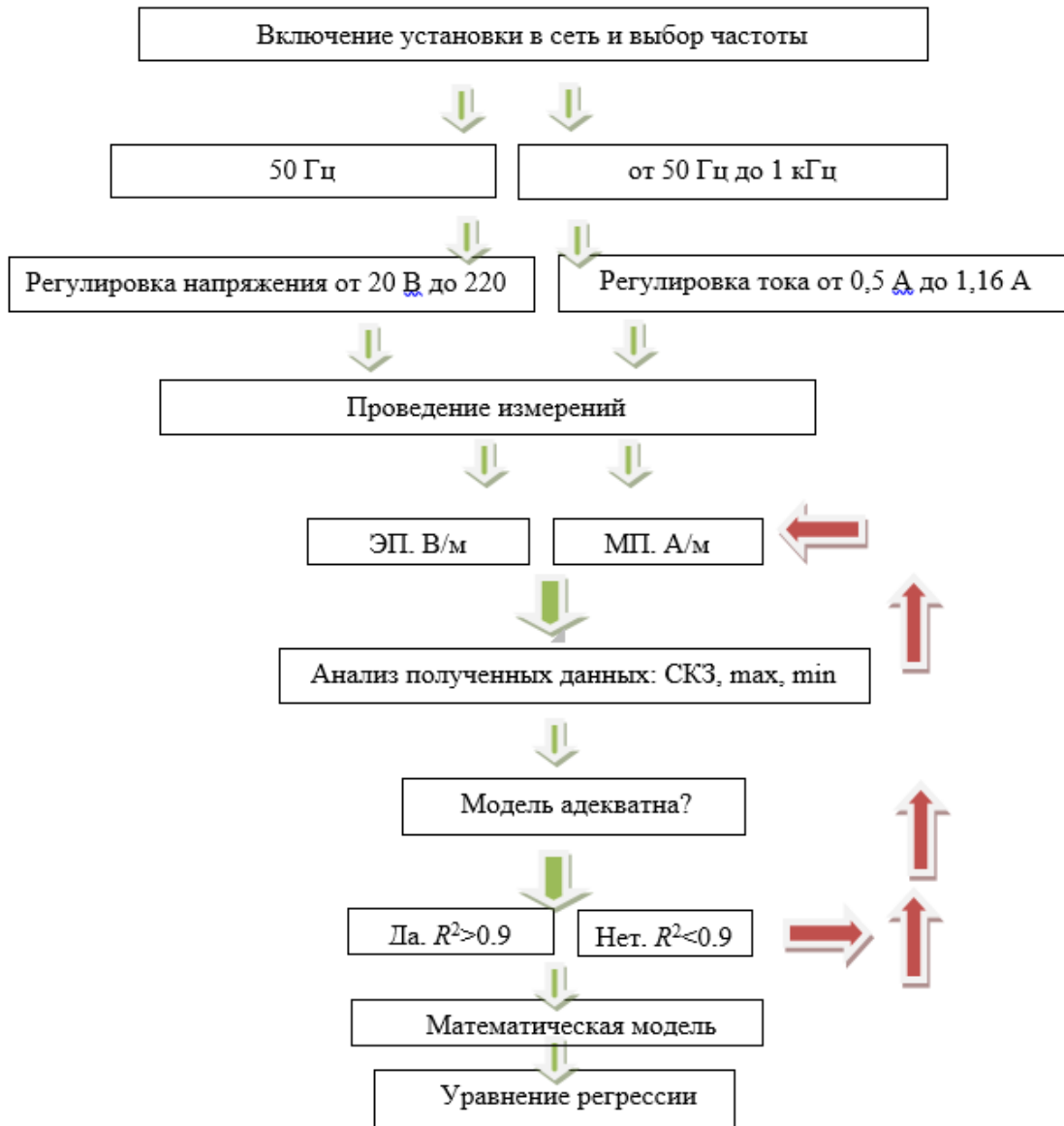
Оно является мобильным и может быть подключено к сети переменного тока с напряжением 220 В» [46].

«Устройство может использоваться для проведения экспериментальных исследований по влиянию ЭМП на биологические объекты. До начала использования устройства были оценены уровни электрических и магнитных полей в диапазоне до 1 кГц (разд. 2.3.2)» [42].

2.3.2. «Оценка напряженности электрического и магнитного полей до 1 кГц в разработанном устройстве» [43]

«Схема проведения экспериментальных исследований по моделированию ЭМП приведена на рисунке 2.5. На созданном нами устройстве уровни напряжённости МП и ЭП внутри соленоида измерялись с помощью прибора «Экофизика». Для каждой величины тока и напряжения были получены среднеквадратичные и максимальные значения напряжённости магнитного и электрического полей.

Далее был проведён анализ полученных данных для ЭП и МП; при их адекватности ($R^2 > 0,9$) строились графики зависимости напряжённости магнитного поля от величины тока и напряжённости электрического поля от напряжения; также определялась математическая модель с уравнением регрессии и коэффициентом детерминации» [43].



«Рисунок 2.5 – Схема проведения экспериментальных исследований по оценке ЭМП» [43]

«Этот коэффициент рассмотрен как мера качества уравнения регрессионной модели: чем ближе R^2 к единице, тем лучше регрессия описывает зависимость между переменными. Он был рассчитан по формуле:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2},$$

где : R^2 – коэффициент детерминации;

y_i – значения наблюдаемой переменной;

$\bar{y}$ – среднее значение по наблюдаемым данным;

$\hat{y}_t$ – модельные значения, построенные по оцененным параметрам [43].

В соответствии со схемой проведения экспериментальных исследований по оценке ЭМП были проведены измерения магнитных полей, результаты которых представлены на рисунке 2.6.

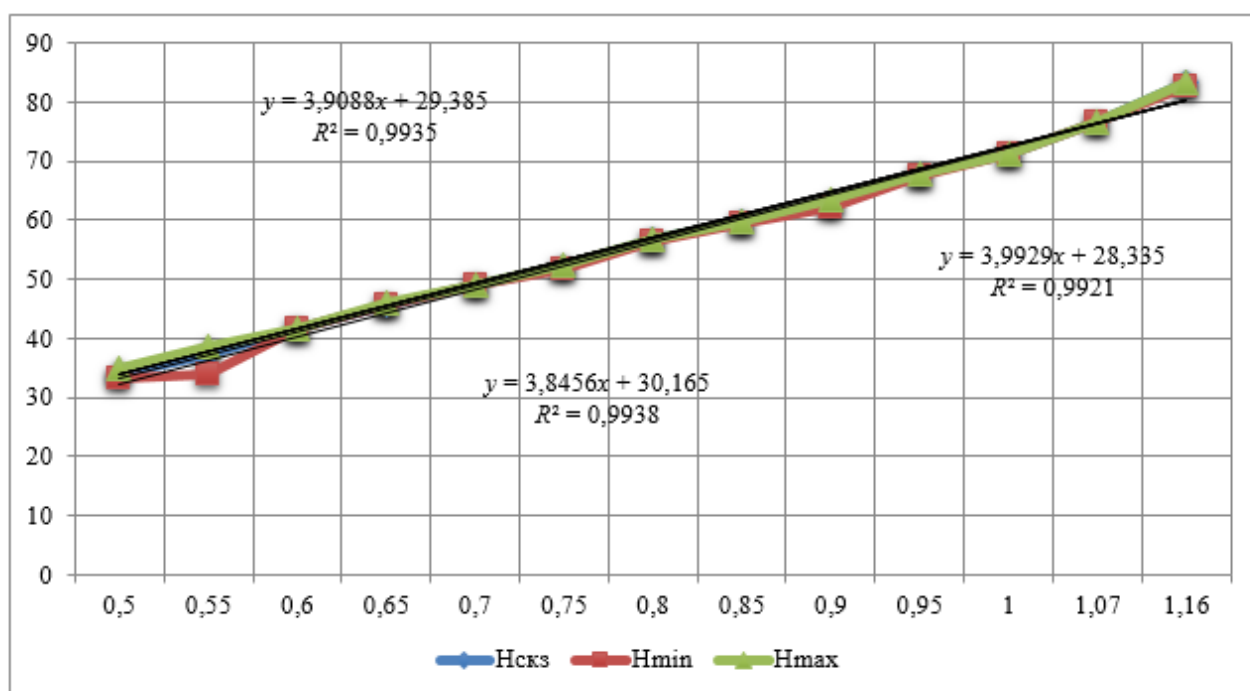


Рисунок 2.6 – Зависимости максимального, среднеквадратичного и минимального значений напряжённости МП 50 Гц от величины тока

На рисунке 2.6 представлены уравнения регрессионных моделей для указанных значений магнитных полей (МП); коэффициенты детерминации ($R^2 > 0,9$) указывают на то, что модель может быть использована» [43] «для проведения экспериментальных исследований влияния магнитных полей 50 Гц на биологические объекты» [46].

«Аналогично проведены экспериментальные исследования МП 100 Гц. На рисунке 2.7 представлен график, иллюстрирующий зависимости

максимального, среднеквадратичного и минимального значений» [43] «напряженности магнитного поля, изменяющихся в диапазоне частоты 100 Гц в зависимости от величины тока. Этот график позволяет проанализировать влияние тока на уровень напряженности магнитного поля, что является важным аспектом в изучении электромагнитных явлений.

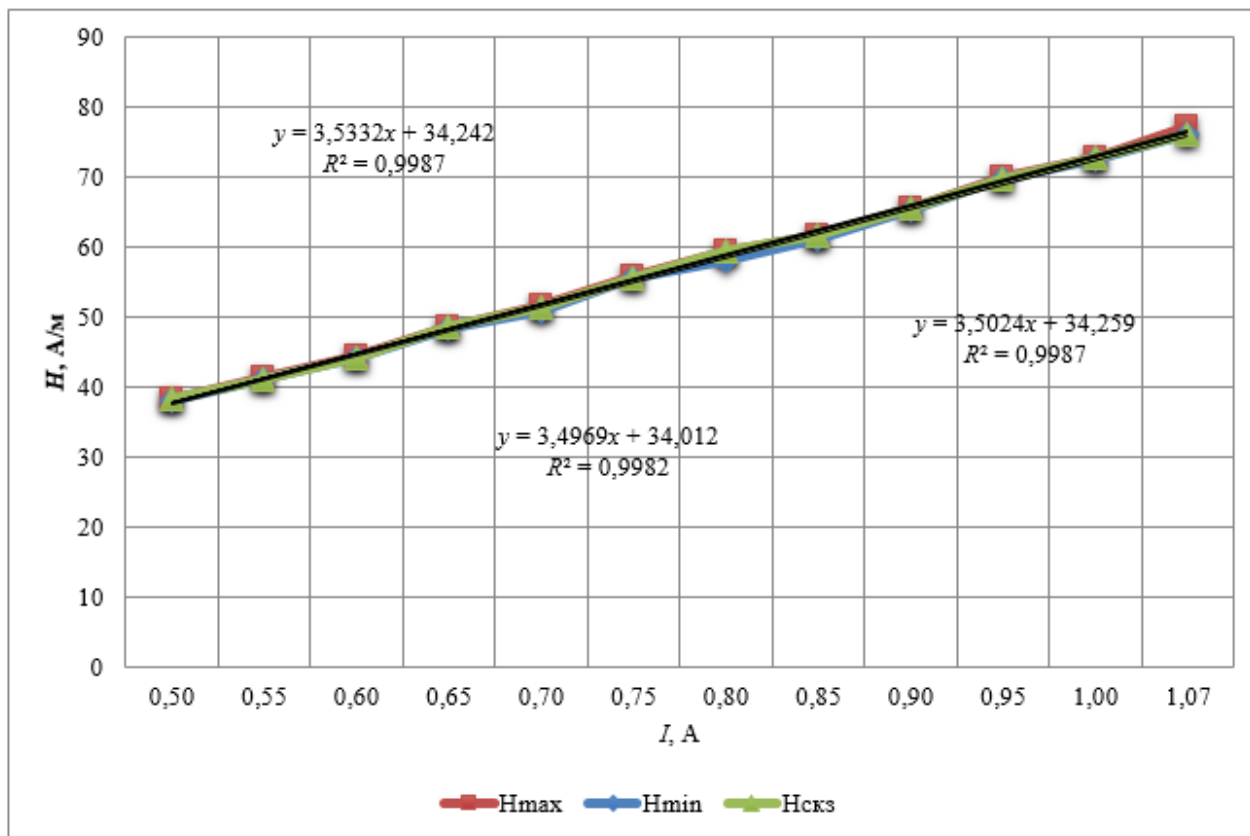


Рисунок 2.7 – График зависимости максимального, среднеквадратичного [43] и минимального значений напряжённости МП 100 Гц от величины тока

Зависимость максимальных, минимальных и среднеквадратичных значений напряженности магнитного поля (МП) [60] при частоте 100 Гц от величины тока имеет прямолинейный характер, как показано на рисунке 2.7. Коэффициенты детерминации ($R^2 > 0,9$) свидетельствуют о том, что эту модель можно использовать для экспериментальных исследований влияния МП 100 Гц на биологические объекты.

Также были проведены экспериментальные исследования магнитного поля» [43] «с частотой от 200 до 1000 Гц. При формировании магнитного поля в

диапазоне от 200 до 1000 Гц наблюдается прямо пропорциональное увеличение напряженности поля в зависимости от частоты. В соответствии со схемой проведения экспериментальных исследований по оценке электромагнитного поля были проведены измерения электрических полей. Во время эксперимента на две металлические пластины, находящиеся» [60] «внутри соленоида, подавалось напряжение в диапазоне от 20 до 220 В.

При построении графиков зависимостей максимального и» [43] «среднеквадратичного значений напряжённости электрического поля на частоте 50 Гц от величины напряжения были получены уравнения регрессионных моделей и коэффициенты детерминации (таблица» [60] «2.1).

Таблица 2.1

Характеристики зависимостей напряжённости ЭП 50 Гц
от величины напряжения

Уравнение регрессионной модели	Коэффициент детерминации	Возможность использования зависимости
Для максимальных значений $y = 19,843x + 668$	$R^2 = 0,9592$	Да
Для среднеквадратичных значений $y = 19,77x + 486$	$R^2 = 0,9769$	Да

Полученные коэффициенты детерминации $R^2 > 0,9$, соответственно, данные модели можно использовать» [43] «для проведения экспериментальных исследований по влиянию ЭП 50 Гц на биологические объекты» [46].

«Обобщив полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

- анализ исследований показал высокую степень точности результатов моделирования ЭМП по магнитным и электрическим полям: погрешность не превышает 5 %.
- данную установку можно использовать для проведения экспериментальных исследований (разд. 2.3.3) по аддитивному действию электрических и магнитных полей на биологические объекты.

2.3.3. Исследование аддитивного воздействия электрических и магнитных полей на биологические объекты

Разработанная нами установка была передана биологам ФГБОУ ВПО ИнГГУ» [43] «для проведения экспериментальных исследований по действию электромагнитного поля в частотном диапазоне до 1 кГц на биологические объекты (животные, растения), в зависимости от частоты и продолжительности воздействия данного фактора» [46].

Чтобы доказать или опровергнуть гипотезу о необходимости оценивать электрические и магнитные поля аддитивно, а не отдельно, было принято решение сначала исследовать отдельно действие магнитных полей на биологические объекты (1 этап), затем электрических (2 этап) и одновременно (аддитивно) электрических и магнитных полей (3 этап).

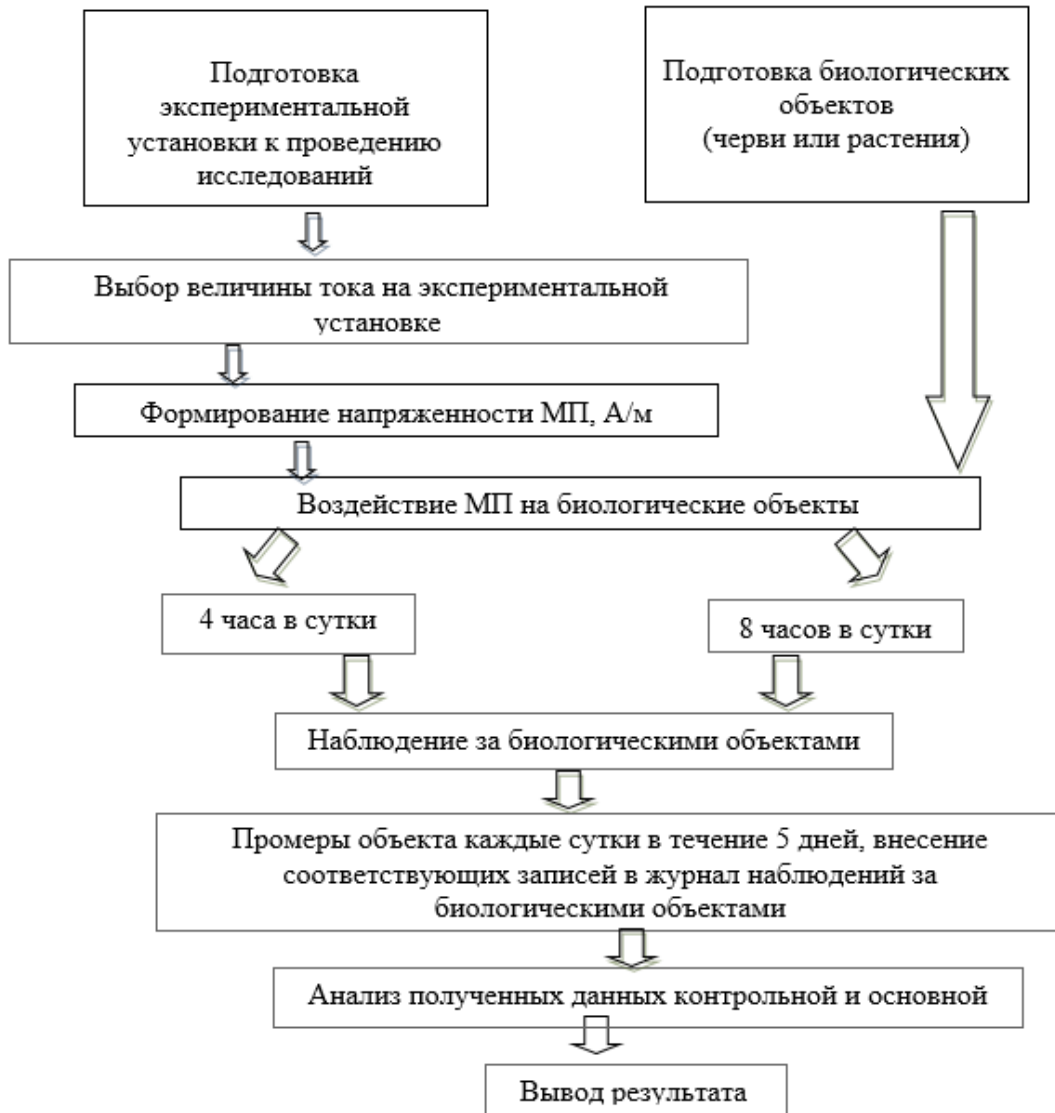
В соответствии с программой совместных экспериментальных исследований (приложение Д) принимали участие две группы: опытная и контрольная. Тщательно подбирался объект исследования.

Сначала «опытная группа растений и планарий ежедневно в одно и то же время помещалась на 4 и 8 часов в магнитное поле определенной частоты и напряженности (1 этап) согласно следующей схеме эксперимента:

$$H_{AC}(0,8) f(50) n(5) T(4). \quad (2.11)$$

Единицы измерения, указанные в формулах экспериментов, соответствуют для напряженности МП переменного H_{AC} – А/см или A/cm , частоты f – Гц, времени T , τ – ч, и количество повторов – n .

Структурная схема проведения экспериментов по исследованию влияния магнитных полей на биологические объекты приведена на рисунке 2.8» [46].



«Рисунок 2.8 – Структурная схема проведения эксперимента по исследованию воздействия МП на биологические объекты» [46]

Затем другая опытная группа растений и планарий ежедневно в одно и то же время помещалась на 4 и 8 часов в электрическое поле (2 этап) определенной частоты и напряженности по следующей формуле:

$$E(50) f(50) n(5) T(4). \quad (2.12)$$

Единицы измерения, указанные в формулах экспериментов, соответствуют для напряженности электрического поля E – В/см или V/cm, частоты f – Гц, времени T , τ – ч, и количество повторов – n [46].

«Структурная схема проведения экспериментов по действию электрических полей на биологические объекты приведена на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 – Структурная схема проведения эксперимента по исследованию воздействия ЭП на биологические объекты» [46]

«В ходе исследования» [43] проводились ежедневные измерения биологических объектов в течение 5 дней для контрольной и основной групп. Полученные данные регистрировались в журнале и анализировались для определения результатов эксперимента.

Следующая «опытная группа растений и планарий ежедневно в одно и то же время помещалась на 4 и 8 часов в совместное (аддитивное) электрическое и магнитное поля определенной частоты и напряженности (3 этап), по следующей схеме эксперимента:

$$E(50)H_{AC}(0,8)f(50)n(5)T(4). \quad (2.13)$$

Единицы измерения, указанные в формулах экспериментов, соответствуют для напряженности МП переменного H_{AC} [46]» «– А/см или А/см, напряженности электрического поля E – В/см или V/см, для частоты f – Гц, времени T , τ – ч, и количество повторов – n .

Структурная схема проведения эксперимента по исследованию аддитивного воздействия ЭП и МП 50 Гц на биологические объекты показана на рисунке 2.10.

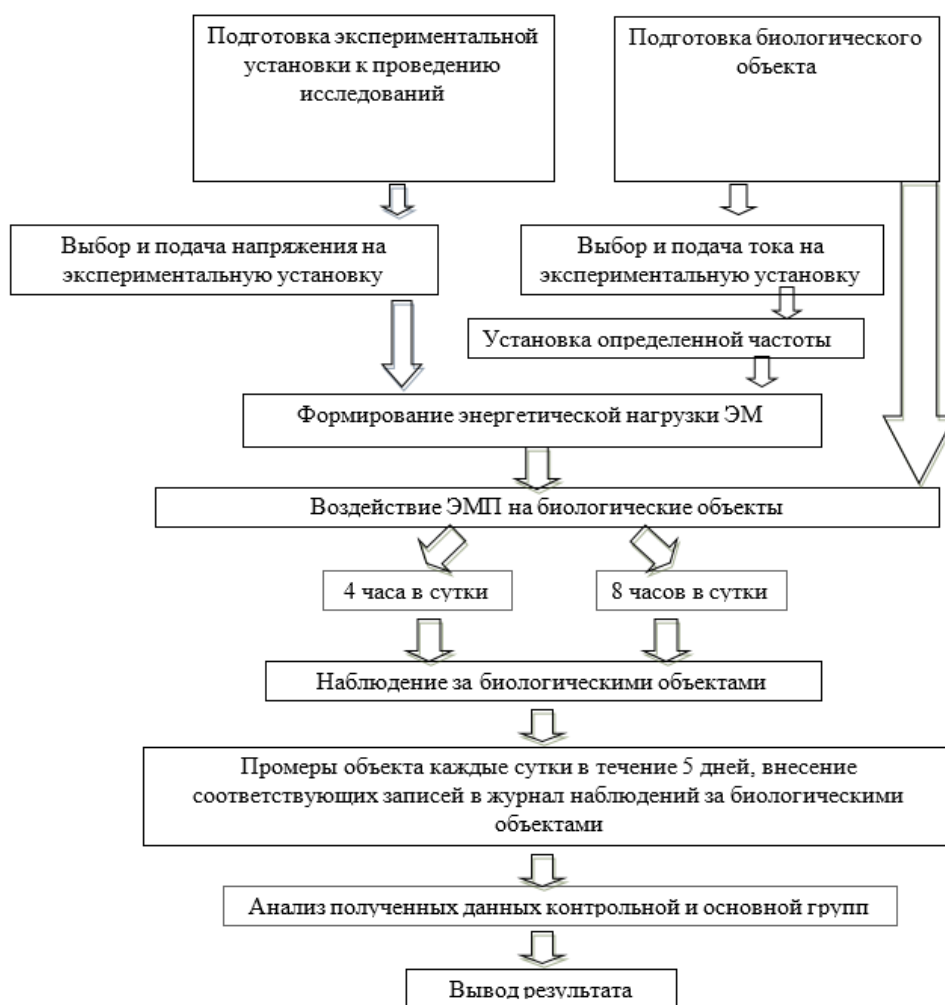


Рисунок 2.10 – Структурная схема проведения эксперимента по исследованию аддитивного воздействия ЭП и МП 50 Гц на биологические объекты» [43]

«На экспериментальной установке» [46] (устройстве) создавались переменные магнитные и электрические поля. Эксперимент проводился в три этапа: на первом и втором этапах анализировалось влияние электрического поля и магнитного поля по отдельности, в то время как на третьем этапе изучалось аддитивное воздействие обоих полей. После проведения трех этапов эксперимента биологи установили, что при аддитивном воздействии электрического поля (ЭП) и магнитного поля (МП) на биологические объекты наблюдается стимулирующее действие на образование и рост корней у растений, а также усиление регенерации планарий.

У последних это приводит к росту стволовых клеток, которые также имеются у человека. В частности, наблюдается активизация роста стволовых клеток, что имеет параллели с процессами, происходящими у человека. Эти данные подчеркивают потенциальную значимость изучения влияния магнитных и электрических полей на биологические объекты [43].

«Это, в определенной степени, подтверждает необходимость оценивать на рабочих местах электротехнического персонала электрические и магнитные составляющие ЭМП» [47] «не отдельно, а совместно, учитывая их аддитивное воздействие» [43]. Данный вывод подтверждает выдвинутую нами ранее гипотезу о необходимости совместной оценки переменных электрических и магнитных полей. На основе полученных данных мы проведем теоретические исследования низкочастотных ЭМП, проникающих внутрь биологических тел (разд. 2.3.4).

2.4. «Определение низкочастотных ЭМП, проникающих внутрь биологических тел» [42]

«Простыми моделями тел являются модели однородных эллипсоидов [42] различной симметрии. Можно использовать модель двухосного или трехосного эллипсоида [93]. При аппроксимации тела двухосным эллипсоидом

(эллипсоидом вращения), у которого оси b и c предполагаются равными, среднее сечение эллипсоида, перпендикулярное длинной оси, является кругом, радиус которого равен [93]:

$$b = c = \left[\frac{3m}{4\pi \cdot a \cdot \rho} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (2.14)$$

При аппроксимации тела трехосным эллипсоидом предполагается, что отношение b/c равно отношению максимальных и минимальных толщин тела человека, измеренных в среднем сечении тела перпендикулярно его длинной оси, а абсолютные значения b и c определяются из условия равенства объема эллипсоида [93]:

$$V = \frac{4\pi \cdot a \cdot b \cdot c}{3}. \quad (2.15)$$

Объем моделируемого тела, (пересчитанного из его массы m через плотность тканей ρ , которая в расчетах принимается равной $10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$) определяется по формуле [93]:

$$V = \frac{m}{\rho}. \quad (2.16)$$

В случае аппроксимации тела шаром ($a = b = c$), его радиус R определяется массой тела [93]:

$$R = \left[\frac{3m}{4\pi \cdot \rho} \right]^{\frac{1}{3}}. \quad (2.17)$$

В соответствии с приведенными соотношениями для стандартного человека в таблице 2.2 даны параметры сферических и эллипсоидальных моделей стандартного человека» [42].

Таблица 2.2

«Параметры сферических и эллипсоидальных моделей
стандартного человека» [42]

Организм	m , кг	L , м	R , м	Трехосный эллипсоид			Двухосный эллипсоид		
Человек (мужчина)				a , м	b , м	c , м	a , м	$b = c$, м	a/b , м
	70	1,75	0,256	0,875	0,195	0,098	0,875	0,138	6,34

«Но этот подход искажает реальные параметры человека, поэтому в дальнейшем предлагается проводить расчет напряженностей полей внутри организмов с помощью использования средней площади тела человека.

Внутреннее электрическое поле E_i прямо пропорционально внешнему полю E_0 , эти поля связаны между собой через сложную функцию разных параметров системы:

$$E_i = \int (\varepsilon, \sigma, \omega, a, b, \delta) E_0. \quad (2.18)$$

в которой параметры, характеризующие материал и форму тела, не разделяются на отдельные сомножители. При эффективной же экранировке внешнего поля у поверхности тела в области низких частот будет выполняться условие:

$$E_{i,n} \ll E_{e,n}.$$

Связь между теми же величинами представляется в виде двух независимых сомножителей:

$$E_i = \frac{K_\Phi \cdot E_0}{K_\varepsilon}, \quad (2.19)$$

где : E_0 – напряженность электрического поля, В/м;

K_Φ – фактор формы тела человека;

K_ε – коэффициент экранирования, определенный соотношением» [42]:

$$K_{\omega} = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_B}, \quad (2.20)$$

«где ω – круговая частота ($2\pi \cdot f$), задающая число полных колебаний в единицу времени, равная обратной величине периода колебаний T , который зависит в низкочастотном диапазоне только от частоты f и проводимости ткани, так как биологические жидкости в области низких частот и ткани в области крайне низких частот отвечают случаю относительно высоких потерь: $\operatorname{tg} \delta \geq 1$ (рисунок 2.11).

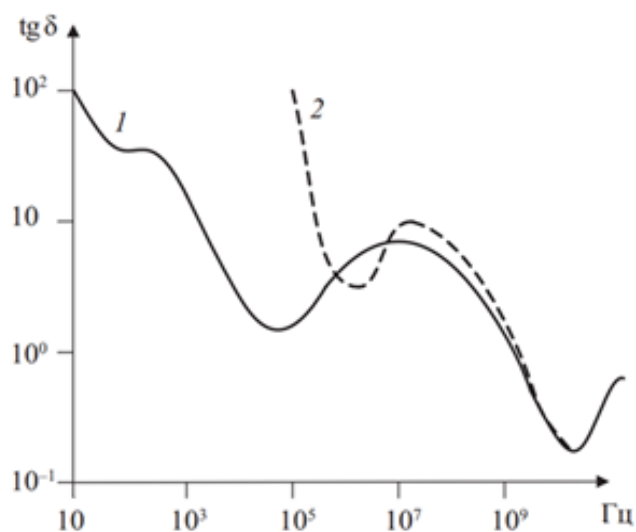


Рисунок. 2.11. «Частотная зависимость тангенса угла потерь для мышечной ткани (1) и крови (2) при 25 °С» [4]

Это происходит из-за перераспределения свободных зарядов в исходно незаряженном теле, определяемых токами, текущими внутри тела под действием поля E_i .

На рисунке. 2.12 приведена зависимость K_{ω} низкочастотных электрических полей от частоты» [42].

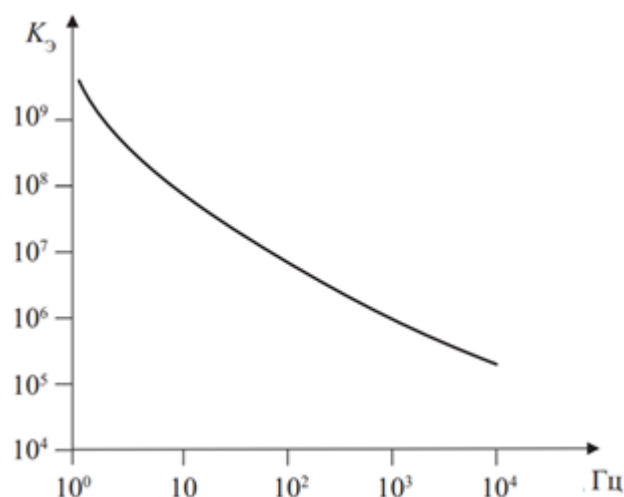


Рисунок. 2.12. Зависимость коэффициента экранирования низкочастотных электрических полей от частоты для тел, состоящих из изотропной мышечной ткани [42]

«В области низких частот наблюдается эффективное экранирование внешнего поля, так как коэффициент экранирования максимален. Чем выше частота, тем ниже коэффициент экранирования (обратно пропорциональная зависимость), и, соответственно, выше напряженность поля внутри тел. На сегодняшний день доказано, что при высоких частотах поле глубже проникает в ткани человека и может разрушать жизненно важные органы (рисунок 2.12) [42]. Данные о проводимостях мышечной и нервной тканей [42] представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Значения проводимостей анизотропных тканей в области низких частот [42]

Организм	Объект	Ткань	Частота, Гц	$\sigma_{\parallel} / \sigma_{\perp}$	$\sigma_{\parallel} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$	$\sigma_{\perp} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$
Человек	Скелетная мышца	Мышечная	0,1–1000	$2,8 \pm 0,25$	$0,42 \pm 0,02$	$0,15 \pm 0,01$

Данные таблицы 2.3 подтверждают, что проводимость нервной и мышечной тканей разная; человек при выполнении необходимой работы не стоит на месте и по необходимости поворачивается и наклоняется, то есть поле

может воздействовать как параллельно, так и перпендикулярно, поэтому в дальнейшем при расчетах низкочастотного ЭМП, проникающего внутрь биологических тел, предлагается использовать усредненный показатель проводимости» [42].

«Проводимость мышечной и нервной тканей зависит от ориентации электрического поля относительно вида ткани, соответствуя меньшим проводимостям ткани $\sigma_{\perp}$ для ориентации поля поперек волокон, и большим значениям проводимости $\sigma_{\parallel}$ для ориентации поля вдоль волокон; отношения $\sigma_{\parallel} / \sigma_{\perp}$ рассчитаны с помощью экспериментальных величин и приведены с учетом среднеквадратических погрешностей.

Следующий показатель, необходимый для определения, $-E_i$ – фактор формы (K_{ϕ}), определяющий степень ослабления поля, индуцированного на поверхности неплоских тел. Такие поля зависят лишь от отношений длин полуосей эллипсоидов и ориентации поля E_0 .

В случае вытянутого двухосного эллипсоида ($a > b = c$), для которого величины факторов формы при ориентации поля E_0 вдоль длинной оси эллипсоида и для любого из перпендикулярных ей направлений задаются с помощью следующих соотношений [93]:

$$K_{\phi\parallel} = (u^2 - 1)^{-1} \cdot \left[\frac{u}{2} \ln \frac{u+1}{u-1} - 1 \right]^{-1}, \quad (2.21)$$

$$K_{\phi\perp} = 2(u^2 - 1)^{-1} \cdot \left[\frac{u^2}{u^2 - 1} - \frac{u}{2} \ln \frac{u+1}{u-1} \right]^{-1}, \quad (2.22)$$

$$u = \frac{\left(\frac{a}{b}\right)}{\left[\left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1\right]^{\frac{1}{2}}}. \quad (2.23)$$

С помощью показанных зависимостей и соотношений в рамках двухосных эллипсоидных моделей можно рассчитать различные параметры электрических полей. Расчетные значения K_{ϕ} , отвечающие разным эллипсоидальным моделям, аппроксимирующим тело среднего человека, приведены в таблице 2.4» [42].

Таблица 2.4

«Факторы формы эллипсоидальных моделей человека,
находящегося в электрическом поле 50 Гц» [42]

	Свободное пространство		Проводящая плоскость	
	$K_{\phi\parallel}^*$	$K_{\phi\perp}^{**}$	K_{ϕ}^{***}	K_{ϕ}^{****}
Человек	25,1	2,08	72,3	79,0

* — «для вытянутого двухосного эллипсоида при ориентации поля E_0 вдоль длинной оси эллипсоида;

** — для вытянутого двухосного эллипсоида при ориентации поля E_0 , перпендикулярного длинной оси эллипсоида;

*** — для двухосного эллипсоида в том случае, когда поле E_0 направлено под углом к его длинной оси;

**** — для трехосного эллипсоида» [42].

«Из таблицы 2.4 видно, что значения факторов формы и напряженности полей в зависимости от ориентации внешнего поля относительно тел, находящихся в свободном пространстве, могут изменяться до десяти раз; следовательно, необходимы более точные расчеты. Результаты модельных расчетов напряженности электрических полей внутри тел в зависимости от различных моделей при $\sigma_{\perp}$ приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5

Напряженности электрических полей внутри тел в зависимости
от факторов формы и частоты при σ^* [42]

Частота, Гц	Организм	Свободное пространство		Проводящая плоскость	
		$K_{\text{фл}}^*$	$K_{\text{фл}}^{**}$	$K_{\text{ф}}^{***}$	$K_{\text{ф}}^{****}$
	$K_3 \cdot 10^4$	25,1	2,08	72,3	79
		$E_i, \text{В/м}$			
50	5,4	2,3	0,2	6,7	7,3
100	2,70	4,7	0,4	13,4	14,6
200	1,35	9,3	0,8	26,8	29,3
300	0,9	14,0	1,2	40,2	43,9
400	0,68	18,6	1,5	53,6	58,5
500	0,54	23,3	1,9	67,0	73,2
600	0,45	27,9	2,3	80,4	87,8
700	0,39	32,6	2,7	93,8	102,4
800	0,33	37,2	3,1	107,2	117,1
900	0,30	41,9	3,5	120,5	131,7
1000	0,27	46,5	3,9	133,9	146,4
10000	0,02	581,3	48,2	1674,3	1829,4

* Обозначения – такие же, как в таблице 2.4.

Как показывает результат расчета напряженности электрических полей внутри тел, поле меняется в зависимости от коэффициента экранирования и факторов формы: минимальные значения получены при выборе в качестве модели расчета – вытянутый двухосный эллипсоид при ориентации поля E_0 , перпендикулярного длинной оси эллипсоида, и частоте 50 Гц, а максимальные поля зафиксированы при выборе трехосного эллипсоида и частоты 10 кГц [42].

С увеличением частоты напряженность электрического поля индуцируется в тканях человека все больше и больше [42].

Результаты модельных расчетов напряженности электрических полей внутри тел в зависимости от разных моделей при $\sigma^{\perp}$ приведены в таблице 2.6.» [42].

Таблица 2.6

«Напряженности электрических полей внутри биологических тел в зависимости от факторов формы и частоты при $\sigma^{\perp}$ » [42]

Частота, Гц	Организм	Свободное пространство		Проводящая плоскость	
	человек	K_{ϕ}^*	$K_{\phi\perp}^{**}$	K_{ϕ}^{***}	K_{ϕ}^{****}
	$K \cdot 10^4$	25,1	2,08	72,3	79
		$E_i, \text{В/м}$			
50	15,1	0,8	0,1	2,4	2,6
100	7,56	1,7	0,1	4,8	5,2
200	3,78	3,3	0,3	9,6	10,5
300	2,52	5,0	0,4	14,4	15,7
400	1,89	6,6	0,6	19,1	20,9
500	1,51	8,3	0,7	23,9	26,1
600	1,26	10,0	0,8	28,7	31,4
700	1,08	11,6	1,0	33,5	36,6
800	0,95	13,3	1,1	38,3	41,8
900	0,84	14,9	1,2	43,1	47,0
1000	0,76	16,6	1,4	47,8	52,3
10000	0,2	63,4	5,3	182,6	199,6

* «Обозначения – такие же, как в таблице 2.4.» [42].

«При проводимости ткани $\sigma^{\perp}$ для ориентации поля вдоль волокон значения напряженности электрических полей ниже по сравнению с полем, где проводимость ткани $\sigma^{\perp}$ для ориентации поля поперек волокон, различие составляет до девяти раз; чем выше частота, тем больше разница между индуцированными электрическими полями в теле человека.

Подобная картина наблюдается и при проводимости ткани $\sigma^{\perp}$ для ориентации поля поперек волокон, а также при выборе формы эллипсоидальных

моделей человека: минимальные значения напряженности электрических полей получены при выборе в качестве модели расчета вытянутого двухосного эллипсоида при ориентации поля E_0 , перпендикулярного длинной оси эллипсоида и частоте 50 Гц, а максимальные – при выборе трехосного эллипсоида и частоты 10 кГц. При использовании в расчетах полей средней площади человека и среднего показателя проводимости можно отказаться от полученных разных значений напряженности электрических полей внутри биологических тел. Магнитное поле в тканях организма человека наводит по всей глубине тела циркулярное электрическое поле и, соответственно, циркулярный электрический ток» [43].

«В соответствии с принципом Ле Шателье², эти поля приведут к ослаблению в теле исходного магнитного поля и обусловленных ими токов, уменьшая их в центральной части тела. При этом эффективная глубина проникновения внешнего магнитного поля в тело, соответствующая его ослаблению в e раз, составляет» [93]:

$$\sigma_i = \frac{1}{(\mu_B \cdot \sigma \cdot \varpi / 2)^{0,5}}, \quad (2.24)$$

где σ_i – истинная проводимость ткани.

«Например, для поля промышленной частоты 50 Гц при $\sigma = 0,2$ (Ом·м)⁻¹ истинная проводимость ткани составляет 0,18 (Ом·м)⁻¹. Внутренние магнитные поля приводят не только к ослаблению магнитного поля в теле, но и к созданию вихревого электрического поля E_i . Максимальное значение E_i , отвечающее ориентации B_0 вдоль или поперек оси вытянутого эллипсоида вращения,

² «Принцип Ле Шателье гласит, что в находящейся в состоянии равновесия термодинамической системе при попытке вывести ее из этого состояния происходят такие изменения, которые уменьшают результат внешних воздействий» [93].

составляет» [93]:

$$E_{\max i, \parallel} = \frac{\omega \cdot b \cdot B_0}{2}; \quad E_{\max i, \perp} = \frac{\omega \cdot b \cdot B_0}{\left[1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2\right]}. \quad (2.25)$$

«Средние квадратичные значения амплитуд, усредненные по всему объему эллипсоида, для тех же ориентаций определяются по следующему выражению:

$$E_{\max i, \text{ш}} = \frac{\omega \cdot R \cdot B_0}{2}; \quad E_{i, \text{ш}} = \frac{\omega \cdot R \cdot B_0}{\sqrt{10}}. \quad (2.26)$$

Согласно приведенным соотношениям и расчетным данным, различия в значениях $E_{i, \parallel}$ и $E_{i, \perp}$, характеризующие часть общей формы тела, в определении зависимости характеристик внутреннего электрического поля от направления поля B_0 не превышают двукратного значения» [93].

«В случае воздействия на тело переменного магнитного поля расчет средних и максимальных значений напряженности внутренних полей можно проводить в рамках сферических моделей.

Схема распределения электрических полей и токов, индуцированных в однородном теле человека переменным магнитным полем B [93], приведена на рисунке 2.13.

При ориентации B_0 вдоль тела, когда отдельные части тела, перпендикулярные его длинной оси, располагаются на не контактирующих между собой сечениях его отдельных частей, и когда поле B_0 направлено перпендикулярно длинной оси тела, подобное описание усложняется, так как при этом необходимо учитывать возможность затекания токов из одной части тела в другую.

При расчетах напряженности электрического поля, индуцированного в теле человека под воздействием сферического магнитного поля, не учитываются

некоторые аспекты. Отмечается, что традиционные подходы не содержат ряд параметров, влияющих на результаты расчетов. Нами предлагается усовершенствовать рассмотренную методику, дополнив ее вопросами оценки дозы низкочастотного электромагнитного поля» [43].

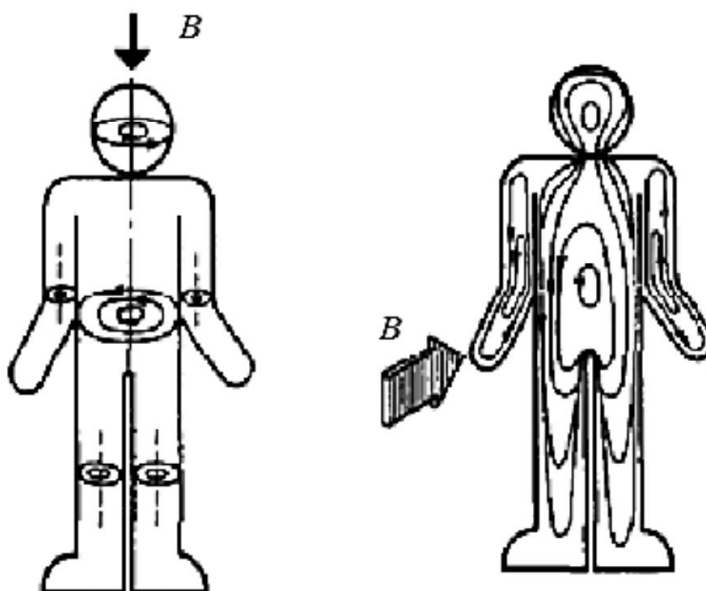


Рисунок 2.13 – «Схема распределения электрических полей и токов, индуцированных в однородном теле человека переменным магнитным полем» [43]

«Вышеприведенную методику можно изменить с помощью некоторых уточнений, а по обновленной методике можно не только рассчитать магнитное и электрическое поля внутри биологических объектов, но и оценить дозу низкочастотного электромагнитного поля.

Уточненная методика расчета уровня дозы электромагнитного поля в однородном теле человека [43]

Расчет поглощенной телом человека дозы низкочастотного электромагнитного поля проводится с учетом следующих показателей: частоты

поля, средней проводимости (электропроводности) и диэлектрической проницаемости тканей, а также энергии излучения ЭМП. Степень проникновения электрической составляющей ЭМП в воздушном пространстве через тело человека зависит не только от величины напряженности электрического поля, но и от соотношения электрической проводимости воздуха, в котором распространяется электрическое поле, и тканей человеческого организма. Это соотношение определяет искажение электрического поля телом человека [93]. Примем допущение, что всё низкочастотное электромагнитное поле поглощается телом человека» [43].

«Найдем внутреннее электрическое поле E_i в области низких частот через функцию от параметров тела человека:

$$E_i = \int (\varepsilon, \sigma, \omega, \delta, S_1, S_2) E_0. \quad (2.27)$$

После подстановки параметров, характеризующих материал и форму тела, выражение 2.27 примет вид:

$$E_i = \frac{\omega \cdot \varepsilon_{\text{в}} \cdot \varepsilon \cdot S_1 \cdot E_0}{\sigma \cdot S_2}, \quad (2.28)$$

где : $\varepsilon_{\text{в}}$ – диэлектрическая проницаемость воздуха, равная $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

ε – диэлектрическая проницаемость ткани, изменяется в зависимости от частоты поля, 100000 отн. единиц для частоты 50 Гц, 40000–1000 Гц;

ω – частота, задающая число полных колебаний в единицу времени, 1/с;

S_1 – площадь поглощения излучения электрического поля, соответственно 0,87 м²;

S_2 – площадь поверхности тела человека при излучении электрического поля, равная 1,73 м²;

E_0 – напряженность внешнего электрического поля, В/м;

s – усредненная проводимость ткани, См/м.

Проводимость мышечной и нервной тканей для различных биологических объектов разная: в низкочастотном диапазоне до 10 кГц с низким содержанием воды изменяется до 0,03 См/м, а с высоким содержанием – до 1,5 См/м» [43].

«Для расчета низкочастотного ЭМП, проникающего внутрь биологического тела, предлагается использовать усредненный показатель проводимости, равный 0,1 См/м.

Результаты модельных расчетов напряженности электрических полей внутри тел в зависимости от частоты приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7

Напряженности электрических полей внутри тел
в зависимости от частоты при внешнем поле $E_0 = 5000$ В/м

f , Гц	50	100	200	300	400	500
$E_i(f)$, В/м	6,99	11,18	20,96	29,35	36,33	41,92
f , Гц	600	700	800	900	1000	
$E_i(f)$, В/м	46,12	48,91	50,31	54,08	55,90	

Результат расчета напряженности электрических полей внутри тел показывает, чем выше частота, тем глубже поле проникает в ткани человека [43].

При воздействии на человека внешнего электрического поля (ЭП) в 5000 В/м значение напряженности ЭП на частоте 50 Гц внутри тела составило 6,99 В/м, а максимальное значение, зафиксированное нами при 1 кГц, – 55,90 В/м. Магнитное поле в тканях организма наводит на всей глубине тела циркулярное магнитное поле и, соответственно, вызывает циркулярный электрический ток» [43].

«Максимальное значение H_i :

$$H_i = \omega \cdot \mu \cdot S \cdot \sigma \cdot H_0, \quad (2.29)$$

где: μ – магнитная проницаемость в вакууме $1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м;

S – площадь поверхности тела после поглощения излучения магнитного поля, равная 0,87 м²;

H_0 – напряженность внешнего магнитного поля, А/м;

s – проводимость ткани, при расчетах принята 0,7 См/м» [43].

«Результаты модельных расчетов напряженности магнитных полей внутри тел в зависимости от частоты приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8

Напряженности магнитных полей внутри тел
в зависимости от частоты при внешнем поле $H_0 = 80$ А/м [43]

f , Гц	50	100	200	300	400	500
$H_i(f)$, А/м	0,02	0,04	0,08	0,12	0,15	0,19
f , Гц	600	700	800	900	1000	
$H_i(f)$, А/м	0,23	0,27	0,31	0,35	0,39	

Из таблицы 2.8 видно, что при воздействии внешнего магнитного поля напряжённостью 80 А/м в теле человека в зависимости от частоты индуцируется только часть этого поля. При частоте 50 Гц магнитное поле минимально (0,02 А/м) по сравнению с внешним (80 А/м), а максимально оно при частоте 1000 Гц (0,39 А/м). При сравнении электрического и магнитного полей, индуцированных в теле человека, становится очевидным, что магнитное поле проникает в тело глубже, оказывая большее действие, нежели электрическое.

Энергия низкочастотного электромагнитного поля в теле человека, при аддитивном воздействии ЭП $E_i(f)$ и МП $H_i(f)$ будет равна:

$$\mathcal{E}_i(f) = P_i(f) = \frac{E_i(f) \cdot H_i(f)}{2}. \quad (2.30)$$

где: $E_i(f)$ – напряженность электрического поля для частоты f ;

$H_i(f)$ – напряженность магнитного поля для частоты f .

При известных показателях $E_i(f)$, $H_i(f)$ результаты расчета энергии низкочастотного электромагнитного поля в теле человека сведём в таблицу 2.9» [43].

Таблица 2.9

«Энергия излучения низкочастотного ЭМП в теле человека» [43]

$f, \text{Гц}$	$E_i(f), \text{В/м}$	$H_i(f), \text{А/м}$	$\mathcal{E}_i(f), \text{Вт/м}^2$
50	6,99	0,02	0,07
100	11,18	0,04	0,22
200	20,96	0,08	0,84
300	29,35	0,12	1,76
400	36,33	0,15	2,72
500	41,92	0,19	3,98
600	46,12	0,23	5,30
700	48,91	0,27	6,60
800	50,31	0,31	7,80
900	54,08	0,35	9,46
1000	55,9	0,39	10,90

«Энергия низкочастотного ЭМП в теле человека увеличивается от $0,07 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/см}^2$ (50 Гц) до $10,90 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/см}^2$ (1000 Гц), которая в настоящее время не нормируется.

Необходимо совершенствовать систему нормирования ЭМП в низкочастотном диапазоне и принять ПДУ ЭП и МП для всего спектра частот (до 1 кГц). Для перехода к оценке дозы ЭМП низкочастотного диапазона, поглощенной телом человека, необходимо учесть удельную энергию низкочастотного ЭМП и массу тела человека.

Доза низкочастотного электромагнитного поля, поглощённая телом человека, выражается через индекс массы тела и измеряется в Вт·ч/кг. Она определяется по формуле:

$$D_i(f) = \frac{\mathcal{E}_i(f) \cdot t \cdot p_i}{I}. \quad (2.31)$$

где : $\mathcal{E}_i(f)$ – удельная энергия излучения электромагнитного поля, поглощенная в теле человека для частоты f , Вт/м²;

I – индекс массы тела человека, кг/м²;

p_i – статистическая вероятность воздействия,

t – время воздействия, ч» [43].

«Полученные расчетные значения дозы низкочастотного ЭМП, поглощенной телом человека, приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10

Доза низкочастотного ЭМП, поглощенная телом человека,
при 8-часовой экспозиции, Вт ч/кг [43]

Частота, Гц	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$D_i(f)$	0,01	0,02	0,07	0,15	0,22	0,33	0,44	0,54	0,64	0,78	0,9

Доза низкочастотного ЭМП, поглощенная телом человека, при 8-часовом воздействии (индекс массы тела 32 кг/м²), может достигать для 50 Гц – 0,01 Вт ч/кг, а для 1000 Гц – 0,9 Вт ч/кг. В настоящее время ПДУ дозы низкочастотного ЭМП, поглощенной телом человека, отсутствуют.

Нами доказана необходимость усовершенствования системы нормирования электромагнитного поля (ЭМП). Основное внимание уделяется разработке предельно допустимых уровней (ПДУ) не только для электрической и магнитной составляющих ЭМП, но и для энергии излучения ЭМП и действующей дозы рассматриваемого поля» [43].

В разд. 2.3.5. приведена методика, позволяющая исключить пробел в области нормирования ЭМП до 1кГц.

2.5. Аддитивная дозовая оценка параметров ЭМП на рабочих местах в производственных условиях

«Электротехнический персонал при эксплуатации электрооборудования ряда систем электроснабжения и электрических сетей находится под одновременным совместным (аддитивным) воздействием электрических и магнитных полей постоянного тока и переменного» [49] «(промышленной частоты и гармоник переменных составляющих переменного тока) с

отличающимися параметрами электрической и магнитной составляющих ЭМП и длительностью экспозиции.

Особенностью электроустановок (ЭУ) двухполюсного и однофазного тягового электроснабжения, например, в сравнении с ЭУ трехфазных систем электроснабжения, является наличие мощного, ничем некомпенсированного магнитного поля. При этом осуществляется одновременное влияние электрического и магнитного полей на электротехнический персонал. На тяговых подстанциях постоянного тока применяются 6- и 12-пульсовые выпрямители, а на электровозах 2-пульсовые. Следовательно, в кривых выпрямленного тока и напряжения содержатся гармоники канонических частот» [50].

Существенный вклад в состав гармонических переменных составляющих электроустановок вносит несимметрия переменных токов и напряжений. В результате разложения их в ряд гармоник по методу Фурье возникают четные гармоники. «Электротехнический персонал, обслуживающий электроустановки, подвергается воздействию электромагнитного поля (ЭМП) основной гармоники и спектра гармоник, возникающих из-за несимметрии электрического тока основной гармоники и канонических частот, образующихся при выпрямлении переменного тока в постоянный» [49].

Нами разработана методика для обеспечения безопасных условий труда «на рабочих местах электротехнического персонала, и её применяют с целью:

- контроля на рабочих местах электротехнического персонала электрических и магнитных полей постоянного тока и переменного (промышленной частоты и гармоник переменных составляющих переменного тока), при аддитивном (одновременном) воздействии на персонал дозовой энергии параметров ЭМП от источников разного рода тока (напряжения) с учетом суммарной величины, частотных характеристик составляющих переменного тока и длительности экспозиции» [49];

- установления приоритетности проведения профилактических и технических мероприятий и оценки их эффективности при разработке системы защиты персонала;
- создания базы данных по производственным факторам на уровне организации, отрасли и др.;
- «проведения специальной оценки условий труда и сертификации работ по охране труда в организации;
- оценки риска вредного воздействия электромагнитных полей.

Данная методика содержит методы аддитивной дозовой оценки и контроля электрических и магнитных полей постоянного тока (напряжения) и переменного до 1кГц (в производственных условиях) на основе параметров низкочастотных ЭМП: среднесменной энергетической нагрузки, суточной дозы потенциальной энергии облучения и удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП» [60].

Методика «предназначена для использования:

- специалистами организаций Роспотребнадзора и других организаций, аккредитованных в установленном порядке на» [3] «проведение измерений электрических и магнитных полей (низкочастотных переменных и постоянных), среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на рабочих местах в производственных условиях» [60];
- работодателями для информирования работников о вероятности нарушения здоровья персонала (при поступлении на работу и в процессе трудовой деятельности) на рабочих местах.

Объектами оценки являются:

- рабочие места персонала, профессионально связанного с обслуживанием и эксплуатацией электроустановок, включая электроэнергетические установки частотой 50, 400 Гц с неравномерной загрузкой фаз трехфазных систем электроснабжения, электроустановки постоянного и переменного тока электрического транспорта (городского,

промышленного, магистрального), исключая автономный электрический подвижной состав с использованием аккумуляторного питания силовых установок; электроустановки с явно выраженным спектром «низкочастотных гармоник переменного тока частотой до 1 кГц;

- рабочие места персонала, профессионально не связанного с обслуживанием и эксплуатацией электроустановок, но подвергающегося воздействию ЭП и МП постоянного и переменного тока с частотой до 1 кГц» [192].

Объектами оценки не «являются» [141] «рабочие места, на которых работники заняты исключительно на персональных электронно-вычислительных машинах (персональных компьютерах) и (или) эксплуатируют аппараты копировально-множительной техники настольного типа, единичные стационарные копировально-множительные аппараты, используемые периодически для нужд самой организации, иную офисную организационную технику, а также бытовую технику, не используемую в технологическом процессе производства» [3].

Основные этапы аддитивной дозовой оценки энергетических характеристик ЭМП

1. Идентификация параметров ЭМП:

- переменных - низкочастотных (напряженностей электрических и магнитных полей от 25 до 1000 Гц) и постоянных магнитных и электрических полей;

- «уровней: среднесменной энергетической нагрузки, суточной дозы потенциальной энергии облучения и удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП» [60].

2. Инструментальный или расчетный контроль параметров ЭМП;

3. Обработка результатов инструментального или расчетного контроля при аддитивном дозовом воздействии параметров ЭМП на персонал.

«Если уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП не превышает ПБУ, то условия» [49] на рабочем месте считаются допустимыми и им присваивается 2 класс условий труда. Для данного случая расчет остальных параметров «ЭМП: суточной дозы потенциальной энергии облучения и удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП - не требуется.

При превышении ПБУ среднесменной энергетической нагрузки ЭМП, необходим расчет: суточной дозы потенциальной энергии облучения и удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП. В этом случае условия труда на рабочем месте» [60] «считаются вредными и им присваивается 3 класс условий труда с подклассом 3.1.» [85].

«Идентификация параметров ЭМП на рабочих местах» [85]

Этап «идентификации» параметров ЭМП предусматривает выявление, полный сбор и анализ исходной информации об источниках электромагнитного поля (энергии ЭМП с учетом рода тока, частотных характеристик переменных токов и длительности экспозиции).

Основными источниками информации являются проектная и техническая документация, паспорта источников электромагнитных полей и результаты измерений параметров ЭМП, включая результаты ранее проведенной специальной оценки условий труда и (или) производственного контроля и экспертиз.

Исследования (испытания) и измерения параметров ЭМП

Инструментальный контроль должен осуществляться приборами, удовлетворяющими требованиям нормативных документов в области измерения уровней напряженности постоянных и переменных (низкочастотных) электрических и магнитных полей, а также энергетической нагрузки электромагнитного поля (ЭМП).

«Измерения уровней параметров ЭМП на рабочих местах должны проводиться после вывода работника из контрольной зоны» [3].

«Не допускается проведение измерений параметров ЭМП при наличии

атмосферных осадков, а также при температуре и влажности воздуха, выходящих за предельные параметры, установленные для средств измерений.

При проведении контроля уровня параметров ЭМП на рабочих местах должны соблюдаться требования безопасности, установленные при эксплуатации электроустановок, включая предельно допустимые расстояния токоведущих частей от эксперта, проводящего измерения и измерительного прибора, и до токоведущих частей, находящихся под напряжением» [40].

Измерения параметров ЭМП должны осуществляться «на высоте 0,5; 1,0 и 1,7 м от поверхности земли, пола помещения или площадки обслуживания оборудования, а также на расстоянии 0,5 м от оборудования и конструкций, стен зданий и сооружений» [40].

«В каждой точке измерения ЭП и МП должны проводиться в течение смены не менее 3 раз. По ним вычисляется среднее значение для каждой высоты измерений. В качестве результата, определяющего поле в контрольной зоне, выбирается максимум из средних значений» [3].

«На рабочих местах, расположенных на уровне земли и за пределами зоны действия экранирующих устройств, напряженность ЭП и МП допускается измерять лишь на высоте 1,7 м.

Измерения» [134] ЭМП «производятся с использованием приборов ненаправленного приема, оснащенных изотропными (трехкоординатными) датчиками с допустимой относительной погрешностью до 15%» [130].

В электроустановках с однофазными источниками ЭМП исследуются действующие (эффективные) значения ЭП и МП: $E = E_m / \sqrt{2}$ и $H = H_m / \sqrt{2}$, где E_m и H_m - амплитудные значения изменения во времени напряженностей ЭП и МП [114].

В электроустановках с двух- и более фазными источниками ЭМП контролируются действующие (эффективные) значения напряженностей $E_{\max}$ и $H_{\max}$, где $E_{\max}$ и $H_{\max}$ - действующие значения напряженностей полей [114].

«Измерения и расчеты параметров ЭМП, таких как напряженности электрических и магнитных полей, среднесменная энергетическая нагрузка, суточная доза потенциальной энергии облучения, удельная суточная доза потенциально поглощенной энергии ЭМП» [60], «должны производиться при максимальном рабочем токе и напряжении электроустановки или измеренные значения пересчитываются на максимальный рабочий ток ($I_{\max}$) и напряжение ($U_{\max}$)» [40].

«Пересчет на:

- максимальный ток проводится путем умножения измеренных значений напряженности H на отношение $I_{\max} / I$, где I – ток электроустановки при измерениях» [40], « $I_{\max}$ – максимальный ток электроустановки;

- максимальное» [3] «напряжение - путем умножения измеренного значения напряженности E на отношение $U_{\max} / U$, где $U_{\max}$ – наибольшее рабочее напряжение электроустановки, U – напряжение электроустановки при измерениях» [114];

Для получения максимальных уровней суточных «доз потенциальной энергии облучения ЭМП и удельных суточных доз потенциальной поглощенной энергии ЭМП» [60] при расчете необходимо использовать максимальные уровни среднесменной энергетической нагрузки.

Контроль уровней параметров ЭМП на рабочем месте по среднесменной «энергетической нагрузке, суточной дозе потенциальной энергии облучения и удельной суточной дозе потенциально поглощенной энергии ЭМП» [60] проводится не реже 1 раза в 3 года.

Обработка результатов инструментального контроля параметров ЭМП на рабочих местах

После проведения инструментального контроля параметров ЭМП необходимо провести расчет и оценку электрических и магнитных полей при

аддитивном дозовом воздействии на персонал. Интенсивность вредного воздействия энергии ЭМП на персонал «характеризуется напряжённостями электрического и магнитного полей. Термин «среднесменная энергетическая нагрузка» представляет собой вектор» [50] Умова-Пойнтинга. При расчете среднесменной энергетической нагрузки используются максимальные значения из средних данных трех проведенных измерений параметров ЭМП на каждой высоте.

*Оценка и нормирование ЭМП разного рода и частоты
переменного тока до 1кГц*

После проведения идентификации ЭМП и на основе результатов инструментального контроля уровни магнитных и электрических полей низкочастотного диапазона сравниваются с ПБУ. В связи с отсутствием в России предельно допустимых уровней «(ПДУ) электрических и магнитных полей для рассматриваемого частотного диапазона, воспользуемся опытом нормирования ЭМП в странах Евросоюза (ЕС)» [60].

«В таблице 2.11. приведены зависимости для определения рабочих уровней ALs электрических и магнитных полей частотой от 25 Гц до 1кГц, действующие в странах ЕС.

Таблица 2.11

Рабочие уровни ALs электрических и магнитных полей
частотой от 25 Гц до 1 кГц [60]

Диапазон частот	(E) (В/м) для напряженности электрического поля (среднеквадратичные значения)
$25 \text{ Гц} \leq f < 1,64 \text{ кГц}$	$5,0 \cdot 10^5 / f^*$
	(B) для плотности магнитного потока (μT) (среднеквадратичные значения)
$25 \text{ Гц} \leq f < 300 \text{ Гц}$	$1,0 \cdot 10^3$
$300 \text{ Гц} \leq f < 1 \text{ кГц}$	$3,0 \cdot 10^5 / f^*$

f^* – частота, Гц.

Предлагается гармонизировать существующие ПДУ электрических и магнитных полей с частотой до 1 кГц (для 8-ми часового воздействия) стран Евросоюза с ПДУ по СанПиН 1.2.3685-21. Нормирование ЭМП в странах ЕС осуществляется в соответствии с Директивой Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2013/35/ЕС» [60], «устанавливающей минимальные требования» [50] «в отношении защиты работников от рисков для их здоровья и безопасности, возникающих или которые могут возникнуть в связи с воздействием на них во время работы электромагнитных полей» [38].

«Так как ПДУ электрических и магнитных полей 50 Гц, нормируемые в России по СанПиН 1.2.3685-21 и в ЕС по Директиве Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2013/35/ЕС, различаются по качественным показателям вредного воздействия на организм, нами введены коэффициенты приведения нормируемых значений к сопоставимым показателям, которые определяются из соотношений:

$$\alpha_{\text{МП}}(f) = \frac{H_{\text{ПДУ РФ}}(50 \text{ Гц})}{H_{\text{ПДУ ЕС}}(50 \text{ Гц})} = \frac{80}{800} = 0,1; \quad (2.32)$$

$$\alpha_{\text{ЭП}}(f) = \frac{E_{\text{ПДУ РФ}}(50 \text{ Гц})}{E_{\text{ПДУ ЕС}}(50 \text{ Гц})} = \frac{5000}{10000} = 0,5. \quad (2.33)$$

где: $H_{\text{ПДУ РФ}}(50 \text{ Гц})$ и $E_{\text{ПДУ РФ}}(50 \text{ Гц})$ – ПДУ электрических и магнитных полей по СанПиН 1.2.3685-21;

$H_{\text{ПДУ ЕС}}(50 \text{ Гц})$ и $E_{\text{ПДУ ЕС}}(50 \text{ Гц})$ – ПДУ электрических и магнитных полей по Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза 2013/35/ЕС.

С учетом коэффициентов приведения $\alpha_{\text{МП}}(f)$ и $\alpha_{\text{ЭП}}(f)$, которые позволили гармонизировать существующие ПДУ ЭМП стран ЕС в России, были

установлены зависимости для определения ПБУ электрических и магнитных полей частотой от 25 Гц до 1 кГц.

На основе зависимостей ПБУ электрических и магнитных полей от частоты рассчитаны ПБУ энергетических нагрузок ЭМП (таблица 2.12)» [60].

Таблица 2.12

ПБУ электрических и магнитных полей частотой от 25 Гц до 1 кГц [60]

Диапазон частот	Значение показателя
$E_{\text{ПБУ}}$ (В/м) напряженность электрического поля [60]	
$25 \text{ Гц} \leq f < 1 \text{ кГц}$	$2,5 \cdot 10^5 / f^*$
$H_{\text{ПБУ}}$ (А/м) напряженность магнитного поля [60]	
$25 \text{ Гц} \leq f < 300 \text{ Гц}$	80
$300 \text{ Гц} \leq f < 1 \text{ кГц}$	$2,4 \cdot 10^4 / f^*$
$\mathcal{E}_{\text{ПБУ}}$ (ВА/м ²) среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП [60]	
$25 \text{ Гц} \leq f < 300 \text{ Гц}$	$5 \cdot 10^6 / f^*$
$300 \text{ Гц} \leq f < 1 \text{ кГц}$	$1,5 \cdot 10^9 / f^{2*}$

f^* – частота, Гц.

«Так как аддитивность совместного действия электрической и магнитной составляющих ЭМП на персонал основана на том, что две составляющие E и H будут оказывать такое же суммирующее действие, как каждая в отдельности, поэтому предельно безопасный уровень допустимой суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП уменьшен в четыре раза.

На базе предельно безопасных уровней ЭМП со спектром высших гармонических составляющих построены графики функций (рисунок 2.14), где абсциссы точек представляют собой значения аргумента (x), а ординаты (y) – соответствующие им значения функций.

Диапазон изменения ПБУ:

- среднесменной энергетической нагрузки ЭМП от частоты переменного поля колеблется от 3 до 200 кВА/м²,
- напряжённости магнитного поля – от 80 до 32 А/м,

- напряжённости электрического поля – от 333 до 10000 В/м [60].

Приведённые ПБУ электрических и магнитных полей 50 Гц не превышают ПДУ, действующие в России, для 8-ми часовой экспозиции» [60].

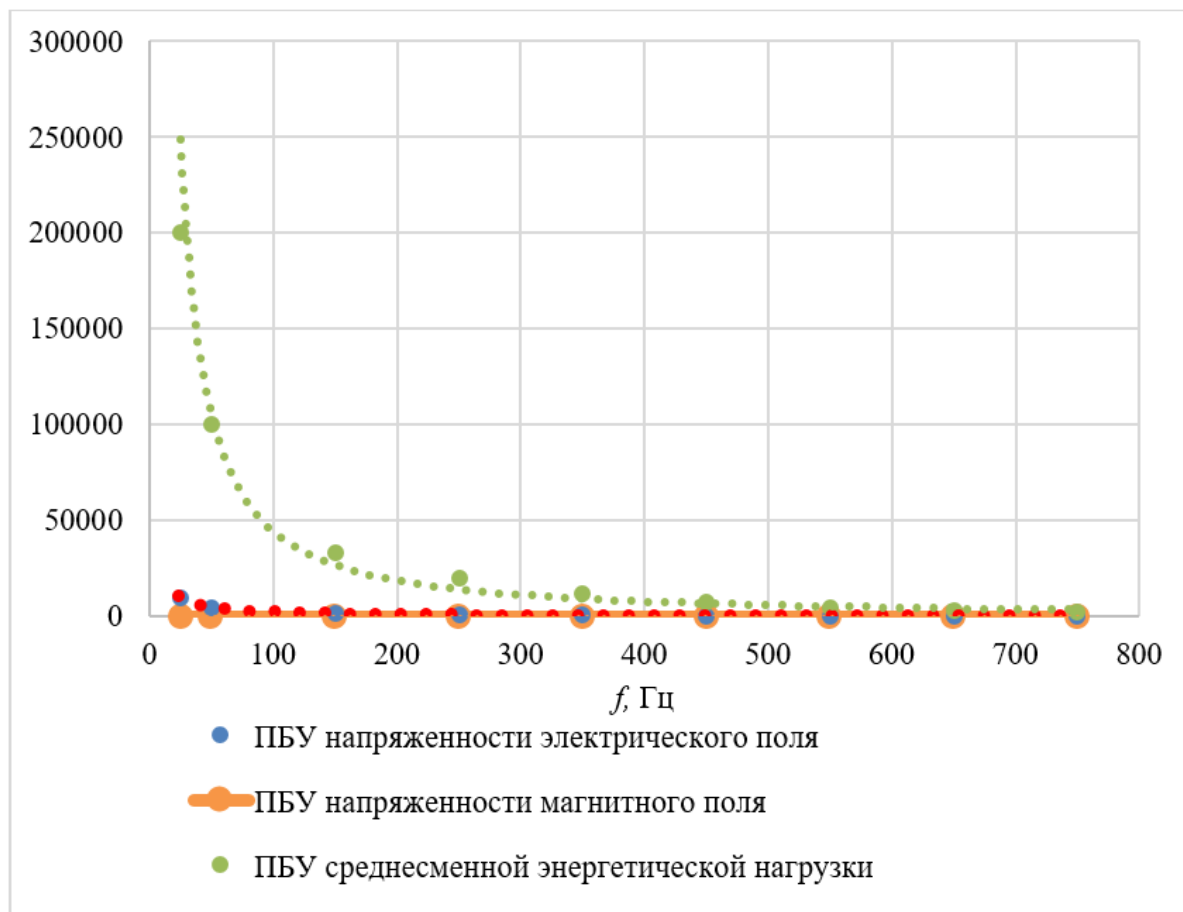


Рисунок 2.14 – ПБУ среднесменных энергетических нагрузок ЭМП

«При наличии на рабочих местах ЭМП со спектром высших гармонических составляющих (одновременно от двух и более частот), входящих в частотный диапазон от 25 Гц до 1 кГц, суммарный уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП переменного тока определяется суммой энергетических нагрузок ЭМП каждой гармоники:

$$\Sigma \mathcal{E}(f_i) = \Sigma_{i=1}^n \mathcal{E}_i(f_i), \quad (2.34)$$

где: $\Sigma(f_i)$ – суммарный уровень среднесменной энергетической нагрузки для n гармоник ЭМП, ВА/м²;

f_i – фактическая i -гармоника ЭМП от 25 Гц до 1кГц;

$\Sigma_i(f_i)$ – уровни среднесменной энергетической нагрузки ЭМП для всех f_i , ВА/м²» [60].

«Суммарный уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП по (2.34) необходимо сравнить с ПБУ, который находится с учетом весового коэффициента [60]:

$$\Sigma \Sigma_{\text{ПБУ}}(f) = \sum_{i=1}^n (\Sigma_{\text{ПБУ}}(f_i) \cdot k_{f_i}) , \quad (2.35)$$

$$k_{f_i} = \frac{\Sigma_{\text{ПБУ}}(f_i)}{\sum_{i=1}^n \Sigma_{\text{ПБУ}}(f_i)} .$$

где: $\Sigma_{\text{ПБУ}}(f_i)$ – ПБУ среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на частоте f_i , ВА/м²;

k_{f_i} – весовой коэффициент среднесменной энергетической нагрузки ЭМП каждой гармоники, определяемый отношением уровня среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на частоте f_i к суммарному уровню среднесменной энергетической нагрузки всех n источников ЭМП [60].

При превышении ПБУ суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП или среднесменной энергетической нагрузки ЭМП определенной частоты необходим расчет суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП. По нашему мнению, **суточная доза потенциальной энергии облучения ЭМП** – это количество падающей энергии излучения ЭМП на площадь тела человека за определенный период (сутки) облучения, определяемое с учетом статистической вероятности ее воздействия, выражается в ВА·ч [60]:

$$D_{\text{Co}}(f) = \Sigma \Sigma(f_i) \cdot t_i \cdot S \cdot p_i \quad (2.36)$$

где: $D_{co}(f)$ – уровень суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП низкочастотного диапазона, ВА·ч;

$\sum \mathcal{E}(f_i)$ – суммарный уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП переменного тока с частотой i , ВА/м²;

t_i – длительность пребывания работника на рабочем месте, ч» [60];

S – площадь тела человека, м²;

p_i – статистическая вероятность воздействия дозы потенциальной энергии ЭМП на персонал за сутки (См. разд. 2.6) [60].

«Площадь тела человека может быть определена по формуле Мостеллера, м²:

$$S = \sqrt{(a \cdot v / 3600)}, \quad (2.37)$$

где: a – рост человека, см;

v – вес человека, кг.

Полученные уровни суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП по (2.36) сравниваются с ПБУ, ВА·ч. ПБУ суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП определяется как:

$$D_{CO}^{ПБУ}(f) = \sum \mathcal{E}_{ПБУ}(f_i) \cdot t_i \cdot S \cdot p_i \quad (2.38)$$

где: $\sum \mathcal{E}_{ПБУ}(f_i)$ – ПБУ суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП для 8-ми часового воздействия f , ВА/м²;

t_i – длительность пребывания персонала на рабочем месте, принимается равной 8-ми часам;

S – площадь тела человека, м²;

p_i – статистическая вероятность воздействия дозы потенциальной энергии ЭМП на персонал за сутки» [60].

«В связи с тем, что ПБУ были построены по максимальным уровням электрических и магнитных полей с учетом коэффициента приведения, ужесточающего нормы ЕС, и с учетом времени воздействия 8 часов, поэтому превышение этой дозы будет основанием для отнесения рабочего места к вредному классу 3.1.

Площадь тела человека рассчитывается по формуле Мостеллера, исходя из антропометрических параметров взрослого человека, приведенных в МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации»» [60].

«С 2022 года женщины получили право управления электроподвижным составом, поэтому расчет площади тела выполнен как для мужчин, так и для женщин (таблица 2.13).

Таблица 2.13

Антропометрические параметры взрослого человека [60]

Возраст	Мужчины			Женщины		
	вес человека, кг	Рост, см	Площадь тела человека, м ²	вес человека, кг	Рост, см	Площадь тела человека, м ²
18-29	72,1	177,5	1,885	60,8	165,4	1,671
30-44	72,3	176,7	1,884	61,6	165,0	1,680
45-64	70,9	174,6	1,854	61,9	163,7	1,678
65-74	68,9	172,1	1,815	60,7	161,6	1,651
≥75	66,7	169,6	1,773	58,3	158,8	1,604

Расчет площади тела человека был проведен и для работников пенсионного возраста. Пенсионная реформа РФ установила возраст, дающий право выхода на пенсию: для женщин — 60 лет, для мужчин — 65 лет. На основании пункта 5 части 1 статьи 30 Федерального закона от 28 декабря 2013 года № 400-ФЗ работникам железнодорожного транспорта предоставляется право на досрочное получение пенсий: мужчинам — по достижении возраста 55 лет, женщинам — 50 лет» [60].

«Удельная суточная доза потенциальной поглощенной энергии ЭМП – величина энергии электромагнитного поля, переданная человеку (тканям организма) за определенный период (сутки), рассчитывается с учетом суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП и массы тела (веса) человека, выражается в $В\text{А}\cdot\text{ч}/\text{кг}$:

$$D_{\text{по}}(f) = \frac{D_{\text{со}}(f)}{m}, \quad (2.39)$$

где: $D_{\text{со}}(f)$ – уровень суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП низкочастотного диапазона, $В\text{А}\cdot\text{ч}$;

m – масса тела человека (персонала), кг » [60].

«Уровень удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП, рассчитанный по (2.39), сравнивается с ПБУ. ПБУ определяется следующим образом, $В\text{А}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ » [60]:

$$D_{\text{по}}^{\text{ПБУ}}(f) = \frac{D_{\text{со}}^{\text{ПБУ}}(f)q}{m}, \quad (2.40)$$

где: $D_{\text{со}}^{\text{ПБУ}}(f)$ – ПБУ суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП низкочастотного диапазона, $В\text{А}\cdot\text{ч}$;

m – нормируемая масса тела человека (персонала);

q – коэффициент, который позволяет перейти от нормируемой массы к фактической:

m	50	60	70	80	90	100
q	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

Используя приведенные данные можно сделать выводы о соответствии уровней ЭМП предлагаемым ПБУ, а также оценить необходимость принятия мер по защите персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей.

В случае выявления несоответствий или превышения безопасных уровней,

необходимо рассмотреть и внедрить систему защиты электротехнического персонала. Эта система будет включать в себя комплекс мероприятий, направленных на минимизацию воздействия ЭМП, что в свою очередь, позволит сохранить здоровье работников, а также повысить эффективность выполнения ими своих профессиональных обязанностей.

*Определение безопасных уровней ЭМП разного рода тока (напряжения),
при аддитивном их воздействии на персонал*

При нормировании одновременного (аддитивного) воздействия МП и ЭП разного рода и частоты переменного тока до 1кГц на персонал необходимо использовать следующий критерий по среднесменной энергетической нагрузке [49]:

$$\frac{\Sigma f}{\Sigma_{\text{ПБУ}}(f)} + \frac{\Sigma_{\text{пост}}}{\Sigma_{\text{ПБУ}} \text{ пост}} < 1, \quad (2.41)$$

«где: Σf и $\Sigma \Sigma_{\text{ПБУ}}(f)$ – суммарный уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП для n гармоник и ее ПБУ, ВА/м²» [49];

$\Sigma_{\text{пост}}$ и $\Sigma_{\text{ПБУ}}^{\text{пост}}$ – уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП постоянного тока (напряжения) и ее ПБУ.

Если условие (2.41) выполняется, то условия труда персонала по данным производственным факторам считаются допустимыми (2 класс условий труда). При невыполнении условий (2.41), класс условий труда будет вредным с подклассом 3.1.

Для решения вопросов, связанных с расчетом вероятности повреждения здоровья персонала при «аддитивном воздействии электрических и магнитных полей, разработана логико-вероятностная модель (разд. 2.6) [60].

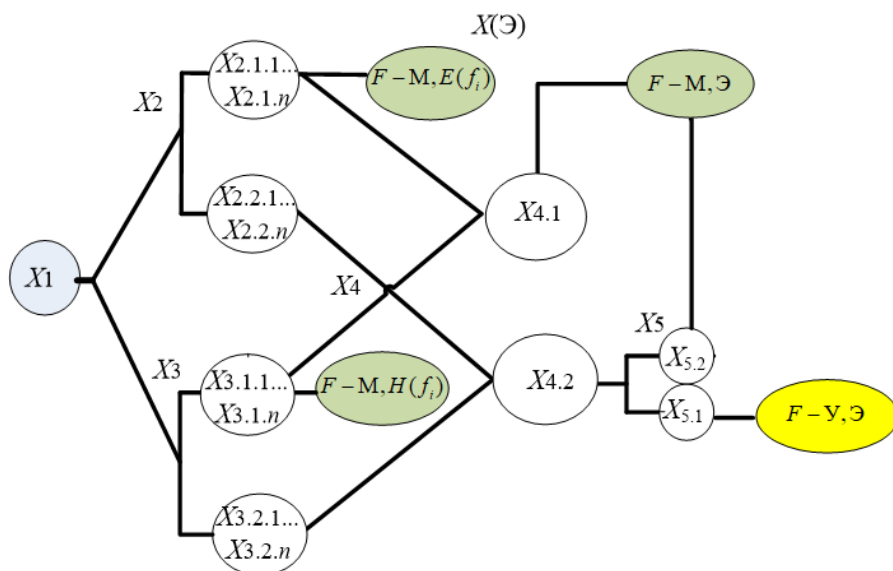
2.6. Оценка аддитивного воздействия электрических и магнитных полей на электротехнический персонал с помощью логико-вероятностной модели [60]

Электротехнический персонал, обслуживая электроустановки переменного тока попадает под аддитивное воздействие электрических и магнитных полей, которое предлагается рассматривать через энергетические характеристики ЭМП.

К энергетическим характеристикам ЭМП мы относим [60]:

- электрические и магнитные поля;
- среднесменную энергетическую нагрузку ЭМП [49];
- суммарный уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП [49];
- суточную дозу потенциальной энергии облучения ЭМП [60];
- удельную суточную дозу потенциальной поглощенной энергии ЭМП» [60].

Для оценки вероятности повреждения здоровья персонала нами впервые разработано дерево логико-вероятностной модели (рисунок 2.15, таблица 2.14).



«Рисунок 2.15 – Дерево логико-вероятностной модели для определения вероятности повреждения здоровья персонала» [60] при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей

Оно позволяет анализировать воздействие факторов производственной среды (электрических и магнитных полей [60] частотой до 1кГц) на персонал, рассматривать возможные сценарии развития событий и определять последствия каждого сценария. Логико-вероятностная модель в виде дерева решений, предназначена для оценки вероятности повреждения здоровья персонала, подверженного воздействию факторов производственной среды, таких как электрические и магнитные поля с частотой до 1 кГц. Её универсальность заключается в рассмотрении изменяющихся уровней напряжений и токов в электроустановках (событие $X1$), которые формируют электрические (событие $X2$) и «магнитные (событие $X3$) поля. На рабочих местах рассматриваемого электротехнического персонала присутствуют электрические и магнитные поля со спектром высших гармонических составляющих, поэтому на рисунке 2.15 указаны события» [60] $X_{2.1.1} \dots X_{2.1.n}$, $X_{2.2.1} \dots X_{2.2.n}$ и $X_{3.1.1} \dots X_{3.1.n}$ по $X_{3.2.1} \dots X_{3.2.n}$. Аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на персонал возможно оценить через среднесменную энергетическую нагрузку ЭМП ($X_{4.1}$ и $X_{4.2}$).

Пояснения к элементам логико-вероятностной модели [57] приведены в таблице 2.14.

Таблица 2.14

Пояснения к элементам логико-вероятностной модели

Группа событий	Обозначение	Вероятность реализации событий	Содержание
События, связанные с эксплуатацией электроустановок [57]	$X1$	p_1	Эксплуатация и обслуживание оборудования электроустановок, находящихся под напряжением [57]
События, связанные с воздействием на персонал параметров ЭМП[57]	$X2$	$p(E)$	Вероятность воздействия на персонал электрических полей
	$X3$	$p(H)$	Вероятность воздействия на персонал магнитных полей
События, связанные с воздействием на персонал параметров ЭМП[60]	Вероятность воздействия на персонал электрических полей со спектром высших гармонических составляющих [60]		
	$X_{2.1.1} \dots X_{2.1.n}$	$p(E_A)$	Не превышающая безопасные уровни [130]
	$X_{2.2.1} \dots X_{2.2.n}$	$p(\bar{E}_A)$	Превышающая безопасные уровни [130]

Продолжение таблицы 2.14

События, связанные с воздействием на персонал параметров ЭМП [57]	Вероятность воздействия на персонал магнитных полей со спектром высших гармонических составляющих [60]		
	$X_{3.1.1} \dots X_{3.1.n}$	$p(H_A)$	Не превышающая безопасные уровни [130]
	$X_{3.2.1} \dots X_{3.2.n}$	$p(\bar{H}_A)$	Превышающая безопасные уровни [130]
	Вероятность воздействия на персонал среднесменной энергетической нагрузки ЭМП $X(\mathcal{E})$ [60]		
	$X_{4.1}$	$p(\mathcal{E})$	Не превышающая безопасные уровни [130]
	$X_{4.2}$	$p(\bar{\mathcal{E}})$	Превышающая безопасные уровни [130]
События, связанные с использованием и неиспользованием персоналом средств защиты [130]	Устройства для контроля энергетических параметров ЭМП		
	$X_{5.2}$	$p(z)$	Используются
	$X_{5.1}$	$p(\bar{z})$	Не используются
Конечное событие [130]	Вероятность повреждения здоровья персонала [61] «малозначимая» ($F-M$)		
	$F-M, E(f_i)$	$P(F-M, E(f_i))$	По электрическим полям со спектром высших гармонических составляющих [57]
	$F-M, H(f_i)$	$P(F-M, H(f_i))$	По магнитным полям со спектром высших гармонических составляющих [57]
	$F-M, \mathcal{E}$	$P(F-M, \mathcal{E})$	По среднесменной энергетической нагрузке ЭМП [57]
	Вероятность повреждения здоровья персонала «умеренная» ($F-Y$)		
	$F-Y, \mathcal{E}$	$P(F-Y, \mathcal{E})$	По энергетической нагрузке ЭМП

Событие ($X_{4.1}$) реализуется только в том случае если, уровни электрических и магнитных полей не превышают $\frac{1}{2}$ ПБУ. Соответственно, вероятность воздействия на персонал среднесменной энергетической нагрузки ЭМП будет «малозначимой». В этом случае меры по снижению вероятности не требуются.

«Когда уровни магнитных и электрических полей превышают $\frac{1}{2}$ ПБУ, рекомендуется их оценивать комплексно, с учётом нового события – влияния на персонал среднесменной энергетической нагрузки ЭМП» [60].

Если «на рабочих местах одновременно присутствуют ЭМП со спектром высших гармонических составляющих [57] (от двух и более частот» [60] до 1кГц

[49]), необходимо использовать категории вероятности, приведенные в таблице 2.15, и оценить полную условную вероятность воздействия на персонал [49] среднесменной энергетической нагрузки ЭМП [57] от 25 Гц до 1 кГц. Она определяется на основании вероятности нахождения персонала вблизи электроустановок, работающих под напряжением; вероятности использования или неиспользования персоналом устройств для «контроля энергетических параметров ЭМП; а также условной вероятности аддитивного воздействия на персонал магнитных и электрических полей.

Таблица 2.15

Категории вероятности повреждения здоровья персонала,
обусловленные влиянием электрических и магнитных полей [60]

Наименование	Критерии	Категория вероятности	Критерии	Категория вероятности
Электрические поля $\sum f_i$ ($i < 1$ кГц)	$\leq \frac{1}{2}$ ПБУ	Малозначимая, приемлемая	$\geq \frac{1}{2}$ ПБУ	Умеренная
Магнитные поля $\sum f_i$ ($i < 1$ кГц)	$\leq \frac{1}{2}$ ПБУ		$\geq \frac{1}{2}$ ПБУ	

Полная условная вероятность воздействия на персонал [49] суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП [57] от 25 Гц до 1 кГц, превышающей безопасные уровни (при неиспользовании персоналом средств защиты), может быть определена следующим образом» [60]:

$$\begin{aligned}
 p(F - Y, \Theta) &= p_1 \cdot p(\Theta) \cdot p(\bar{Z}) = p_1 \cdot p(E_A) \cdot p(H_A) \cdot p(\bar{Z}) = \\
 &= p_1 \cdot \left[\left\langle \sum_{i=1}^n p_i(E_i) - \prod_{i=1}^n p_i(E_i) \right\rangle \cdot \left\langle \sum_{i=1}^n p_i(H_i) - \prod_{i=1}^n p_i(H_i) \right\rangle \right] \cdot p(\bar{Z}). \quad (2.42)
 \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^n p_i(E_i) = p(E_{50}) + p(E_{100}) + \dots + p(E_n), \quad \sum_{i=1}^n p_i(H_i) = p(H_{50}) + p(H_{100}) + \dots + p(H_n),$$

$$\prod_{i=1}^n p_i(E_i) = p(E_{50}) \cdot p(E_{100}) \cdot \dots \cdot p(E_n), \quad \prod_{i=1}^n p_i(H_i) = p(H_{50}) \cdot p(H_{100}) \cdot \dots \cdot p(H_n),$$

где: p_1 – вероятность нахождения персонала вблизи электроустановок, работающих под напряжением (эксплуатация и обслуживание оборудования) [67];

$p(\Xi)$ – условная вероятность воздействия на [67] персонал среднесменной энергетической нагрузки ЭМП, превышающей разработанные нами безопасные уровни [60];

$p(\bar{z})$ – вероятность неиспользования персоналом устройств для контроля энергетических параметров ЭМП [67];

$p(H_A)$ – условная вероятность аддитивного воздействия на персонал магнитных полей, превышающих безопасные уровни [67];

$p(E_A)$ – условная вероятность аддитивного воздействия на персонал электрических полей, превышающих безопасные уровни [67];

50, 100 ... n – фактическая гармоника электрического и магнитного полей от 25 Гц до 1кГц [60].

Категории для определения вероятности повреждения здоровья персонала, основанные на влиянии суммарной энергетической нагрузки ЭМП, приведены в таблице 2.16 [60].

Таблица 2.16

Категории вероятности повреждения здоровья персонала, обусловленные влиянием суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП [60]

Наименование	Критерий	Категория вероятности	Критерий	Категория вероятности
Суммарный уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП, $\Xi^{\Sigma}(f_i)$, ВА/м ²	$\leq$ ПБУ	Малозначимая	$\geq$ ПБУ	Умеренная

Если суммарный уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП будет меньше ПБУ, то категория вероятности «малозначимая» [49]. В этом случае, меры по снижению уровня вероятности не требуются.

Если же наблюдается превышение ПБУ ($F-Y, Э$), то категория вероятности «умеренная», и необходимо определить категории вероятности повреждения здоровья персонала на основе суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП [49].

Дерево логико-вероятностной модели для определения категорий вероятности повреждения здоровья персонала в зависимости от суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП [61] представлено на рисунке 2.16 [60].

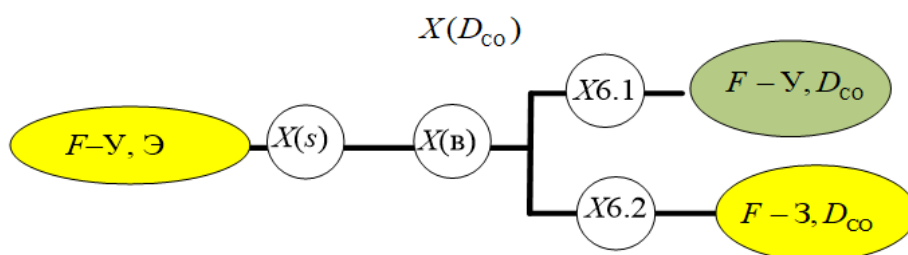


Рисунок 2.16 – Дерево логико-вероятностной модели для оценки вероятности повреждения здоровья персонала в зависимости [60] от суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП

В связи с событиями, указанными в таблице 2.17., определяются категории вероятности повреждения здоровья персонала на основе суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП [60]. Для определения статистической вероятности воздействия электромагнитных полей на персонал в течение смены рассмотрен порядок организации труда и отдыха локомотивных бригад [60].

Порядок организации труда и отдыха локомотивных бригад регламентируется приказом Минтранса России от 11.10.2021 № 339.

Продолжительность непрерывной работы локомотивных бригад ОАО «РЖД», как правило, составляет 7–9 часов, однако она может быть увеличена, но не более чем до 12 часов. Время непрерывного отдыха между сменами должно составлять не менее 12 часов.

Таблица 2.17

Пояснения к элементам логико-вероятностной модели (рисунок 2.16)

Группа событий	Обозначение события	Вероятность реализации событий	Содержание
События, связанные с воздействием на персонал среднесменной энергетической нагрузки ЭМП, превышающей ПБУ [60].	$F-Y, \Theta$	$P(F-Y, \Theta)$	Вероятность повреждения здоровья персонала, определяемая на основе энергетической нагрузки ЭМП, является «умеренной».
События, связанные с определением вероятности вредного воздействия на персонал удельной суточной дозы потенциальной энергии облучения $X(D_{co})$ [60].	$X(b)$	$p(b)$	Статистическая вероятность воздействия.
	$X(s)$	$p(s)$	Вероятность изменения индивидуальных антропометрических данных персонала (его площадь)[60].
События, связанные с использованием или не использованием персоналом средств защиты [60]	$X6.1$	$p(\bar{Z})$	Вероятность неприменения персоналом средств защиты при вредном воздействии суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП [60].
	$X6.2$	$p(Z)$	Вероятность применения персоналом средств защиты при вредном воздействии суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП [60].
Конечное событие	$F-Y, D_{co}$	$p(F-Y, D_{co})$	Вероятность повреждения здоровья персонала, определяемая на основе суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП, является «недопустимой» ($F-H$) [61].

Статистическая вероятность воздействия среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на персонал в течение смены определяется как отношение длительности экспозиции за сутки:

$$p_i = \frac{t_i}{t_{\text{сут}}} \quad (2.43)$$

где: t_i – длительность экспозиции за сутки, ч;

$t_{\text{сут}}$ – время (сутки), ч.

Расчетные значения статистической вероятности воздействия среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на персонал представлены в таблице 2.18, что предоставляет дополнительную информацию для оценки влияния этих факторов на здоровье работников.

Таблица 2.18

Статистическая вероятность воздействия
среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на персонал [60]

Время, ч	Длительность экспозиции за сутки, ч	Статистическая вероятность воздействия среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на персонал [60]
24	0,17 (10 мин)	0,007
	1	0,04
	2	0,08
	4	0,17
	8	0,33
	12	0,5

Экспозиция суточных среднесменных энергетических нагрузок ЭМП машинистов грузового движения при работе без помощников не должна превышать 7 часов. Максимальная продолжительность среднесменных энергетических нагрузок ЭМП на работников локомотивных бригад,

задействованных в скоростном и высокоскоростном движении, с момента отправления поезда до его прибытия ограничена 6 часами.

Проанализируем, как изменяется статистическая вероятность воздействия среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на персонал в зависимости от времени воздействия. Зависимость статистической вероятности воздействия энергетической нагрузки ЭМП на персонал от длительности экспозиции в графическом виде приведена на рисунке 2.17 [60].

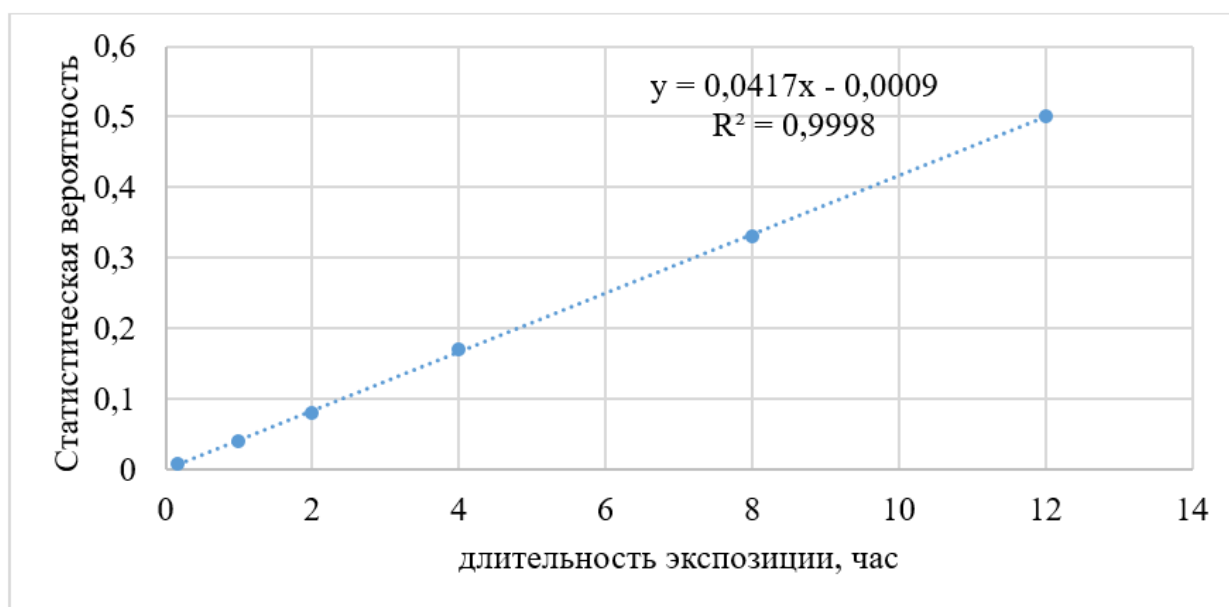


Рисунок 2.17 – Зависимость статистической вероятности воздействия среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на персонал [60] от длительности экспозиции

Статистическая вероятность воздействия среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на персонал от длительности экспозиции имеет прямолинейную зависимость, что в дальнейшем нами будет учтено при исследованиях.

Условная полная вероятность воздействия суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП на персонал [49] содержит четыре независимых между собой события и может быть определена по формулам:

$$p(F - Y, D_{co}) = 1 - ((1 - p(F - Y, \Theta))(1 - p(S))(1 - p(V))(1 - p(Z))), \quad (2.44)$$

$$p(F - 3, D_{co}) = 1 - ((1 - p(F - Y, \Xi))(1 - p(S))(1 - p(V))(1 - p(\bar{Z}))). \quad (2.45)$$

Критерии для определения вероятности повреждения здоровья персонала на основе дозы потенциальной энергии облучения ЭМП [61] приведены в таблице 2.19.

Таблица 2.19

Категории вероятности повреждения здоровья персонала, определяемые на основе суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП

Наименование	Критерий	Категория вероятности	Критерий	Категория вероятности
Суточная доза потенциальной энергии облучения ЭМП [61]	$\leq$ ПБУ	Умеренная	$\geq$ ПБУ	Значительная. Необходимо оценивать вероятность повреждения здоровья персонала на основе удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП.

При категории вероятности «умеренная» на основе суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП не требуется определять дополнительные параметры энергетических характеристик ЭМП [61]. Технические меры по снижению вероятности повреждения здоровья персонала не нужны. Однако организационные меры, такие как направление персонала на ежегодные медицинские осмотры и мониторинг здоровья, необходимы и они входят в систему защиты персонала.

При превышении на рабочих местах уровней суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП категория вероятности изменится на «значительную». В этом случае рассчитывается удельная суточная доза потенциальной поглощенной энергии ЭМП.

Впервые в соответствии с деревом логико-вероятностной модели (рисунок 2.18) определяются категории вероятности повреждения здоровья

персонала [60], которые учитывают удельную суточную дозу потенциальной поглощенной энергии ЭМП [61].

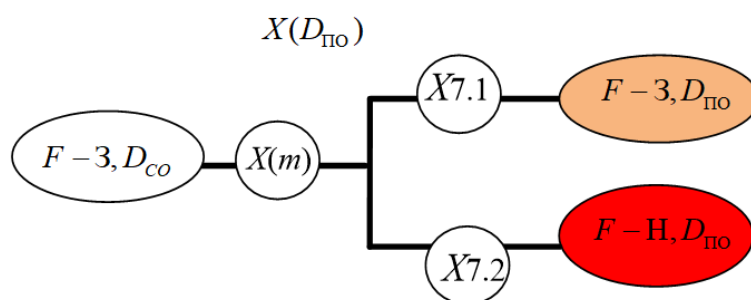


Рисунок 2.18 – Дерево логико-вероятностной модели для определения вероятности повреждения здоровья персонала, основанное на удельной суточной дозе потенциальной поглощенной энергии ЭМП [60]

Модель структурирована в виде дерева (рисунок 2.18), что позволяет наглядно иллюстрировать взаимосвязи и зависимости, влияющие на вероятность воздействия на персонал [60] удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП.

В таблице 2.20 приведены пояснения к элементам данной логико-вероятностной модели, которые помогут лучше понять ее конструкцию и применение на практике.

Таблица 2.20

Пояснения к элементам логико-вероятностной модели (рисунок 2.18)

Группа событий	Обозначение события	Вероятность реализации событий	Содержание
События, связанные с определением вероятности вредного воздействия на персонал поглощенной энергии ЭМП $X(D_{по})$ [57].	$F-3, Э$	$P(F-Y, Э)$	Вероятность повреждения здоровья персонала, основанная на среднесменной энергетической нагрузке ЭМП, является «умеренной» [60].

Продолжение таблицы 2.20

События, связанные с определением вероятности вредного воздействия на персонал поглощенной энергии ЭМП $X(D_{\text{по}})$ [57].	$X(m)$	$p(m)$	Вероятность изменения индивидуальных антропометрических данных персонала (его масса) [60].
События, связанные с использованием или неиспользованием персоналом средств защиты [56]	$X_{7.1}$	$p_{7.1}$	Вероятность применения персоналом средств защиты при вредном воздействии удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП [60].
	$X_{7.2}$	$p_{7.2}$	Вероятность неприменения персоналом средств защиты при вредном воздействии удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП [49].
Конечное событие	$F-H, D_{\text{по}}$	$p(F-H, D_{\text{по}})$	Вероятность повреждения здоровья персонала, основанная на удельной суточной дозе потенциальной поглощенной энергии ЭМП, является «недопустимой» ($F-H$) [61].
	$F-3, D_{\text{по}}$	$p(F-3, D_{\text{по}})$	Вероятность повреждения здоровья персонала, основанная на удельной суточной дозе потенциальной поглощенной энергии ЭМП, является «значительной» ($F-3$) [61].

Полная условная вероятность повреждения здоровья персонала, основанная на удельной суточной дозе потенциальной поглощенной энергии ЭМП, превышающей ПБУ [61], определяется по формулам:

$$p(F-3, D_{\text{по}}) = 1 - ((1 - p(F-3, D_{\text{со}})) \cdot (1 - p(m)) \cdot (1 - p_{7.1})), \quad (2.46)$$

$$p(F-H, D_{\text{по}}) = 1 - ((1 - p(F-3, D_{\text{со}})) \cdot (1 - p(m)) \cdot (1 - p_{7.2})). \quad (2.47)$$

Вероятности событий $p(m)$ и $p_{7.2}$ описывают интенсивность энергии ЭМП, переданной персоналу (тканям организма) за определенный период (сутки), с учетом индивидуальных антропометрических данных человека (массы тела) и применения или неприменения им средств защиты [60].

В соответствии с деревом логико-вероятностной модели (рисунок 2.40) определяются категории вероятности повреждения здоровья персонала в зависимости от удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП [49] (таблица 2.41).

Таблица 2.41

Категории вероятности повреждения здоровья персонала, которые учитывают удельную суточную дозу потенциальной поглощенной энергии ЭМП [60]

Наименование	Критерий	Категория вероятности	Критерий	Категория вероятности
Удельная суточная доза потенциальной поглощенной энергии ЭМП [57].	$\leq$ ПБУ	Значительная.	$\geq$ ПБУ	Недопустимая

При категории вероятности повреждения здоровья персонала, основанной на удельной суточной дозе потенциальной поглощенной энергии ЭМП, «значительная», определение дополнительных параметров ЭМП не требуется. В соответствии с разработанной системой защиты, нужны контроль ЭМП (способы и устройства контроля ЭМП) и направление работников на медицинский осмотр и мониторинг здоровья персонала [60].

При использовании персоналом средств защиты вероятность повреждения здоровья персонала будет «значительная» ($F-3$), а при неиспользовании «недопустимая» ($F-H$), необходимы неотложные меры по снижению вероятности повреждения здоровья персонала [60].

При разработке средств защиты для электротехнического персонала от электрических и магнитных полей, среднесменной и суммарной среднесменной

энергетической нагрузки, суточной дозы потенциальной энергии облучения, удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП, необходимо учитывать технические характеристики и специфику работы электроустановок. Важно понимать, как вблизи электроустановок изменяются рассматриваемые параметры, для этого требуется разработка математических моделей энергетических характеристик ЭМП.

Впервые нами приведены категории вероятности повреждения здоровья персонала, которые определялись с учетом событий, отражающих влияние на персонал [60]:

- среднесменной энергетической нагрузки ЭМП ($F-Y$, Э), превышающей ПБУ,
- статистической вероятности ее воздействия $X(v)$ [63],
- индивидуальных антропометрических данных человека (его площадь) $X(s)$ [60],
- применения ($X_{6.2}$) или неприменения персоналом средств защиты от вредного воздействия суточной дозы потенциальной энергии облучения ($X_{6.1}$) [60].

Рассмотрим, как измерить степень зависимости исследуемых событий через коэффициенты регрессии. Коэффициенты регрессии отражают события, связанные с воздействием на персонал энергетических характеристик ЭМП переменного тока [61] относительно их параметров:

– дозы облучения D_{co} и суммарной энергетической нагрузки ЭМП [60]:

$$\rho(D_{co}, \text{Э}) = p(D_{co}/\text{Э}) - p(D_{co}/\overline{\text{Э}}) = \frac{p(\text{Э} \cdot D_{co}) - p(\text{Э})p(D_{co})}{p(\text{Э}) \cdot p(\overline{\text{Э}})}; \quad (2.48)$$

– дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП $D_{по}$ и суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП [60]:

$$\rho(D_{по}, D_{co}) = p(D_{по}/D_{co}) - p(D_{по}/\overline{D_{co}}) = \frac{p(D_{co} D_{по}) - p(D_{co})p(D_{по})}{p(D_{co}) \cdot p(\overline{D_{co}})}. \quad (2.49)$$

События $X(\mathcal{E})$ и $X(D_{CO})$ совместны так же, как $X(D_{ПО})$ и $X(D_{CO})$; вероятность их объединения равна сумме их вероятностей за вычетом вероятности их пересечения [60]. Степень, сила или теснота корреляционной связи определяется по величине коэффициента корреляции. Сила связи не зависит от ее направленности и определяется по абсолютному значению коэффициента корреляции. Максимально возможное абсолютное значение коэффициента корреляции равно 1, минимальное — 0. Классификация корреляционных связей по шкале Чеддока приведена в таблице 2.22.

Таблица 2.22

Классификация корреляционных связей

Сила или теснота корреляционной связи	Абсолютное значение коэффициента корреляции
Очень высокая	от 0,9 до 1,00;
Высокая	от 0,70 до 0,89;
Средняя	от 0,49 до 0,69;
Слабая	от 0,3 до 0,50;
Очень слабая	от 0 до 0,29;

Используя данные таблицы 2.22, через абсолютное значение коэффициента корреляции определяется взаимосвязь энергетических характеристик ЭМП. При абсолютном значении коэффициента корреляции от 0,7 и выше сила или теснота корреляционной связи будет высокой или очень высокой, что свидетельствует о наличии зависимости исследуемых событий.

Выводы по главе 2

Проведённое исследование подтверждает значимость комплексного подхода к анализу электромагнитных полей (ЭМП) и их влияния на электротехнический персонал. В рамках работы осуществлено определение среднесменной энергетической нагрузки ЭМП и обоснование применения

предельно безопасных уровней, что может служить базой для создания безопасных условий труда.

Разработка устройства для создания аддитивных электрических и магнитных полей позволила реализовать эксперименты по оценке их воздействия на биологические объекты. При исследованиях было установлено, что электрические и магнитные поля необходимо оценивать аддитивно. Нами показано, как можно оценивать аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на персонал через энергетические характеристики ЭМП.

Оценка напряжённости электрического и магнитного полей и исследование их проникающей способности внутрь биологических тел подчёркивают важность мониторинга ЭМП на рабочих местах.

Впервые нами предложены категории вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала по энергетическим характеристикам ЭМП и показано их определение.

Таким образом, полученные результаты обеспечивают формирование научной базы для дальнейших исследований в области безопасности труда с учётом влияния ЭМП на здоровье работников.

Далее рассмотрим, каким образом изменяются энергетические характеристики электромагнитных полей в электроподвижном составе (ЭПС).

Для этого мы проведём теоретические исследования, разработаем программу имитационного моделирования энергетических характеристик ЭМП, а на основе полученных данных построим уравнения регрессионных моделей (глава 3).

ГЛАВА 3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭМП В ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

Результаты предыдущих исследований (главы 1 и 2) доказывают необходимость разработки системы защиты электротехнического персонала. Для этого необходимо установить теоретические зависимости изменения параметров низкочастотного ЭМП от режимов работы электроустановок в электроподвижном составе относительно системы: контактная сеть – электровоз – производственная среда.

Впервые:

- определим функциональные зависимости изменения среднесменных энергетических нагрузок ЭМП в ЭПС и исследуем их (разд. 3.1);
- разработаем программу имитационного моделирования изменений энергетических характеристик ЭМП в кабине ЭПС (разд. 3.2);
- построим уравнения регрессионных моделей по энергетическим характеристикам ЭМП (разд. 3.3) [60].

3.1. Определение среднесменных энергетических нагрузок ЭМП в электроподвижном составе [60]

На Российских железных дорогах эксплуатируются электровозы различного типа, назначения и мощности. В сетях постоянного тока мощными грузовыми электровозами являются электровозы серии ВЛ11. В настоящее время их эксплуатируется около 500 единиц (в том числе и модернизированных) и 2ЭС10 «Гранит» (более 300 локомотивов) [60]. Электровоз ВЛ11 был

последовательно модернизирован до 2ЭС6, затем до 2ЭС10, который является наиболее современным благодаря применению асинхронного тягового привода, нового электрооборудования и современной системы управления.

Одним из самых распространенных на переменном токе является грузовой электровоз ВЛ80°. Всего было выпущено 2 746 экземпляров, из которых на ходу около 357 единиц [60]. Исследуем, как изменяются энергетические характеристики ЭМП в кабине и машинном отделении электровозов переменного тока. Классификация электровозов приведена на рисунке 3.1[60].

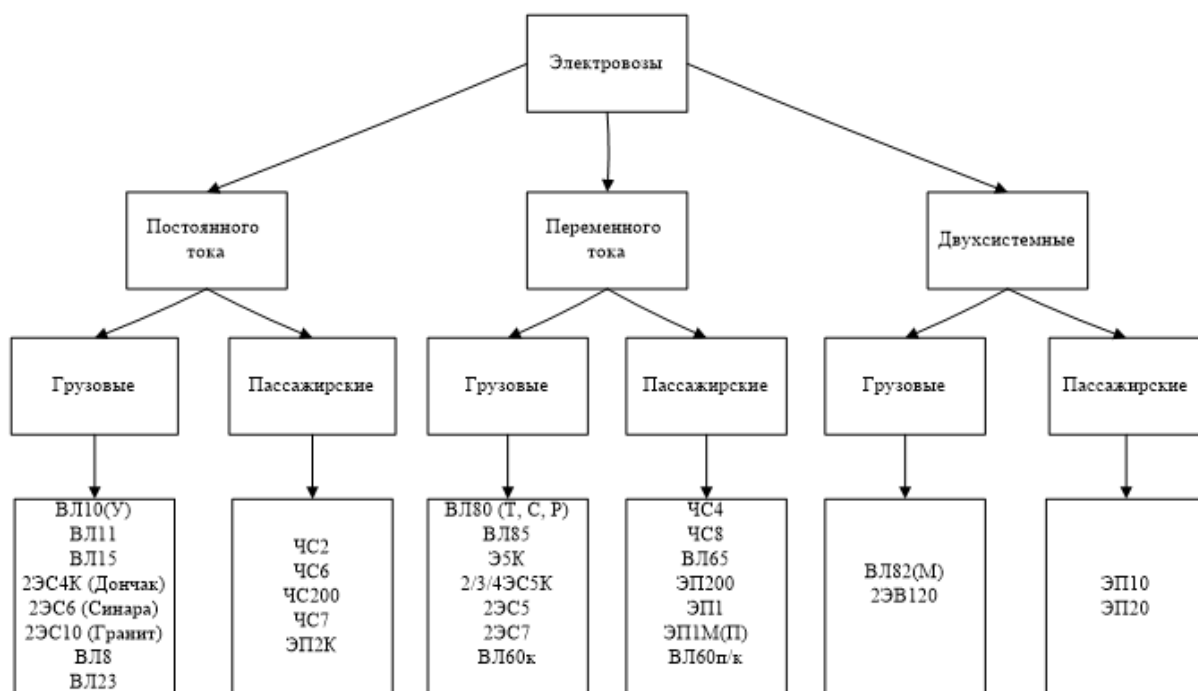


Рисунок 3.1 – Классификация магистральных электровозов

В общем виде функциональные зависимости F_1 , F_2 и F_3 , подлежащие исследованию по магнитной и электрической составляющим ЭМП на рабочих местах персонала, обслуживающего электроподвижной состав, можно представить в следующем виде [60]:

$$\mathcal{E} = F_1(E, H, K_s), H = F_2(I, r), E = F_3(U, r). \quad (3.1)$$

где: $\mathcal{E}$ – среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП (вектор Умова-Пойнтинга) электрооборудования тяговой сети, Вт/м²;

E – напряженность электрического поля, В/м;

H – напряженность магнитного поля, А/м;

I – ток, потребляемый электровозом, А;

U – напряжение на токоприемнике электровоза, В;

r – расстояние от электрооборудования до точки исследования, м;

$K_э$ – эффективность экранирования ЭМП [60].

Уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП (ВА/м²) вблизи контактной сети (КС) переменного тока можно определить по формуле [60]:

$$\mathcal{E}_{\text{кc}}(f) = \frac{E_{\text{кc}}(f) \cdot H_{\text{кc}}(f)}{2}, \quad (3.2)$$

где: $E_{\text{кc}}(f)$ – напряженность электрического поля КС, В/м;

$H_{\text{кc}}(f)$ – напряженность магнитного поля КС, А/м;

f – частота тока и напряжения контактной сети [60].

При этом рассматривается полный ток, учитывающий активную и реактивную составляющие.

Модуль абсолютной величины напряженности магнитного поля КС, в рассматриваемой области, может быть найден из векторной суммы модулей H_y и H_x :

$$H = \sqrt{H_y^2 + H_x^2}. \quad (3.3)$$

где H_x и H_y – это горизонтальная и вертикальная составляющая напряженности магнитного поля, А/м [60].

По формулам, предложенным в [17], определяется величина напряженности магнитного поля вблизи контактной сети переменного тока:

$$\dot{H}_x = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^N \dot{I}_i \frac{y - y_i}{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2};$$

$$\dot{H}_y = -\frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^N \dot{I}_i \frac{x - x_i}{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}.$$

где: I_i – величина тока контактной сети с высшими гармоническими составляющими, А;

x, y – координаты расчетной точки.

Модуль абсолютной величины напряженности электрического поля КС в рассматриваемой точке рассчитывается по формуле [60]:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}. \quad (3.4)$$

где E_x и E_y – это горизонтальная и вертикальная составляющие напряженности электрического поля, В/м.

В зависимости от системы электроснабжения КС переменного тока 25; 2х25; 50 кВ и рассматриваемого участка контактной сети, токораспределение имеет существенные различия, которые приведены в таблице 3.1 [60].

Таблица 3.1

Значения токов на отдельных участках контактной сети
при разных системах [47] тягового электроснабжения

Участок контактной сети [47]	Система электроснабжения контактной сети переменного тока [47]		
	25 кВ [47]	2х25 кВ [47]	50 кВ [47]
Напряжение [47]	25 кВ [47]	2х25 кВ [47]	50 кВ [47]
ТП-АТ1	I_3	$I_3/2$	$I_3/2$
АТ1-электровоз	I_3	$3/4 I_3$	$I_3/2$
Электровоз-АТ2	-	$1/4 I_3$	-

В таблице 3.1: ТП – тяговая подстанция, АТ1и АТ2 – автотрансформатор номер 1 и 2, I_3 – ток, потребляемый электровозом, А. Наибольшие токи в контактной сети наблюдаются при системе электроснабжения 25 кВ, в этом случае уровень магнитного поля будет максимальным [60].

Горизонтальная и вертикальная составляющие напряженности электрического поля, создаваемые системой из N проводов [17] определяются по формулам:

$$\dot{E}_y = -\frac{1}{\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \dot{\tau}_i \frac{y_i \left[(x-x_i)^2 - y^2 + y_i^2 \right]}{\left[(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 \right]}.$$

$$\dot{E}_x = \frac{2}{\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \dot{\tau}_i \frac{(x-x_i)^2 y y_i}{\left[(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 \right]}.$$

где τ_i – заряд провода i , приходящийся на единицу длины [17].

Спектр потребляемого тока электровоза, при любом его расположении, можно определить, разложив в ряд Фурье кривую сетевого тока. При этом амплитуда и начальная фаза k -й гармонической составляющей сетевого тока определяется по следующим формулам [2]:

$$I_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad \text{и} \quad \varphi_k = \arctg \frac{a_k^2}{b_k^2},$$

где a_k и b_k – косинусная и синусная составляющие гармоник [2].

Учитывая, что при симметричном режиме работы выпрямителя электроподвижного состава (ЭПС) кривая тока симметрична относительно оси абсцисс, то постоянная составляющая и все четные гармоники отсутствуют, а вычисление синусной и косинусной гармонических составляющих проводится на полупериоде рассматриваемой кривой [2].

Тогда для нечетных гармоник косинусная и синусная составляющие определяются из выражения [2]:

$$a_k = \frac{2}{\pi} \left\{ \int_{\frac{\gamma}{2}}^{\gamma} \left[\frac{I_d}{K_T} - \frac{U_m}{X_a} (1 - \cos \omega t) \right] \cos k \omega t d\omega + \int_{\gamma}^{\pi} \left(-\frac{I_d}{K_T} \right) \cos k \omega t d\omega + \right. \\ \left. + \int_{\pi}^{\pi + \gamma/2} \left(-\frac{I_d}{K_T} + \frac{U_m}{X_a} (1 + \cos \omega t) \right) \cos k \omega t d\omega \right\}, \quad (3.5)$$

$$b_k = \frac{2}{\pi} \left\{ \int_{\frac{\gamma}{2}}^{\gamma} \left[\frac{I_d}{K_T} - \frac{U_m}{X_a} (1 - \cos \omega t) \right] \sin k \omega t d\omega + \int_{\gamma}^{\pi} \left(-\frac{I_d}{K_T} \right) \sin k \omega t d\omega + \right. \\ \left. + \int_{\pi}^{\pi + \gamma/2} \left(-\frac{I_d}{K_T} + \frac{U_m}{X_a} (1 + \cos \omega t) \right) \sin k \omega t d\omega \right\}.$$

где: I_d – рабочий ток преобразователя, А;

K_T – коэффициент трансформации преобразовательного трансформатора;

U_m – амплитудное значение вентильного напряжения преобразовательного трансформатора электровоза, В;

X_a – анодное сопротивление [2].

Рассчитанный по вышеприведенной методике уровень спектра сетевого тока [2], потребляемого электровозом, расположенным в конце тягового плеча питания, представлен в таблице 3.2.

Спектр высших гармонических составляющих тока изменяется от 50 до 2050 Гц, но целесообразно вести расчет до 650 Гц, так как величина тока на 750 Гц будет менее 1 А. Соответственно, в электроподвижном составе можно пренебречь магнитными полями рассматриваемых гармоник от 850 Гц до 2050 Гц [2].

Таблица 3.2

Значения гармонических составляющих тока, потребляемого
электровозом в удаленном от тяговой подстанции конце
тягового плеча питания [47]

Частота гармоники, f	Величины гармоник тока I_k , А	
	Однопутный участок	Двухпутный участок
50	147	147
150	36,75	36,75
250	13,08	12,24
350	5,00	4,46
450	3,50	3,04
550	2,25	1,93
650	1,62	1,34

При расчете электрического поля контактной сети переменного тока важную роль играет спектр несинусоидального напряжения. Уровень отдельных гармоник в спектре несинусоидального напряжения (таблица 3.3) зависит от частотных характеристик сети тягового электроснабжения [47].

Таблица 3.3

Уровни отдельных гармоник
в спектре несинусоидального напряжения [47]

Номер гармоники	Частота гармоники	$U_{кс}(f)$, В
3	150	4250
5	250	2025
7	350	750
9	450	500
11	550	325
13	650	200

Поэтому на рабочих местах локомотивных бригад одновременно присутствуют электрические и магнитные поля со спектром высших гармонических составляющих [49], требующие оценки и контроля, что в настоящее время не осуществляется.

Магнитное поле при наличии электрического создает в пространстве энергетическую нагрузку ЭМП, часть которой попадает в кабину электровоза, а часть экранируется. При этом среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП в кабине электровоза определяется по формуле [60]:

$$\mathcal{E}_{\text{КС-ЭЛ}}(f) = \frac{\mathcal{E}_{\text{КС}}(f)}{K_H K_E}, \quad (3.6)$$

где: $\mathcal{E}_{\text{КС}}(f)$ – уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП (ВА/м²) вблизи контактной сети (КС) переменного тока;

K_H и K_E – эффективность экранирования магнитного и электрического полей [60].

В ЭПС источником энергетической нагрузки ЭМП является не только КС, но и оборудование, размещенное в машинном отделении электровоза. В пути следования персонал внимательно наблюдает за показаниями приборов, контролирующих бесперебойность и безопасность работы локомотива [60].

Помощник машиниста (электротехнический персонал) периодически проверяет работу оборудования, размещенного в машинном отделении электровоза, поэтому на него дополнительно действуют электрические и магнитные поля, энергетическая нагрузка ЭМП электрооборудования, размещенного в ВВК [60].

Электрооборудование, размещенное в машинном отделении электровозов, работает при разных токах и напряжениях, создается среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП [60].

Упрощенная схема расположения основных источников среднесменной энергетической нагрузки ЭМП [60] в электровозе представлена на рисунке 3.2.

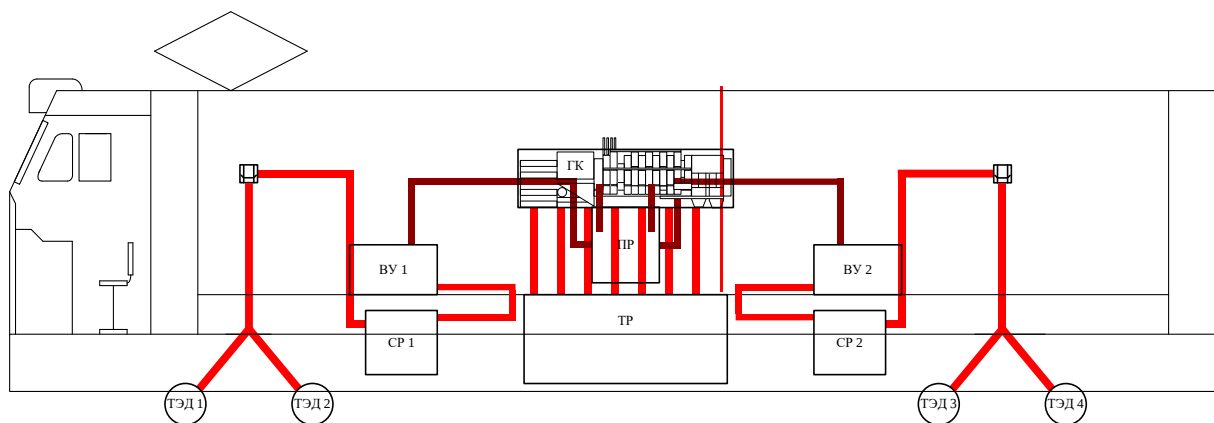


Рисунок 3.2 – Упрощенная схема расположения основных источников среднесменной энергетической нагрузки ЭМП в кузове электровоза ВЛ80^с [60]

К основным источникам электрических и магнитных полей, среднесменной энергетической нагрузки ЭМП переменного тока в электровозе относят [60]:

- тяговый трансформатор (ТР), над которым расположен переходной реактор (ПР);
- главный контроллер (ГК);
- выпрямительные установки ВУ1 (ВУ1.1 и ВУ1.2) и ВУ2 (ВУ2.1 и ВУ2.2);
- сглаживающие реакторы СР1 и СР2;

Также на рисунке приведены тяговые электродвигатели ТЭД 1...4, они являются источниками электромагнитных полей постоянного тока (в работе не рассматриваются) [43].

В качестве токоведущих частей, соединяющих между собой основные источники, применяют шины прямоугольного сечения 100×8 мм и 80×6 мм, на рис. 3.2 обозначены красными линиями [60].

Энергетическая нагрузка ЭМП в машинном отделении определяется суммой энергетических нагрузок ЭМП переменного тока от всех основных

источников ЭМП [60]:

$$\begin{aligned} \sum \mathcal{E}(f) = & \mathcal{E}_{\text{кв-эл}}(f) + \mathcal{E}_{\text{ВУ1.1}} + \mathcal{E}_{\text{ВУ1.2}} + \mathcal{E}_{\text{СП1}} + \mathcal{E}_{\text{ТР}} + \mathcal{E}_{\text{ГК}} + \mathcal{E}_{\text{ПР}} + \\ & + \mathcal{E}_{\text{ВУ2.1}} + \mathcal{E}_{\text{ВУ2.2}} + \mathcal{E}_{\text{СП2}} . \end{aligned} \quad (3.7)$$

При нахождении персонала в проходе машинного отделения электроподвижного состава формула для определения среднесменной энергетической нагрузки ЭМП примет вид [60]:

$$\mathcal{E}_{\text{м}}(f) = \frac{\sum \mathcal{E}(f)}{2 \cdot K_{\text{Н,м}} \cdot K_{\text{Е,м}}} . \quad (3.8)$$

где: $\sum \mathcal{E}(f)$ – суммарный уровень энергетической нагрузки ЭМП в машинном отделении (ВА/м²) переменного тока [60];

$K_{\text{Н,м}}$ и $K_{\text{Е,м}}$ – эффективность экранирования магнитного и электрического полей сплошными и сетчатыми перегородками высоковольтной камеры [60].

Среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП во время движения электровоза переменного тока ВЛ80^с постоянно изменяется и зависит от токовых характеристик ЭПС и внешней характеристики преобразовательной установки [60].

«Рассмотрим скоростные и электротяговые характеристики тяговых электродвигателей электроподвижного состава переменного тока. Токовые характеристики тягового электродвигателя НБ–418 К при работе на электровозах ВЛ80^с для ходовых позиций приведены на рисунке 3.3.

При системе переменного тока необходимо знать не только полный ток I_d , потребляемый электровозом, по которому определяют нагрузки в обмотках тягового трансформатора электроподвижного состава и систему электроснабжения, но и его активную составляющую I_{da} .

Токовая характеристика, показывающая зависимость действующего значения тока, протекающего по первичным обмоткам трансформатора электроподвижного состава I_d от скорости V , может быть построена на основании токовой характеристики $I_d(V)$ с учетом параметров преобразовательной установки» [113].

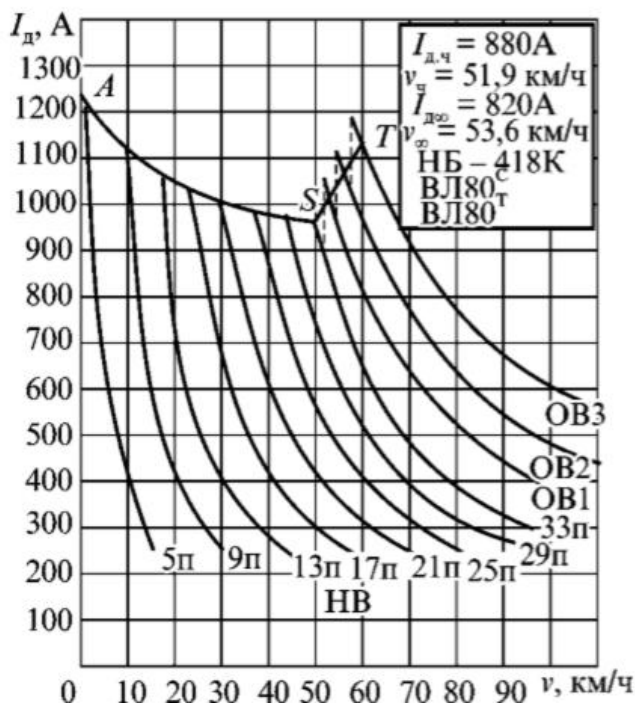


Рисунок 3.3 – Токовые характеристики тягового электродвигателя
НБ–418 К электровозов ВЛ80^с

«Действующее значение тока в первичной обмотке трансформатора I_1 без учета расхода электроэнергии на собственные нужды при мостовой схеме выпрямления определяется по формуле:

$$I_1 = \frac{I_2}{k_T},$$

где: I_2 – действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора, А;
 k_T – коэффициент трансформации.

Полный ток электроподвижного состава, состоящего из n_T одинаковых секций, на каждой из которых есть преобразовательная установка» [113]:

$$I_d = I_1 n_T.$$

«При мостовой схеме выпрямления ток определяется как:

$$I_2 = I_\phi K_{\text{эф}} \quad , \quad I_d = \frac{n_T k_{\text{эф}} I_\phi}{k_T} \quad ,$$

где $k_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности переменного тока.

Выпрямленный ток равен:

$$I_\phi = I_\phi a \quad ,$$

где a – число параллельных цепей тяговых электродвигателей, подключенных к выпрямителю» [113].

«Степень сглаживания пульсирующего тока оценивают коэффициентом относительной пульсации $K_{\text{по}}$, равным отношению пульсаций тока к постоянной составляющей выпрямленного тока. При пульсации тока в пределах до $0,25 I_\phi$ коэффициент $K_{\text{по}}$ равен 0,5.

Коэффициент трансформации равен:

$$k_T = 0,9 \frac{U_c}{U_{\text{BO}}} \quad ,$$

Тогда полный ток можно определить по формуле:

$$I_d = \frac{an_T U_{\text{BO}}}{0,9 U_c} k_{\text{эф}} I_\phi \quad .$$

Значения a и n_T принимают на основании схем соединения электродвигателей и числа трансформаторов на электроподвижном составе, U_{BO} , берут из внешней характеристики преобразователя на данной ступени регулирования, U_c – номинальное напряжение на токоприемнике принимают равным 25000 В; $k_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности переменного тока принимается равным 0,97» [113].

«Активный ток можно определить по следующей формуле [108]:

$$I_{da} = I_d \chi \quad ,$$

где χ – коэффициент мощности электроподвижного состава, определяемый по формуле [108]:

$$\chi = 0,9 \frac{U_{BO} - (R'_э - aR_{об}) I_d}{U_{BO} k_{эф}},$$

где: U_{BO} – выпрямленное напряжение при холостом ходе ($I_d=0$), В;

$R_{об}$ – общее активное сопротивление преобразовательной установки, приведенное к вторичной обмотке тягового трансформатора, Ом;

$k_{эф}$ – коэффициент эффективности переменного тока принимается равным 0,97;

a – число параллельных цепей тяговых электродвигателей, подключенных к выпрямителю;

$R'_э$ – эквивалентного сопротивления преобразовательной установки приведенное к току одного тягового электродвигателя, Ом.

I_d – ток, протекающий в тяговых электродвигателях, А» [108].

«На рисунке 3.4 показаны характеристики I_d (А) электропоездов ВЛ80^С [122] с тяговым двигателем НБ–418К.

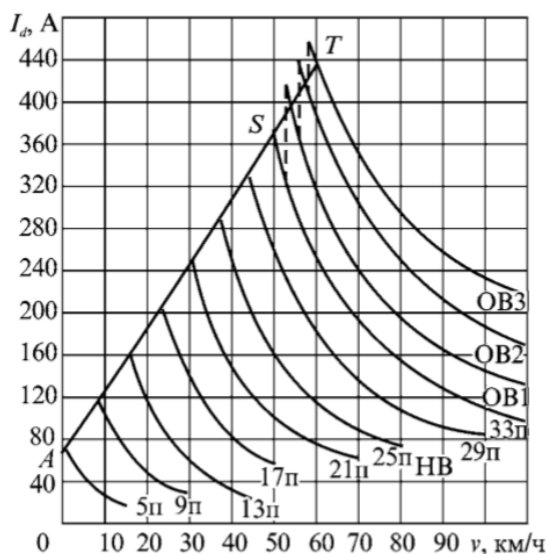


Рисунок 3.4 – Токовые характеристики I_d (А) электропоездов ВЛ80^С

Как видно из графика на рисунке 3.4, ток возрастает с увеличением скорости. С увеличением тока I_d коэффициент мощности уменьшается. Для электроподвижного состава со статическим преобразователем коэффициент мощности χ равен 0,78–0,9 (рисунок 3.5)» [122].

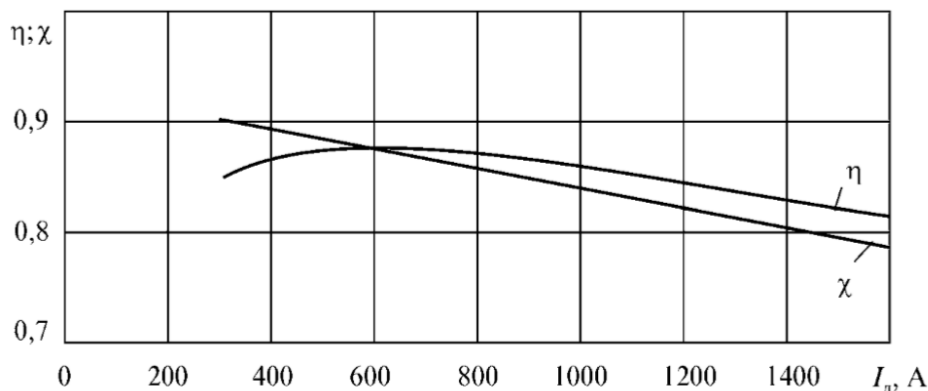


Рисунок 3.5 – Коэффициент мощности электроподвижного состава

«Ток I_{da} можно рассчитать непосредственно по току электродвигателя I_d [108]:

$$I_d = \frac{an_T U_{B0}}{0,9 U_c} k_{эф} I_d. \quad (3.9)$$

Токовые характеристики активного тока электровозов ВЛ80^с с тяговым двигателем НБ–418К приведены на рисунке 3.6.

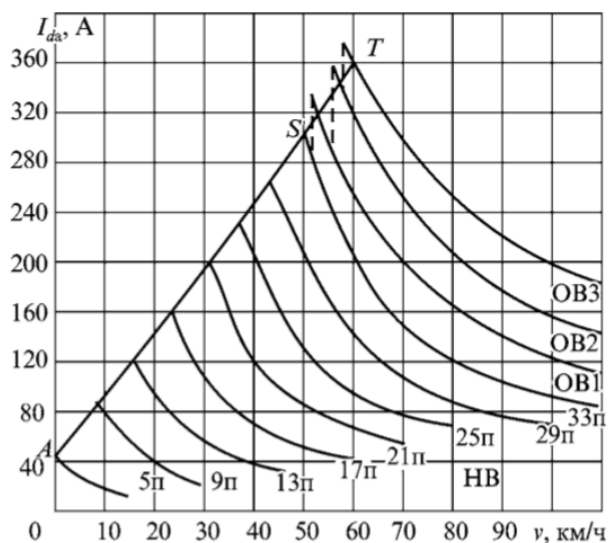


Рисунок 3.6 – Токовые характеристики активного тока электровозов ВЛ80^с

Параметры переходов на ослабление возбуждения (ОВ) для электровоза ВЛ80^С приведены в таблице 3.4» [108].

Таблица 3.4

«Параметры переходов на ОВ для электровоза ВЛ80^С» [108]

переход	v , км/ч	F_k , кН	I_d , А	I_d , А	I_{da} , А
НВ–ОВ1	51,5	451,3–525,8	810–1060	344–424	284–332
ОВ1–ОВ2	54,5	457,1–514,0	860–1120	373–440	302–360
ОВ2–ОВ3	58,0	461,1–500,3	1075–1130	400–460	330–370

«Напряжение на преобразовательной установке изменяется в зависимости от тока нагрузки. С увеличением тока тягового электродвигателя, следовательно, и выпрямленного тока, выпрямленное напряжение уменьшается. Это происходит вследствие увеличения периода коммутации тока в вентильях выпрямителя, увеличивая падение напряжения в обмотках трансформатора и сглаживающего реактора, а также в вентильях» [108].

«Среднее значение напряжения на тяговых электродвигателях или выпрямленное напряжение определяется:

$$U_{\varepsilon} = U_{\varepsilon 0} - \left(\lambda \frac{2}{\pi} \chi + R_{\text{об}} \right) I_{\varepsilon} - \Delta U_{\text{вент}} .$$

где: $U_{\varepsilon 0}$ – выпрямленное напряжение при холостом ходе ($I_{\varepsilon}=0$), В;

λ – коэффициент, учитывающий влияние пульсации выпрямленного тока на падение напряжения в реактивном сопротивлении трансформатора (при $k_{\text{по}}=0,5$ коэффициент $\lambda=1,1$);

X – индуктивное сопротивление обмоток трансформатора, Ом;

$R_{\text{об}}$ – общее активное сопротивление преобразовательной установки, приведенное к вторичной обмотке тягового трансформатора, Ом;

$\Delta U_{\text{вент}}$ – падение напряжения в вентильях, В» [108].

«Выпрямленное напряжение [108] при холостом ходе:

$$U_{\varepsilon 0} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0,9 U_2 ,$$

где U_2 – действующее значение напряжения на вторичной обмотке тягового трансформатора, В.

Индуктивное сопротивление X обмоток трансформатора зависит от индуктивной составляющей напряжения короткого замыкания $U_{\text{хн}}$, выражаемой в процентах от номинального напряжения трансформатора, обычно $U_{\text{хн}}$ составляет 10–14 %» [108].

«Индуктивное сопротивление, Ом:

$$X = \frac{U_{\text{хн}} U_2}{100 I_{\text{вн}}} ,$$

где $I_{\text{вн}}$ – номинальный выпрямленный ток, равный номинальному току тягового электродвигателя, умноженному на число параллельно соединенных двигателей.

Общее активное сопротивление преобразовательной установки при мостовой схеме выпрямления имеет вид:

$$R_{\text{об}} = k_u \left(\frac{R_1}{k_T^2} \chi + R_2 \right) k_{\text{эф}}^2 + R_{\text{ср}} k_{\text{эф}}^2 ,$$

где : R_1, R_2 – активные сопротивления соответственно первичной и вторичной обмоток трансформатора, Ом;

k_T – коэффициент трансформации тягового трансформатора;

$R_{\text{ср}}$ – активное сопротивление сглаживающего реактора, Ом;

k_u – коэффициент, учитывающий, что в период коммутации активное падение напряжения не действует в цепи выпрямленного тока и его составляющая не входит в сумму падения выпрямленного напряжения, в практических расчетах принимают $k_u=0,7$ » [108];

« $k_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности выпрямленного тока, равный отношению эффективного (действующего) значения выпрямленного тока [108] к его среднему значению:

$$k_{\text{эф}} = \frac{I_{\text{эф}}}{I_{\text{с}}} ,$$

Этот коэффициент зависит от степени сглаживания выпрямленного тока:

$$k_{\text{эф}} = \sqrt{1 + 0,13k_{\text{по}}^2} ; \quad \text{при } k_{\text{по}}=0,5, k_{\text{в эф}}^2 = 1,04;$$

где $k_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности переменного тока, определяемый отношением эффективного значения тока вторичной обмотки трансформатора к выпрямленному току:

$$k_{\text{эф}} = \frac{I_2}{I_{\text{с}}},$$

Коэффициент эффективности переменного тока зависит от коэффициента относительной пульсации:

$$k_{\text{эф}} = 0,88 + 0,18k_{\text{по}},$$

При $k_{\text{по}}=0,5$, $k_{\text{эф}}^2 = 0,94$. Падение напряжения $\Delta U_{\text{вент}}$ на одном силовом полупроводниковом кремниевом вентиле составляет при номинальных нагрузках тяговых электродвигателей 0,9–1 В» [108].

«В связи с тем, что падение напряжения групп последовательно включенных вентилях по сравнению с номинальным напряжением на тяговых электродвигателях незначительно, в расчетах можно пренебречь. С учетом эквивалентного сопротивления преобразовательной установки выражение для выпрямленного напряжения будет иметь вид» [108]:

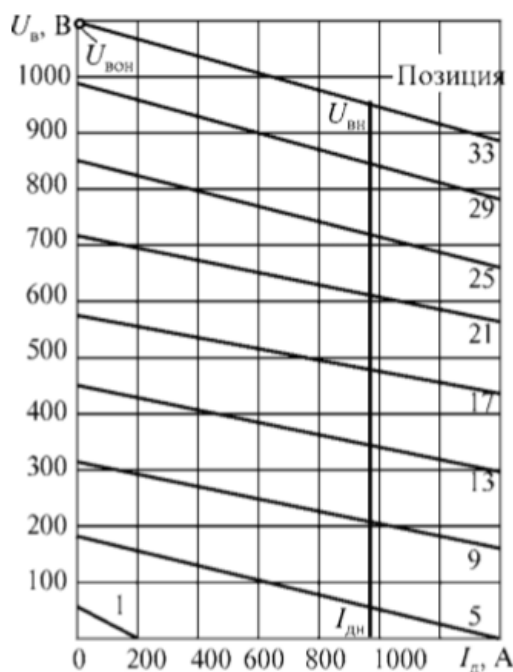
$$U_{\text{с}} = U_{\text{с0}} - R_{\text{э}} I_{\text{с}} - \Delta U_{\text{вент}}, \quad R_{\text{э}} = \lambda \frac{2}{\pi} \chi + R_{\text{об}}$$

«При переводе эквивалентного сопротивления преобразовательной установки $R_{\text{э}}$ к току одного тягового электродвигателя, Ом.

$R'_{\text{э}} = aR_{\text{э}}$, тогда выпрямленное напряжение:

$$U_{\text{с}} = U_{\text{с0}} - R'_{\text{э}} I_{\text{с}} - \Delta U_{\text{вент}}.$$

Зависимость выпрямленного напряжения от тока электродвигателя на каждой ступени регулирования при номинальном напряжении контактной сети называют внешней характеристикой преобразовательной установки (рисунок 3.7)» [108].



«Рисунок 3.7 – Внешние характеристики» [108] преобразовательной установки электровоза ВЛ80^С

«Внешняя характеристика преобразовательной установки при неизменной величине R_z или R'_z является прямой линией. Угол ее наклона зависит от эквивалентного сопротивления, на которое наибольшее влияние оказывает индуктивное сопротивление X обмоток тягового трансформатора. В связи с тем, что при регулировании выпрямленного напряжения изменением числа включенных витков обмоток трансформатора величина R_z или R'_z изменяется, углы наклона внешних характеристик, соответствующие разным ступеням регулирования напряжения, также изменяются» [113].

Рассмотрев технические характеристики электрооборудования, расположенного в высоковольтной камере, можно сделать вывод, что «уровни электрических и магнитных полей в машинном отделении ЭПС зависят от:

- токовой характеристики ЭПС,
- внешней характеристики преобразовательной установки,
- защитных сеток или сплошных перегородок.

А уровни энергетических характеристик ЭМП определяются, в основном, величиной тока и напряжения» [60], которые, в свою очередь, увеличиваются или уменьшаются относительно режимов движения локомотива (разных позиций контроллера и ступеней ослабления магнитного поля двигателя), скорости движения, его массы, профиля участка пути [108]), конструкции защитных экранов и расстояния от источника до персонала.

Расчет энергетических характеристик ЭМП в ЭПС трудоемок, поэтому для исследования как они изменяется в ЭПС – разработана программа для ЭВМ (разд. 3.2), включающая математические модели. С помощью полученных данных можно определить закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП в ЭПС.

3.2. Моделирование энергетических характеристик ЭМП в кабине электроподвижного состава

Для построения регрессионных моделей необходимы сведения о том, как изменяются уровни энергетических характеристик ЭМП в кабине ЭПС.

Впервые предлагается использовать разработанную нами программу моделирования энергетических характеристик ЭМП в кабине ЭПС, на которую получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (Приложение М). Программа написана на языке Python и включает структуру, приведенную на рисунке 3.8.

Вводимые данные по допустимым токам в КС и величине зигзага контактного провода должны соответствовать величинам, указанным в распоряжении ОАО «РЖД» от 18.08.2021 №1812/р «О совершенствовании системы содержания объектов энергетического комплекса».

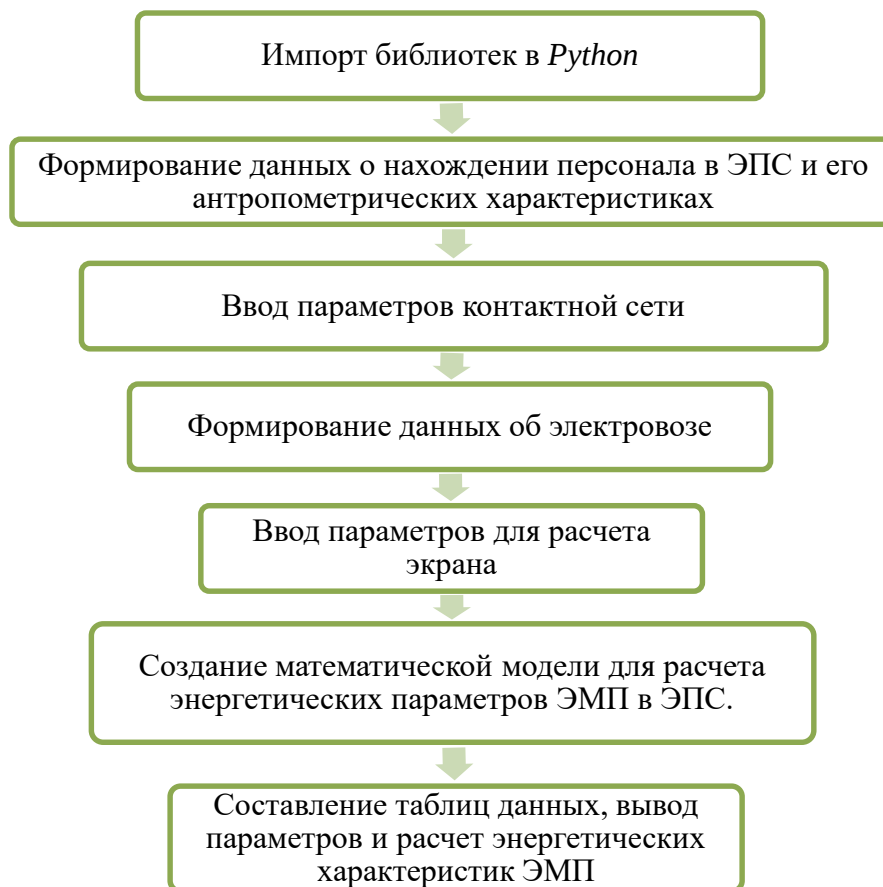


Рисунок 3.8 – Структурная схема программы для исследования изменения энергетических характеристик ЭМП в ЭПС

Допустимый длительный ток (переменный), протекающий по контактному проводу (МФ – 100), не должен превышать 600 А; при его износе на 15 % – 470 А, а при 30 % – 390 А; по несущему тросу (ПБСМ-95) – 410 А, по усиливающему проводу (АС-185) – 590 А. Величина зигзага контактного провода (от ± 100 до ± 400 мм) выбирается в зависимости от радиуса кривой и длины пролета.

Математическая модель для расчета энергетических характеристик ЭМП в ЭПС разработана нами для одно-, двух- и трехпутных линий. Используются следующие схемы линий: контактный провод, несущий трос и два рельса; контактный провод, несущий трос, два рельса и усиливающий провод; контактный провод, несущий трос, два рельса, усиливающий и экранирующий провода. Учет зигзага контактного провода (КП) производится до ± 400 мм.

Программа моделирования энергетических характеристик ЭМП
в кабине ЭПС включает:

1. Импорт библиотек в *Python*:

```
from math import log, pi, atan, exp, sin
import pprint
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from shapely.geometry import Polygon, LineString, Point
```

2. Формирование данных о нахождении персонала в ЭПС и его антропометрических характеристиках:

```
x_chel = # расположение работника по оси x, м
y_chel = # расположение работника по оси y, м
floor = # расстояние от земли до пола кабины, м
gr_floor = # расстояние от земли до низа кузова электровоза, м
z_chair = floor + 1.2 # расположение кресла машиниста в электровозе, м
z_chel = floor + 1.5 # расположение работника по оси z, м
a = # рост работника, см
b = # масса работника, кг
ti = # длительность пребывания работника на рабочем месте, ч.
z_graph = z_chel # высота среза
```

3. Ввод параметров контактной сети для однопутного участка:

```
# первый путь
I1 = # величина тока в контактной сети, А
U1 = # напряжение в контактной сети, В
# распределение тока по проводам
part_kp = # величина тока в контактном проводе (КП), А
part_nt = # величина тока в несущем тросе (НТ), А
part_up = # величина тока в усиливающем проводе (УП), А
part_ep = # ток в экранирующем проводе (ЭП), А
xp = # половина расстояния между рельсами, м
xp_kp = # расстояние от оси пути до КП, м
```

```

хр_нт = # расстояние от оси пути до НТ, м
хр_ур = # расстояние от оси пути до УП, мм
хр_ер = # расстояние от оси пути до ЭП, мм
d_кр = # эквивалентный диаметр КП, мм
d_нт = # эквивалентный несущего троса НТ, мм
d_ур = # эквивалентный диаметр УП, мм
d_ер = # эквивалентный диаметр ЭП, мм
h_кр = # высота подвеса КП, м
h_нт = # высота подвеса НТ, м
h_ур = # высота подвеса УП, м
h_ер = # высота подвеса ЭП, м
хр_mid = # расстояние между центрами путей, м
dis = # дискретизация графиков
# указываем спектр сетевого тока и напряжения, потребляемого электровозом:
harm = {50: [1, 1],
        150: [ , ],
        250: [ , ],
        350: [ , ],
        450: [ , ],
        550: [ , ],
        650: [ , ],
        750: [ , ]}
# напряженность магнитного поля - для точки пространства (x, z) и частоты (f).
def magnetic_calc(x_m, z_m, f_m):
# величина тока со спектром высших гармонических составляющих
I_h = I · harm.get(f_m)[0]

```

Для двухпутного или трехпутного участка добавляются токи, напряжения и расположение проводов КС:

```

# второй путь
I2 = # величина тока в контактной сети второго пути, А
U2 = # напряжение в контактной сети второго пути, В
хр_mid12 = # расстояние между осями первого и второго путей, м

```

```

хр_кр2 = # m - расстояние от оси пути до КП2, м
хр_нт2 = # m - расстояние от оси пути до НТ2, м
хр_ур2 = # m - расстояние от оси пути до УП2, м
хр_ер2 = # m - расстояние от оси пути до ЭП2, м
# третий путь
I3 = # величина тока в контактной сети третьего пути, А
U3 = # напряжение в контактной сети третьего пути, В
хр_mid23 = 4.2 # расстояние между осями второго и третьего путей, м
хр_mid13 = хр_mid12 + хр_mid23
хр_кр3 = # расстояние от оси пути до КП3, м
хр_нт3 = # расстояние от оси пути до НТ3, м
хр_ур3 = # расстояние от оси пути до УП3, м
хр_ер3 = # расстояние от оси пути до ЭП3, м

```

4. Формирование данных об электровозе:

```

length = # длина кабины, м
all_length = # длина всего локомотива, м
width = # ширина кабины, м
height = # высота кабины, м
# записываем как: min_x, max_x, min_y, max_y, min_z, max_z
bor = [0.2, 0.6, -1.2, 1.2, floor+1.5, floor+2.2] # узлы для (переднего) лобового окна
# записываем как: min_x, max_x, min_z, max_z
sbor = [0.3, 1, floor+1.5, floor+2.2] # узлы для бокового окна
# формируем передние окна методом Polygon - [(угол хуz), (угол хуz), ...]
составляем список из координат точек по x, y, z каждого угла.
frontWindleft = Polygon([(bor[0], bor[2], bor[4]),
                        (bor[1], bor[2], bor[5]),
                        (bor[1], -0.22, bor[5]),
                        (bor[0], -0.22, bor[4])])
frontWindright = Polygon([(bor[0], 0.22, bor[4]),
                        (bor[1], 0.22, bor[5]),
                        (bor[1], bor[3], bor[5]),
                        (bor[0], bor[3], bor[4])])
# вычисляем границы попадания электромагнитных полей через боковые стекла, от

```

каждого рассматриваемого провода, в кабину ЭПС:

```
min_nt = Point(0.5*width, sbor[3]).distance(Point(xp_nt, h_nt))
max_nt = Point(0.5*width, sbor[2]).distance(Point(xp_nt, h_nt))
min_kp = Point(0.5*width, sbor[3]).distance(Point(xp_kp, h_kp))
max_kp = Point(0.5*width, sbor[2]).distance(Point(xp_kp, h_kp))
min_up_l = Point(-0.5 * width, sbor[3]).distance(Point(xp_up, h_up))
max_up_l = Point(-0.5 * width, sbor[2]).distance(Point(xp_up, h_up))
min_up_r = Point(0.5 * width, sbor[3]).distance(Point(xp_up, h_up))
max_up_r = Point(0.5 * width, sbor[2]).distance(Point(xp_up, h_up))
min_ep_l = Point(-0.5*width, sbor[3]).distance(Point(xp_ep, h_ep))
max_ep_l = Point(-0.5*width, sbor[2]).distance(Point(xp_ep, h_ep))
min_ep_r = Point(0.5*width, sbor[3]).distance(Point(xp_ep, h_ep))
max_ep_r = Point(0.5*width, sbor[2]).distance(Point(xp_ep, h_ep))
```

При двухпутном участке аналогично прописываем:

```
min_nt2_l, max_nt2_l, min_nt2_r, max_nt2_r, min_kp2_l, max_kp2_l, min_kp2_r, max_kp2_r,
min_up2_l, max_up2_l, min_up2_r, max_up2_r, min_ep2_l, max_ep2_l, min_ep2_r, max_ep2_r, a
трехпутном: min_nt3_l, max_nt3_l, min_nt3_r, max_nt3_r, min_kp3_l, max_kp3_l, min_kp3_r,
max_kp3_r, min_up3_l, max_up3_l, min_up3_r, max_up3_r, min_ep3_l, max_ep3_l, min_ep3_r,
max_ep3_r.
```

5. Ввод параметров для экрана:

```
# экран - стекло, определяем d для подсчёта энергии преломлённой волны
# диэлектрическая проницаемость
e1 =
e2 =
# магнитная проницаемость среды
mu1 =
mu2 =
# показатели преломления среды
n1 = (e1*mu1) ** 0.5
n2 = (e2*mu2) ** 0.5
k_glass = ((n1-n2)/(n1+n2)) ** 2
```

```

d_glass = 1 - k_glass
# угол между электрическим и магнитным полем
alpha =
# экран - сталь
dst = # толщина стали, м
sigma = # удельная проводимость стали, Ом/м
v_kab = # объём кабины, м
r_kab = (v_kab * 3 / (4 * pi)) ** (1 / 3) # эквивалентный радиус кабины, м
kh = (1 + 1000 * dst / (2 * r_kab)) ** 2 # коэффициент экранирования переменного магнитного
поля

```

Для машиниста (помощника машиниста) кузов электровоза можно считать экраном от электромагнитных полей контактной сети. Рассмотрен случай, когда первая среда — воздух, а вторая — металл (сталь). Металлы по сравнению с проводящими диэлектриками имеют большую проводимость, и при условии идеальной проводимости второй среды преломленной волны не будет, а вся волна отразится с изменением знака. Мы получаем практически полное отражение от металлической поверхности, как от зеркала, и в первой среде при наложении падающей и отраженной волн получится стоячая волна. У поверхности отражения будут находиться узел электрического поля и пучность магнитного поля. Стоячие волны электрического и магнитного полей будут сдвинуты на четверть волны. Особенностью стоячей электромагнитной волны является обращение среднесменной энергетической нагрузки ЭМП (энергии) в нуль на стенках металла; энергия не переходит через её узлы.

При распространении электромагнитной волны в однородной среде и столкновении со средой с отличающимися электрическими свойствами часть энергии поля отразится, а оставшаяся часть продолжит распространение в прежнем направлении. Зная амплитуды падающей, отраженной и преломленной волн, можно определить распределение среднесменной энергетической нагрузки ЭМП.

6. Расчёт напряженности магнитного поля от правого и левого рельса для каждого провода:

```
# расчёт напряженности магнитного поля из составляющих x и y
def mix(h_x, h_zz):
    return (h_x ** 2 + h_zz ** 2) ** 0.5

# расчет магнитного поля гармоники f для заданной координаты x и z
def magnetic_calc(x_m, z_m, f_m):
    # общая величина тока с высшими гармоническими составляющими
    I_h = I * harm.get(f_m)[0]

    # сила тока по проводам
    I_kp = part_kp * I_h
    I_nt = part_nt * I_h
    I_up = part_up * I_h
    I_ep = part_ep * I_h

    # расчёт x и z составляющих магнитного поля от правого рельса для КП
    x = x_m - xp_kp
    h1xkp = I_kp / (4 * pi) * (
        -z_m / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) + (z_m - h_kp) / (x ** 2 + (h_kp - z_m) ** 2))
    h1zkp = I_kp / (4 * pi) * (x + xp) * (
        1 / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) - 1 / (x ** 2 + (h_kp - z_m) ** 2))

    # расчёт x и z составляющих магнитного поля от левого рельса для КП
    x = x_m - 2 * xp - xp_kp
    h2xkp = I_kp / (4 * pi) * (
        -z_m / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) + (z_m - h_kp) / ((x + 2 * xp) ** 2 + (h_kp - z_m) ** 2))
    h2zkp = I_kp / (4 * pi) * (x + xp) * (
        1 / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) - 1 / ((x + 2 * xp) ** 2 + (h_kp - z_m) ** 2))

    # расчёт x и z составляющих магнитного поля от правого рельса для НТ
    x = x_m - xp_nt
    h1xnt = I_nt / (4 * pi) * (
        -z_m / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) + (z_m - h_nt) / (x ** 2 + (h_nt - z_m) ** 2))
    h1znt = I_nt / (4 * pi) * (x + xp) * (
        1 / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) - 1 / (x ** 2 + (h_nt - z_m) ** 2))

    # расчёт x и z составляющих магнитного поля от левого рельса для НТ
    x = x_m - 2 * xp - xp_nt
```

```

h2xnt = Int / (4 * pi) * (
    -z_m / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) + (z_m - h_nt) / ((x + 2 * xp) ** 2 + (h_nt - z_m) ** 2))
h2znt = Int / (4 * pi) * (x + xp) * (
    1 / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) - 1 / ((x + 2 * xp) ** 2 + (h_nt - z_m) ** 2))
# далее прописываем аналогично для остальных проводов УП, ЭП.

```

Для двухпутного участка добавляем второй путь:

```

I_h = I2 * harm.get(f_m)[0]

Ikp = part_kp * I_h
Int = part_nt * I_h
Iup = part_up * I_h
Iep = part_ep * I_h

# КП2
x = x_m - (xp_kp2 + xp_mid12)
h1xkp_2 = Ikp / (4 * pi) * (
    -z_m / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) + (z_m - h_kp) / (x ** 2 + (h_kp - z_m) ** 2))
h1zkp_2 = Ikp / (4 * pi) * (x + xp) * (
    1 / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) - 1 / (x ** 2 + (h_kp - z_m) ** 2))
x = x_m - 2 * xp - (xp_kp2 + xp_mid12)
h2xkp_2 = Ikp / (4 * pi) * (
    -z_m / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) + (z_m - h_kp) / ((x + 2 * xp) ** 2 + (h_kp - z_m) ** 2))
h2zkp_2 = Ikp / (4 * pi) * (x + xp) * (
    1 / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) - 1 / ((x + 2 * xp) ** 2 + (h_kp - z_m) ** 2))

# HT2
x = x_m - (xp_nt2 + xp_mid12)
h1xnt_2 = Int / (4 * pi) * (
    -z_m / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) + (z_m - h_nt) / (x ** 2 + (h_nt - z_m) ** 2))
h1znt_2 = Int / (4 * pi) * (x + xp) * (
    1 / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) - 1 / (x ** 2 + (h_nt - z_m) ** 2))

x = x_m - 2 * xp - (xp_nt2 + xp_mid12)

```

```

h2xnt_2 = Int / (4 * pi) * (
    -z_m / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) + (z_m - h_nt) / ((x + 2 * xp) ** 2 + (h_nt - z_m) ** 2))
h2znt_2 = Int / (4 * pi) * (x + xp) * (
    1 / ((x + xp) ** 2 + z_m ** 2) - 1 / ((x + 2 * xp) ** 2 + (h_nt - z_m) ** 2))
# далее прописываем для остальных проводов УП2, ЭП2.

```

Для трехпутного участка добавляем третий путь к первому и второму. В целом для трехпутного участка уровень напряженности магнитного поля может быть определен следующим образом:

```

# Определяем сумму всех магнитных полей по оси x
hx1 = sum([h1xkp, h2xkp, h1xnt, h2xnt, h1xup, h2xup, h1xep, h2xep])
hx2 = sum([h1xkp_2, h2xkp_2, h1xnt_2, h2xnt_2, h1xup_2, h2xup_2, h1xep_2, h2xep_2])
hx3 = sum([h1xkp_3, h2xkp_3, h1xnt_3, h2xnt_3, h1xup_3, h2xup_3, h1xep_3, h2xep_3])
# Определяем сумму всех магнитных полей по оси z
hz1 = sum([h1zkp, h2zkp, h1znt, h2znt, h1zup, h2zup, h1zep, h2zep])
hz2 = sum([h1zkp_2, h2zkp_2, h1znt_2, h2znt_2, h1zup_2, h2zup_2, h1zep_2, h2zep_2])
hz3 = sum([h1zkp_3, h2zkp_3, h1znt_3, h2znt_3, h1zup_3, h2zup_3, h1zep_3, h2zep_3])
# Итоговое магнитное поле рассчитывается следующим образом:
h1 = mix(hx1, hz1)
h2 = mix(hx2, hz2)
h3 = mix(hx3, hz3)
# результат - значение магнитного поля в этой точке для выбранной гармоники f
return [h1, h2, h3]

```

10. Определение электрических полей в кабине ЭПС при трехпутном участке КС:

```

# первый путь
# расчёт электрического поля для гармоники f в точке x, z
def electric_calc(x_e, z_e, f_e):
    U_h = U1 * harm.get(f_e)[1]
    a = x_e - xp_kp
    ekpx = U_h * a / log(2 * h_kp / d_kp) * (1 / ((h_kp - z_e) ** 2 + a ** 2) - 1 / ((h_kp + z_e) ** 2 + a ** 2))

```

```

ekpz = U_h / log(2 * h_kp / d_kp) * ((h_kp - z_e) / ((h_kp - z_e) ** 2 + a ** 2) + ((h_kp + z_e)) /
((h_kp + z_e) ** 2 + a ** 2))
a = x_e - xp_nt
entx = U_h * a / log(2 * h_nt / d_nt) * (1 / ((h_nt - z_e) ** 2 + a ** 2) - 1 / ((h_nt + z_e) ** 2 + a
** 2))
entz = U_h / log(2 * h_nt / d_nt) * ((h_nt - z_e) / ((h_nt - z_e) ** 2 + a ** 2) + ((h_nt + z_e)) /
((h_nt + z_e) ** 2 + a ** 2))
a = x_e - xp_up
# далее прописываем для УП и ЭП проводов.
# второй путь
U_h = U2 * harm.get(f_e)[1]
a = x_e - xp_kp2 - xp_mid12
ekpx2 = U_h * a / log(2 * h_kp / d_kp) * (1 / ((h_kp - z_e) ** 2 + a ** 2) - 1 / ((h_kp + z_e) ** 2
+ a ** 2))
ekpz2 = U_h / log(2 * h_kp / d_kp) * ((h_kp - z_e) / ((h_kp - z_e) ** 2 + a ** 2) + ((h_kp + z_e))
/ ((h_kp + z_e) ** 2 + a ** 2))
a = x_e - xp_nt2 - xp_mid12
entx2 = U_h * a / log(2 * h_nt / d_nt) * (1 / ((h_nt - z_e) ** 2 + a ** 2) - 1 / ((h_nt + z_e) ** 2 + a
** 2))
entz2 = U_h / log(2 * h_nt / d_nt) * ((h_nt - z_e) / ((h_nt - z_e) ** 2 + a ** 2) + ((h_nt + z_e)) /
((h_nt + z_e) ** 2 + a ** 2))
a = x_e - xp_up2 - xp_mid12
# далее прописываем для УП и ЭП проводов.
# третий путь
U_h = U3 * harm.get(f_e)[1]
a = x_e - xp_kp2 - xp_mid13
ekpx3 = U_h * a / log(2 * h_kp / d_kp) * (1 / ((h_kp - z_e) ** 2 + a ** 2) - 1 / ((h_kp + z_e) ** 2
+ a ** 2))
ekpz3 = U_h / log(2 * h_kp / d_kp) * ((h_kp - z_e) / ((h_kp - z_e) ** 2 + a ** 2) + ((h_kp + z_e))
/ ((h_kp + z_e) ** 2 + a ** 2))
a = x_e - xp_nt3 - xp_mid13
entx3 = U_h * a / log(2 * h_nt / d_nt) * (1 / ((h_nt - z_e) ** 2 + a ** 2) - 1 / ((h_nt + z_e) ** 2 + a
** 2))
entz3 = U_h / log(2 * h_nt / d_nt) * ((h_nt - z_e) / ((h_nt - z_e) ** 2 + a ** 2) + ((h_nt + z_e)) /

```

```

((h_nt + z_e) ** 2 + a ** 2))
    a = x_e - xp_up2 - xp_mid13
    # далее прописываем для УП и ЭП проводов.
# Суммирование всех электрических полей по оси x
    ex1 = sum([ekpx, entx, eupx, eepx,])
    ex2 = sum([ekpx2, entx2, eupx2, eepx2])
    ex3 = sum([ekpx3, entx3, eupx3, eepx3])
    # Суммирование всех электрических полей по оси z
    ez1 = sum([ekpz, entz, eupz, eepz])
    ez2 = sum([ekpz2, entz2, eupz2, eepz2])
    ez3 = sum([ekpz3, entz3, eupz3, eepz3])
    # Расчет итогового электрического поля:
    e1 = mix(ex1, ez1)
    e2 = mix(ex2, ez2)
    e3 = mix(ex3, ez3)
    # результат - значение электрических полей в рассматриваемой точке для выбранной
гармоники
    return [e1, e2, e3]

```

11. Применение экрана для расчета энергетической нагрузки ЭМП в кабине ЭПС:

```

# суммирование всех полей всех гармоник и подсчёт среднесменной энергетической
нагрузки ЭМП
для каждой точки:
def full_field(res_en):
    sum_h, sum_e, sum_eng = 0, 0, 0
    for en in res_en[0].values():
        for j in range(0, 3):
            sum_h += en[0][j]
            sum_e += en[1][j]
            sum_eng += en[0][j] * en[1][j] * 1/2 * sin(alpha)
    return sum_h, sum_e, sum_eng
def ekran(en):
    x, y, z = en[1] # координаты точки

```

```

# определяем расстояние от текущей точки до проводов - для расчёта лобовых окон
kppth = LineString([(x, y, z), (x, xp_kp, h_kp)])
ntpth = LineString([(x, y, z), (x, xp_nt, h_nt)])
uppth = LineString([(x, y, z), (x, xp_up, h_up)])
eppth = LineString([(x, y, z), (x, xp_ep, h_ep)])

# проверяем, попадает ли лобовое окно по направлению от текущей точки до проводов ?
kp_pass = kppth.intersects(frontWindleft) or kppth.intersects(frontWindright)
nt_pass = ntpth.intersects(frontWindleft) or ntpth.intersects(frontWindright)
up_pass = uppth.intersects(frontWindleft) or uppth.intersects(frontWindright)
ep_pass = eppth.intersects(frontWindleft) or eppth.intersects(frontWindright)

# для каждого провода проверяем, есть ли на пути этого направления окно ?
kp_dist = Point(y, z).distance(Point(xp_kp, h_kp))
kp_pass |= (kp_dist >= min_kp) and (kp_dist <= max_kp) and (x >= sbor[0]) and (x <= sbor[1]) \
    and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])

nt_dist = Point(y, z).distance(Point(xp_nt, h_nt))
nt_pass |= (nt_dist >= min_nt) and (nt_dist <= max_nt) and (x >= sbor[0]) and (x <= sbor[1]) \
    and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])

up_dist = Point(y, z).distance(Point(xp_up, h_up))
up_pass |= (up_dist >= min_up_l) and (up_dist <= max_up_l) and (x >= sbor[0]) and (x <=
sbor[1]) \
    and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])
up_pass |= (up_dist >= min_up_r) and (up_dist <= max_up_r) and (x >= sbor[0]) and (x <=
sbor[1]) \
    and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])

ep_dist = Point(y, z).distance(Point(xp_ep, h_ep))
ep_pass |= (ep_dist >= min_ep_l) and (ep_dist <= max_ep_l) and (x >= sbor[0]) and (x <=
sbor[1]) \
    and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])

```

```

ep_pass |= (ep_dist >= min_ep_r) and (ep_dist <= max_ep_r) and (x >= sbor[0]) and (x <=
sbor[1]) \
    and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])

kp_sec_dist = Point(y, z).distance(Point(xp_kp2 + xp_mid12, h_kp))
kp_sec_pass = (kp_sec_dist >= min_kp2_l) and (kp_sec_dist <= max_kp2_l) and (x >= sbor[0])
and (x <= sbor[1]) \
    and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])
kp_sec_pass |= (kp_sec_dist >= min_kp2_r) and (kp_sec_dist <= max_kp2_r) and (x >= sbor[0])
and (x <= sbor[1]) \
    and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])

nt_sec_dist = Point(y, z).distance(Point(xp_nt2 + xp_mid12, h_nt))
nt_sec_pass = (nt_sec_dist >= min_nt2_l) and (nt_sec_dist <= max_nt2_l) and (x >= sbor[0]) and
(x <= sbor[1]) \
    and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])
nt_sec_pass |= (nt_sec_dist >= min_nt2_r) and (nt_sec_dist <= max_nt2_r) and (x >= sbor[0])
and (x <= sbor[1]) \
    and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])

up_sec_dist = Point(y, z).distance(Point(xp_up2 + xp_mid12, h_up))
up_sec_pass = (up_sec_dist >= min_up2_l) and (up_sec_dist <= max_up2_l) and (x >= sbor[0])
and (x <= sbor[1]) \
    and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])
up_sec_pass |= (up_sec_dist >= min_up2_r) and (up_sec_dist <= max_up2_r) and (x >= sbor[0])
and (x <= sbor[1]) \
    and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])

ep_sec_dist = Point(y, z).distance(Point(xp_ep2 + xp_mid12, h_ep))
ep_sec_pass = (ep_sec_dist >= min_ep2_l) and (ep_sec_dist <= max_ep2_l) and (x >= sbor[0])
and (x <= sbor[1]) \
    and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])
ep_sec_pass = (ep_sec_dist >= min_ep2_r) and (ep_sec_dist <= max_ep2_r) and (x >= sbor[0])
and (x <= sbor[1]) \

```

```

    and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])

    kp_thd_dist = Point(y, z).distance(Point(xp_kp3 + xp_mid13, h_kp))
    kp_thd_pass = (kp_thd_dist >= min_kp3_l) and (kp_thd_dist <= max_kp3_l) and (x >= sbor[0])
    and (x <= sbor[1]) \
        and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])
    kp_thd_pass |= (kp_thd_dist >= min_kp3_r) and (kp_thd_dist <= max_kp3_r) and (x >= sbor[0])
    and (x <= sbor[1]) \
        and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])

    nt_thd_dist = Point(y, z).distance(Point(xp_nt3 + xp_mid13, h_nt))
    nt_thd_pass = (nt_thd_dist >= min_nt3_l) and (nt_thd_dist <= max_nt3_l) and (x >= sbor[0]) and
    (x <= sbor[1]) \
        and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])
    nt_thd_pass |= (nt_thd_dist >= min_nt3_r) and (nt_thd_dist <= max_nt3_r) and (x >= sbor[0])
    and (x <= sbor[1]) \
        and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])

    up_thd_dist = Point(y, z).distance(Point(xp_up3 + xp_mid13, h_up))
    up_thd_pass = (up_thd_dist >= min_up3_l) and (up_thd_dist <= max_up3_l) and (x >= sbor[0])
    and (x <= sbor[1]) \
        and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])
    up_thd_pass |= (up_thd_dist >= min_up3_r) and (up_thd_dist <= max_up3_r) and (x >= sbor[0])
    and (x <= sbor[1]) \
        and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])

    ep_thd_dist = Point(y, z).distance(Point(xp_ep3 + xp_mid13, h_ep))
    ep_thd_pass = (ep_thd_dist >= min_ep3_l) and (ep_thd_dist <= max_ep3_l) and (x >= sbor[0])
    and (x <= sbor[1]) \
        and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])
    ep_thd_pass |= (ep_thd_dist >= min_ep3_r) and (ep_thd_dist <= max_ep3_r) and (x >= sbor[0])
    and (x <= sbor[1]) \
        and (z >= sbor[2]) and (z <= sbor[3])

```

```

# для каждой точки внутри кабины проверяем, проходит ли поле через стекло или сталь ?
if (abs(y) <= 0.5 * width) and (z >= gr_floor) and (z <= floor + height) and (x > 0) and (x <
length):
    pass_1 = kp_pass or nt_pass or up_pass or ep_pass
    pass_2 = kp_sec_pass or nt_sec_pass or up_sec_pass or ep_sec_pass
    pass_3 = kp_thd_pass or nt_thd_pass or up_thd_pass or ep_thd_pass
    if pass_1:
        for f in en[0].keys():
            en[0][f][0][0] *= d_glass
            en[0][f][1][0] *= d_glass
    if pass_2:
        for f in en[0].keys():
            en[0][f][0][1] *= d_glass
            en[0][f][1][1] *= d_glass
    if pass_3:
        for f in en[0].keys():
            en[0][f][0][2] *= d_glass
            en[0][f][1][2] *= d_glass
    if not (pass_1 or pass_2 or pass_3):
        for f in en[0].keys():
            en[0][f][0] = [0, 0, 0]
            en[0][f][1] = [0, 0, 0]
return en

```

11. Составление таблиц данных, вывод параметров и расчет энергетических характеристик ЭМП:

```

# рассмотрим вид спереди
def visual_front_locomotive(ext_f):
    # устанавливаем границы
    Ymin, Ymax = -0.5*width, 0.5*width
    Zmin, Zmax = floor+height, floor
    # осуществим выборку из общего поля фрагмента с электровозом и применим экран
    ekran_ = [[ekran(y_el) for y_el in z_list if abs(y_el[1][1]) <= Ymax] for z_list in ext_f
               if z_list[0][1][2] <= Zmin and z_list[0][1][2] >= Zmax]
    # проведем суммирование для получения конечного значения в каждой точке

```

```

    summar = np.array([[full_field(y_el)[2] for y_el in z_list] for z_list in ekran_])
# осуществим разбиение по точкам
    y_ln = np.linspace(Ymin, Ymax, len(ekran_[0]))
    z_ln = np.linspace(Zmin, Zmax, len(ekran_))
# составим таблицы
    def table_out(znach, f=0, t=0, ln=12):
# вывод шапки значений y
        for y in y_ln:
            print(f'{y:.3f}'.ljust(ln), end="", file=rf)
            print('y / z\n', file=rf)
# вывод построчно значений
        for no, y_list in enumerate(znach):
            for dt in y_list:
                if f:
                    
$$E = dt[0][f][0][0] * dt[0][f][1][0] + dt[0][f][0][1] * dt[0][f][1][1] + dt[0][f][0][2] * dt[0][f][1][2]$$

                    print(f'{E:.3f}'.ljust(ln), end="", file=rf)
                else:
                    print(f'{dt:.3f}'.ljust(ln), end="", file=rf)
                    print(f'| {z_ln[no]:.3f}', file=rf)
                print('\n', file=rf)
# открываем файл на запись
    rf = open('peremennoe_pole.txt', 'w')
# формируем шапку таблицы
    print('Верхняя строка - ось y, метры. Крайний правый столбец - ось z, метры\n', file=rf)
# вывод значений энергии в таблицу
    print('ЭНЕРГИЯ вид спереди кабина\n', file=rf)
    print('Общее\n', file=rf)
    table_out(summar, ln=12)
    print('Гармоники\n', file=rf)
    for fr in harm.keys():
        print(f'{fr} Гц\n', file=rf)
        table_out(ekran_, f=fr, t=1)
    rf.close() # закрываем файл

```

```

# Проведем расчет таблиц
print('\nРасчёт поля.....\n')
cont_f_front = visual_front()
visual_front_locomotive(cont_f_front)
print('СТАТИСТИКА\n')
S = (a * b / 3600) ** 1 / 2
p = ti / 24 # статистическая вероятность воздействия
chel_f_per = [{fr: [magnetic_calc(y_chel, z_chel, fr), electric_calc(y_chel, z_chel, fr)] for fr in
harm.keys()},
               (x_chel, y_chel, z_chel)]
no_ekran_per = full_field(chel_f_per)[2]
ekran_per = full_field(ekran(chel_f_per))[2]
print('Среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП с экраном %.4f' % ekran_per)
Dco = ekran_per * ti * S * p
Dpo = Dco / b
print('Суточная доза потенциальной энергии облучения ЭМП: %.4f' % Dco)
print('Удельная суточная доза поглощённой энергии ЭМП: %.4f' % Dpo) [60]

```

В зависимости от изменения характеристик контактной сети, длительности пребывания работника на рабочем месте и его антропометрических данных можно определить энергетические характеристики ЭМП (максимальные, средние и минимальные значения) в любой точке кабины ЭПС и построить уравнения регрессионных моделей [60].

Получив необходимые данные по энергетическим характеристикам ЭМП, мы построим уравнения регрессионных моделей для однопутной (разд. 3.3), двухпутной (разд. 3.4) и трехпутной линий (разд. 3.5).

3.3. Уравнения регрессионных моделей энергетических характеристик ЭМП в кабине электроподвижного состава, расположенного на однопутной линии контактной сети

Для определения связи и зависимости между энергетическими характеристиками ЭМП использован корреляционный метод анализа.

В разработанной нами программе впервые смоделированы среднесменные энергетические нагрузки ЭМП для персонала, находящегося в кабине ЭПС однопутной линии.

По полученным суммарным среднесменным нагрузкам ЭМП построены уравнения регрессионных моделей, которые учитывают весь спектр высших гармонических составляющих (рисунок 3.9).

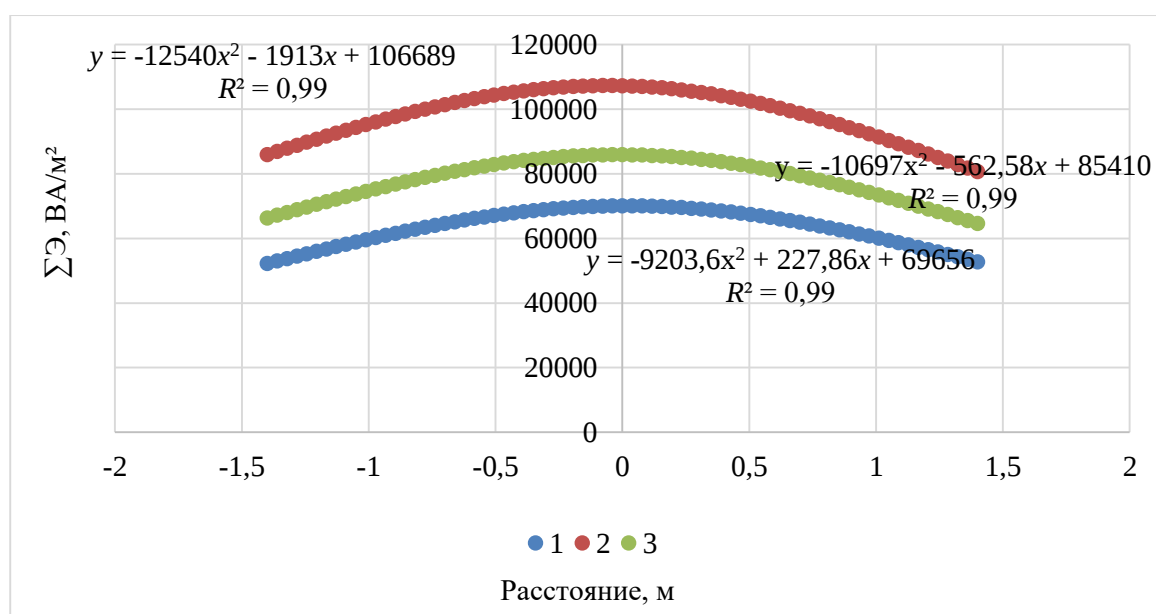


Рисунок 3.9 – Зависимость суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП в кабине ЭПС от модели контактной подвески

На рисунке 3.9: 1 – контактный провод, несущий трос, два рельса; 2 – контактный провод, несущий трос, два рельса и усиливающий провод; 3 – контактный провод, несущий трос, два рельса, усиливающий и экранирующий провода.

В зависимости от модели контактной подвески суммарная среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП в кабине ЭПС изменяется по полиномиальной функции распределения (полином 2-й степени) с достоверностью аппроксимации 0,99.

При одних и тех же технических характеристиках — токе и напряжении, но разных моделях КС однопутного участка суммарная среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП отличается. Максимальные уровни суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП зафиксированы для модели № 2, а минимальные — для модели № 1. То есть при движении ЭПС по модели КС № 1 электротехнический персонал попадает под максимальные уровни суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП. Полученные данные будут использованы при разработке системы защиты.

Нами рассматривается влияние равномерного износа токоприемника, скользящего по контактному проводу (КП), на суммарную среднесменную энергетическую нагрузку в кабине электроподвижного состава. Исследование направлено на анализ изменений энергетической нагрузки, вызванных вариациями зигзага контактного провода в пределах ± 400 мм (рисунок 3.10).

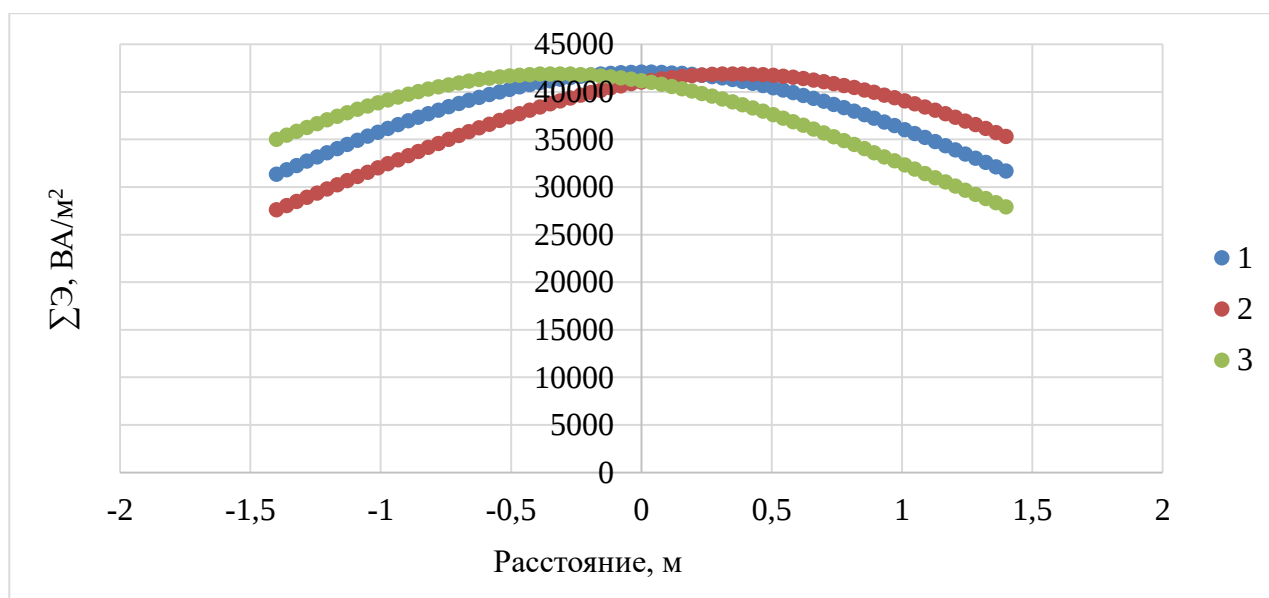


Рисунок 3.10 – Изменение суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП в кабине ЭПС в зависимости от величины зигзага контактного провода

На рисунке 3.10: 1– КП без смещения; 2 – со смещением КП (+0,4); 3 – со смещением КП (-0,4). Суммарная энергетическая нагрузка ЭМП изменяется вместе с зигзагом КП, то есть смещается в ту же сторону, что и КП. Суммарная среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП в кабине ЭПС однопутной линии, в зависимости от величины зигзага контактного провода, имеет полиномиальное распределение (полином 2-й степени). В общем виде закон образования функции следующий:

$$y(x) = ax^2 + bx + c,$$

где a , b и c - действительные числа, а $a \neq 0$.

Впервые полученные теоретические зависимости изменения параметров низкочастотного ЭМП от режимов работы ЭПС позволили оценить дозы низкочастотного ЭМП, воздействующие на электротехнический персонал, находящегося в кабине ЭПС однопутной линии (модель КС: 1 — контактный провод, несущий трос, два рельса).

Проанализируем полученные данные и построим динамику изменения суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП от тока, потребляемого ЭПС (рисунок 3.11).

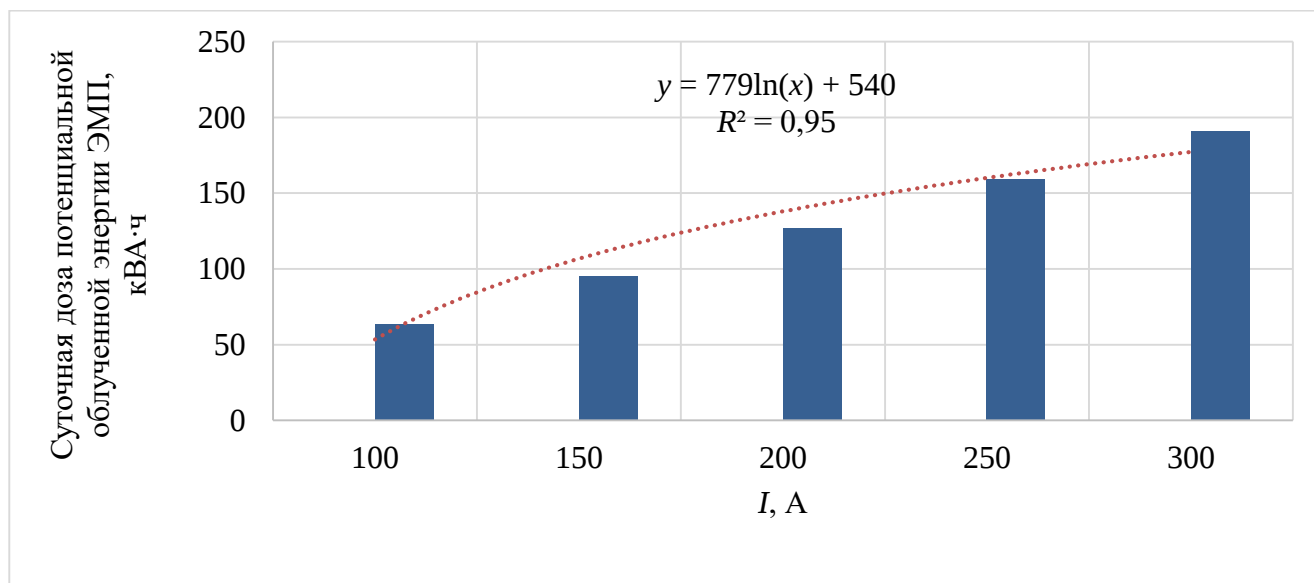


Рисунок 3.11 – Динамика изменения суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП от тока ЭПС

Построенная динамика изменения суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП от тока, потребляемого ЭПС, подчиняется логарифмическому закону. Общий вид этой функции определяется по формуле:

$$y(x)=a\cdot\ln(x)+b,$$

где: a , b – действительные числа, и $a \neq 0$.

Взаимосвязь удельной суточной дозы потенциальной поглощённой энергии ЭМП в кабине ЭПС однопутной линии от тока в КС приведена на рисунке 3.12.

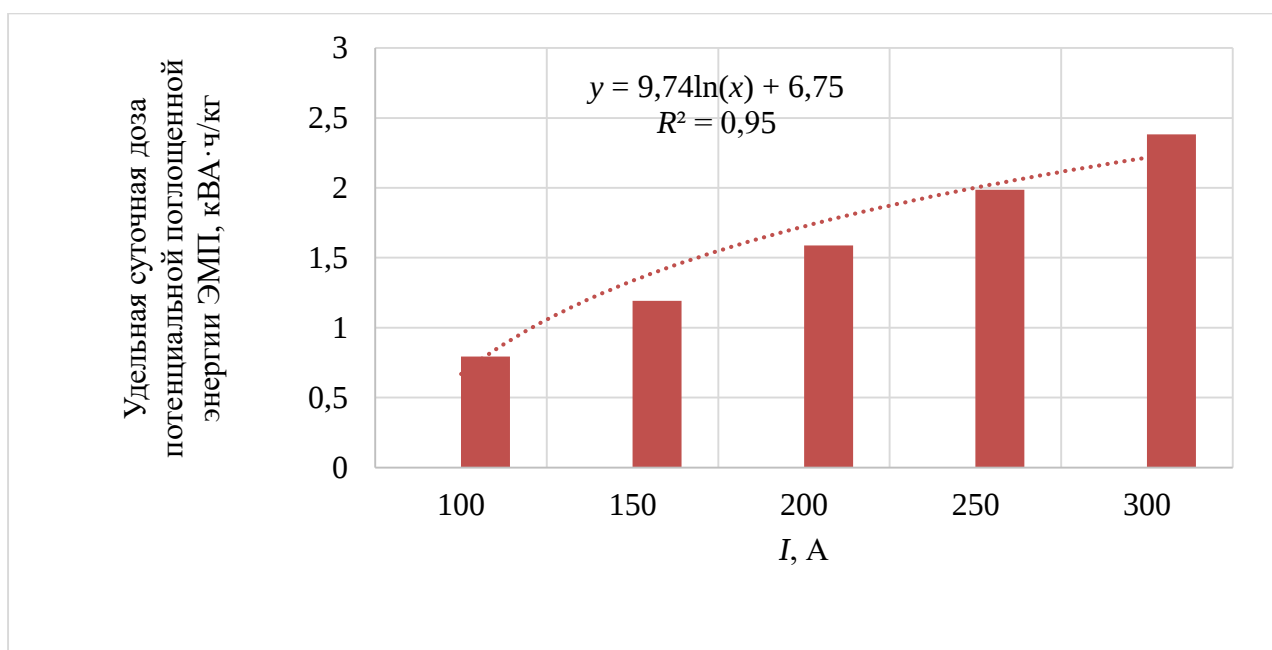


Рисунок 3.12 – Взаимосвязь удельной суточной дозой потенциальной поглощённой энергии ЭМП в кабине ЭПС от уровня тока в КС

Корреляция удельной суточной дозы поглощённой энергии ЭМП в кабине ЭПС описывается логарифмическим законом функции распределения. Выявленные закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП позволяют спрогнозировать, какие уровни среднесменной энергетической нагрузки ЭМП, суточной дозы потенциальной энергии облучения и удельной суточной дозы потенциальной поглощённой энергии ЭМП будут на рабочих местах машиниста и его помощника.

Уравнения регрессионных моделей для суточной дозы потенциальной энергии облучения и удельной суточной дозы потенциальной поглощённой энергии ЭМП в кабине ЭПС однопутной линии (модель КС: 1 — контактный провод, несущий трос, два рельса), в зависимости от уровня напряжения КС, приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Уравнения регрессионных моделей, основанные на суточной дозе потенциальной облученной энергии и удельной суточной дозе потенциальной поглощённой энергии ЭМП в зависимости от уровня напряжения КС

Уравнения	Коэффициент детерминации	Возможность использования зависимости
Суточная доза потенциальной облученной энергии ЭМП, кВА·ч		
$y = 17,62\ln(x) + 173,53$	$R^2 = 0,95$	Да
Удельная суточная доза потенциальной поглощённой энергии ЭМП, кВА·ч/кг		
$y = 0,22\ln(x) + 2,18$	$R^2 = 0,96$	Да

С учетом параметров контактной сети и антропометрических данных персонала определены уравнения регрессионных моделей энергетических характеристик ЭМП в ЭПС. Полученные зависимости вносят значительный вклад в область электромагнитной безопасности персонала и в дальнейшем будут использованы для построения системы защиты.

В связи с тем, что помимо однопутных линий контактной сети (КС) эксплуатируются также двухпутные линии, далее будут построены регрессионные модели энергетических характеристик электромагнитного поля (ЭМП) в ЭПС применительно к двухпутным линиям КС. Важно отметить, что точный вид моделей зависит от конкретных параметров и условий исследования (раздел 3.4).

3.4. Уравнения регрессионных моделей энергетических характеристик ЭМП в кабине электроподвижного состава, расположенного на двухпутной линии контактной сети

Аналогичным образом проведём исследования суммарной энергетической нагрузки электромагнитного поля в кабине ЭПС для двухпутного участка. Для построения регрессионных моделей суммарной энергетической нагрузки ЭМП воспользуемся сначала моделью контактной сети (КС) № 1 (для первого и второго путей), включающей контактный провод, несущий трос и два рельса; затем – моделью КС № 2. Будем считать, что электротехнический персонал находится в кабине ЭПС, расположенной на первом пути. Результаты исследований представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6

Уравнения регрессионных моделей суммарной энергетической нагрузки ЭМП в кабине ЭПС для модели КС № 1

Уравнения	Коэффициент детерминации	Возможность использования зависимости
КП 1 и КП 2 путей без смещения		
$y = -6030,3x^2 + 4304,1x + 52468$	$R^2 = 0,98$	Да
КП 1 пути не смещен, а КП 2 пути на +400 мм		
$y = -6014,1x^2 + 3718,4x + 51243$	$R^2 = 0,98$	Да
КП 1 пути смещен на + 400 мм, КП 2 – без смещения		
$y = -5508,8x^2 + 7538,6x + 51514$	$R^2 = 0,99$	Да
КП 1 пути смещен на + 400 мм, а КП 2 пути на -400 мм		
$y = -5542,4x^2 + 8248,4x + 53014$	$R^2 = 0,98$	Да
КП 1 пути смещен на - 400 мм, КП 2 пути на -400 мм		
$y = -5606,1x^2 + 1758,2x + 53127$	$R^2 = 0,94$	Да
КП 1 пути смещен на + 400 мм, а КП 2 пути на +400 мм		
$y = -5492,6x^2 + 6953x + 50289$	$R^2 = 0,98$	Да
КП 1 пути смещен на - 400 мм, КП 2 пути на +400 мм		
$y = -5556,3x^2 + 462,83x + 50402$	$R^2 = 0,95$	Да

Согласно данным таблицы 3.6, видно, что суммарная среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП в кабине электроподвижного состава на первом пути двухпутной линии изменяется по полиномиальной функции распределения — полиному 2-й степени с коэффициентом аппроксимации от 0,94 до 0,98. Это дает основание использовать приведенные зависимости для формирования требований к разработке технических мероприятий.

Нами впервые получены уравнения регрессионных моделей суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП, учитывающей весь спектр высших гармонических составляющих в кабине ЭПС для двухпутного участка с учетом смещения контактных проводов КП1 (± 400 мм) и КП2 (± 400 мм).

В таблице 3.7 представлены результаты исследования суммарной энергетической нагрузки ЭМП (ВА/м²) в кабине ЭПС, движущегося по первому пути двухпутной линии.

Таблица 3.7

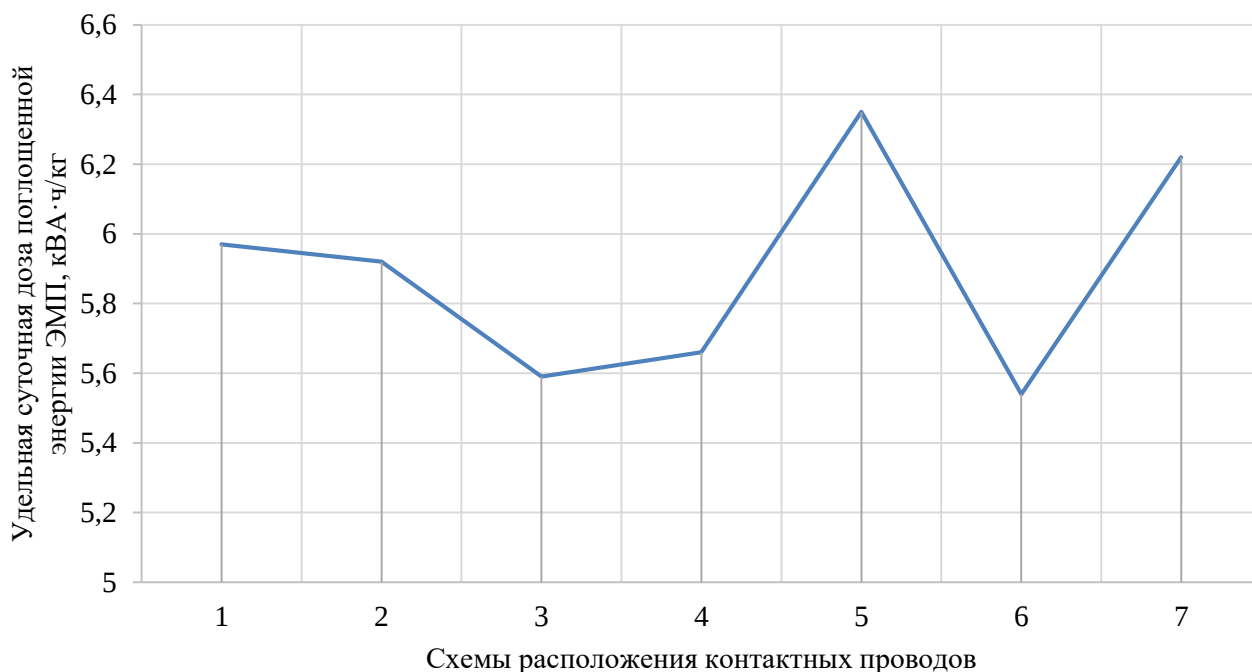
Уравнения регрессионных моделей, описывающие суммарную энергетическую нагрузку ЭМП в кабине ЭПС для модели КС № 2 [42]

Уравнения [42]	Коэффициент детерминации [42]	Возможность использования зависимости [42]
КП 1 и КП 2 путей без смещения [42]		
$y = -10879x^2 + 6008,7x + 109056$	$R^2 = 0,96$	Да
КП 1 пути не смещен, а КП 2 пути на +400 мм		
$y = -10654x^2 + 5294,4x + 106603$	$R^2 = 0,96$	Да
КП 1 пути смещен на + 400 мм, КП 2 – без смещения		
$y = -10039x^2 + 10965x + 107183$	$R^2 = 0,98$	Да
КП 1 пути смещен на + 400 мм, а КП 2 пути на -400 мм		
$y = -10089x^2 + 11986x + 109366$	$R^2 = 0,98$	Да
КП 1 пути смещен на - 400 мм, КП 2 пути на -400 мм		
$y = -10287x^2 + 1965,1x + 110387$	$R^2 = 0,93$	Да
КП 1 пути смещен на + 400 мм, а КП 2 пути на +400 мм		
$y = -10012x^2 + 10109x + 105367$	$R^2 = 0,98$	Да
КП 1 пути смещен на - 400 мм, КП 2 пути на +400 мм		
$y = -10210x^2 + 87,527x + 106388$	$R^2 = 0,94$	Да

Полученные данные сформированы на основе модели КС № 2, которая

включает контактный провод, несущий трос, два рельса и усиливающий провод. Приведённые уравнения регрессионных моделей (таблица 3.7) демонстрируют, как в процессе движения в кабине ЭПС изменяются уровни среднесменных энергетических нагрузок ЭМП в зависимости от величины зигзага контактных проводов первого и второго путей. Достоверность аппроксимации варьируется от 0,93 до 0,98. Таким образом, полученные уравнения могут быть использованы в дальнейших исследованиях при разработке системы защиты электротехнического персонала.

Теперь рассмотрим удельную суточную дозу поглощённой энергии ЭМП в ЭПС относительно схем расположения контактных проводов (рисунок 3.13).



«Рисунок 3.13 – Уровни удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП в кабине ЭПС при массе тела человека 80 кг» [60]

«Исследование уровней удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП» [60] в кабине ЭПС первого пути осуществлялось для модели № 2 при следующих схемах расположения контактных проводов: 1 — КП 1 и КП 2 путей без смещения; 2 — КП 1 пути без смещения, КП 2 — смещен на +400 мм; 3 — КП 1 пути смещен на +400 мм, КП 2 — без смещения; 4

— КП 1 пути смещен на +400 мм, КП 2 – смещен на -400 мм; 5 — КП 1 пути смещен на -400 мм, а КП 2 пути на -400 мм; 6 — КП 1 пути смещен на +400 мм, КП 2 пути на +400 мм; 7 — КП 1 пути смещен на -400 мм, а КП 2 пути на +400 мм.

Зигзаги КП1 и КП2 для двухпутной линии могут быть однонаправленными или разнонаправленными. Согласно рисунку 3.13, минимальные значения удельной суточной дозы потенциально поглощенной энергии ЭМП [61] при массе тела человека 80 кг отмечаются на схеме расположения контактных проводов под № 6, а максимальные — под № 5.

Зигзаг контактного провода контактной подвески второго пути не вносит определенного вклада в формирование удельной суточной дозы потенциально поглощенной энергии ЭМП. Полученные результаты в дальнейшем будут использованы при обосновании применения технических средств защиты.

Аналогично, мы построим уравнения регрессионных моделей энергетических характеристик ЭМП в отношении персонала, находящегося в ЭПС (первого пути) трехпутной линии (разд. 3.5)

3.5. Уравнения регрессионных моделей энергетических характеристик ЭМП в кабине электроподвижного состава, расположенного на трехпутной линии контактной сети

Нами представлено имитационное моделирование энергетических характеристик электромагнитных полей в ЭПС трехпутной линии КС. В результате моделирования были сформулированы уравнения регрессионных моделей, приведенные в таблице 3.8.

Эти модели позволяют описать зависимость энергетических характеристик ЭМП от различных моделей контактной сети (КС). Результаты представляют интерес для специалистов в области безопасности труда, а также для научных исследований, направленных на изучение изменений ЭМП в кабине ЭПС.

Таблица 3.8

Уравнения регрессионных моделей суммарной энергетической нагрузки ЭМП в кабине ЭПС трёхпутного участка КС

Уравнения	Коэффициент детерминации	Возможность использования зависимости
Модель КС: контактный провод, несущий трос, два рельса		
$y = -6115,7x^2 + 4268,9x + 53040$	$R^2 = 0,98$	Да
Модель КС: контактный провод, несущий трос, два рельса, усиливающий провод		
$y = -11192x^2 + 7448,8x + 114063$	$R^2 = 0,97$	Да
Модель КС: контактный провод, несущий трос, два рельса, усиливающий и экранирующий провод		
$y = -12937x^2 + 8218x + 135917$	$R^2 = 0,97$	Да

Исследования показали (таблица 3.8), что за счет большого расстояния до третьего пути, зигзаг контактного провода ± 400 мм КПЗ не влияет на полиномиальную функцию распространения суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП [49] в кабине ЭПС первого пути. При одних и тех же технических характеристиках: токе и напряжении, но различных моделях КС суммарная энергетическая нагрузка ЭМП [49] различается.

Максимальные уровни зафиксированы для модели с контактным проводом, несущим тросом, двумя рельсами и усиливающим проводом, а минимальные — без экранирующего и усиливающего проводов. Полученные результаты будут использованы при разработке системы защиты персонала.

Уравнения регрессионных моделей энергетических характеристик ЭМП на рабочем месте машиниста электровоза переменного тока относительно изменения уровней токов в КС трехпутного участка приведены в таблице 3.9.

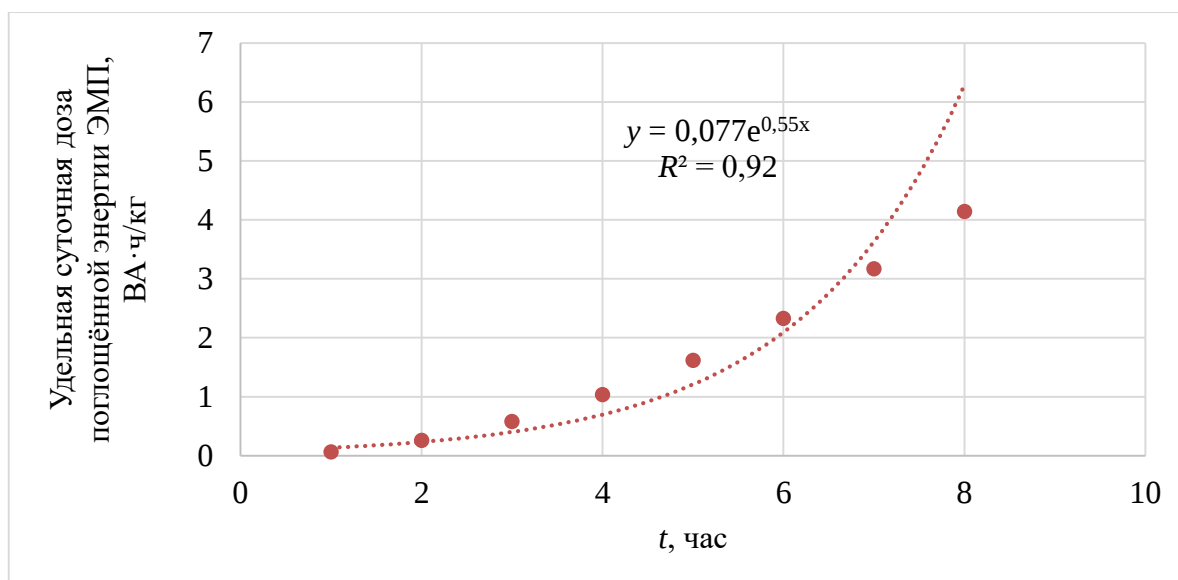
Таблица 3.9

Уравнения регрессионных моделей энергетических характеристик ЭМП на рабочем месте машиниста электровоза переменного тока относительно изменения уровней токов в КС

Уравнения	Коэффициент детерминации	Возможность использования зависимости
Модель КС № 1		
Суммарная среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП		
$y = 25,554\ln(x) - 104,23$	$R^2 = 0,98$	Да
Суточная доза потенциальной облученной энергии ЭМП		
$y = 197,33\ln(x) - 900,02$	$R^2 = 0,99$	Да
Удельная суточная доза потенциальной поглощённой энергии ЭМП		
$y = 1,6562\ln(x) - 6,7555$	$R^2 = 0,98$	Да
Модель КС № 2		
Суммарная среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП		
$y = 56,852\ln(x) - 231,88$	$R^2 = 0,98$	Да
Суточная доза потенциальной облученной энергии ЭМП		
$y = 294,79\ln(x) - 1202,4$	$R^2 = 0,98$	Да
Удельная суточная доза потенциальной поглощённой энергии ЭМП		
$y = 3,6851\ln(x) - 15,031$	$R^2 = 0,98$	Да

Исходя из полученных зависимостей энергетических характеристик ЭМП в ЭПС первого пути (трехпутной линии) от уровней токов в КС, можно сделать вывод, что их можно описать логарифмическими функциями распределения. Рассмотрим, как изменяется удельная суточная потенциальная доза поглощённой энергии ЭМП относительно длительности воздействия на работников, обслуживающих ЭПС.

Для модели КС № 2 зависимости изменения удельной суточной потенциальной дозы поглощённой энергии ЭМП от продолжительности воздействия на персонал приведены на рисунке 3.14.



«Рисунок 3.14 – Зависимости изменения удельной суточной дозы поглощённой энергии ЭМП от продолжительности воздействия на персонал» [60]

«Зависимости изменения потенциальной суточной дозы поглощённой энергии ЭМП» [60] от продолжительности воздействия на персонал (рисунок 3.14) при нахождении его в ЭПС первого пути (трёхпутной линии) подчиняются степенной функции распределения, что мы установили впервые. С учётом изменений характеристик контактной сети и антропометрических данных работников, нами определены уравнения регрессионных моделей энергетических характеристик ЭМП [49] в ЭПС для трёхпутной линии. Полученные результаты вносят значительный вклад в исследования энергетических характеристик ЭМП в ЭПС и будут использованы при разработке организационно-технических мероприятий по защите персонала.

Выводы по главе 3

С целью создания системы защиты электротехнического персонала, обслуживающего ЭПС, были проведены исследования изменений уровней энергетических характеристик ЭМП в кабине ЭПС.

Для достижения этой цели:

- нами исследованы функциональные зависимости изменения среднесменных энергетических нагрузок ЭМП в ЭПС. Мы получили функциональные зависимости изменения энергетических характеристик ЭМП в электроподвижном составе от расстояния до рассматриваемых источников полей, м; величины тока и напряжения контактной сети (КС), потребляемого электровозом, А; эффективности экранирования магнитного и электрического полей [60], антропометрических данных работника;
- разработана программа имитационного моделирования изменений энергетических характеристик ЭМП в кабине ЭПС для однопутной, двухпутной и трехпутной линий (получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ). На созданной математической модели нами определены закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП в ЭПС, которые позволяют учитывать аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на электротехнический персонал и специфику движения ЭПС;
- построены уравнения регрессионных моделей на основе энергетических характеристик ЭМП в ЭПС. Полученные результаты исследований вносят значительный вклад в теорию электромагнитной безопасности (безопасности труда) персонала и будут учтены при использовании системы защиты в дальнейшем.

По рассматриваемым факторам с помощью полученных закономерностей по энергетическим характеристикам ЭМП в ЭПС можно спрогнозировать вероятность повреждения здоровья персонала, что позволит предупредить производственно обусловленные заболевания. Последнее полностью согласуется с основными принципами обеспечения безопасности труда в России.

Для проверки адекватности теоретических исследований будут проведены экспериментальные исследования в реальных условиях работы электротехнического персонала, обслуживающего ЭПС (глава 4).

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

Исследуем электрические и магнитные поля в электровозах постоянного (разд. 4.1) и переменного тока (разд. 4.2), а также в тяговых агрегатах (разд. 4.3).

Полученные результаты будут являться основой для «разработки системы защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей» [44].

4.1. Экспериментальные исследования электрических и магнитных полей в электровозах постоянного тока

Измерения электромагнитных полей в ЭПС актуальны, так как локомотивная бригада длительное время находится под воздействием этого вредного производственного фактора. Исследование посвящено анализу электромагнитных полей в электровозах постоянного тока с номинальным напряжением 3,3 кВ, проведённому с использованием прибора «Экофизика»; исследованы по две единицы электровозов ВЛ11 и 2ЭС10 разных лет выпусков. «Измерения электромагнитных полей осуществлялись в соответствии с методикой измерения электрических полей и магнитных полей.

Результаты экспериментов показали, что уровни электрических и магнитных полей на электровозах одной и той же серии сходны, что позволяет не проводить дополнительные измерения ЭМП. Рассмотрим эти рабочие места, как аналогичные [60].

Условия, при которых проведены измерения ЭП» [60] и МП, указаны в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Характеристика объекта исследования [60]

Характеристика	ВЛ11	2ЭС10
Мощность, кВт	5200	8400
Вес поезда, т	–	6104
Температура, °С	20	15...17
Влажность, %	63	68

«Расположение точек измерения ЭП и МП по длине кузова электровоза ВЛ11 приведено на рисунке 4.1.



I...II – расположение точек измерения;

Рисунок 4.1 – Эскиз плана электровоза ВЛ11 с расположением точек измерения напряженности электрического и магнитного полей [60]

Измерение электрических и магнитных полей выполнены в кабинах электровозов ВЛ11 (точка I) и в машинных отделениях (в проходе за сплошной металлической перегородкой со стороны блоков аппаратов № 2 вблизи быстродействующего выключателя (точка II)).

Расположение точек измерения ЭП и МП по длине кузова электровоза 2ЭС10 приведено на рисунке 4.2. На рисунке 4.2: I...III – расположение точек измерения; 1 – тяговый преобразователь второй тележки; 2 – шкаф высоковольтной аппаратуры; 3 – тяговый преобразователь первой тележки» [60].

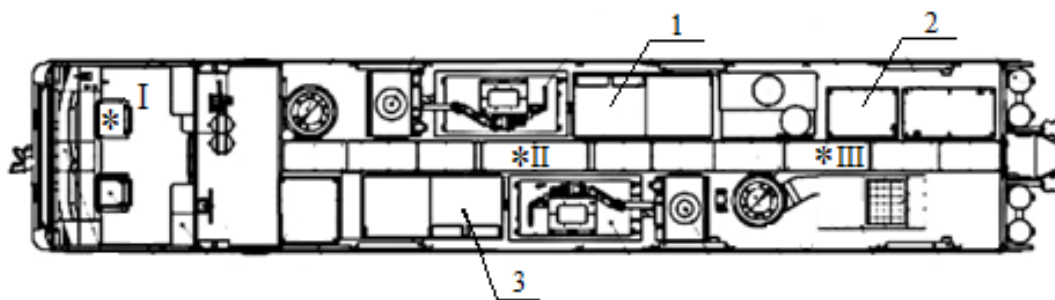


Рисунок 4.2 – Эскиз электровоза 2ЭС10 с расположением точек измерения напряженности электрического и магнитного полей [60]

«Результаты экспериментальных исследований магнитных полей 50 Гц в кабинах и машинных отделениях грузовых электровозов ВЛ11 и 2ЭС10 представлены на рисунке 4.3.

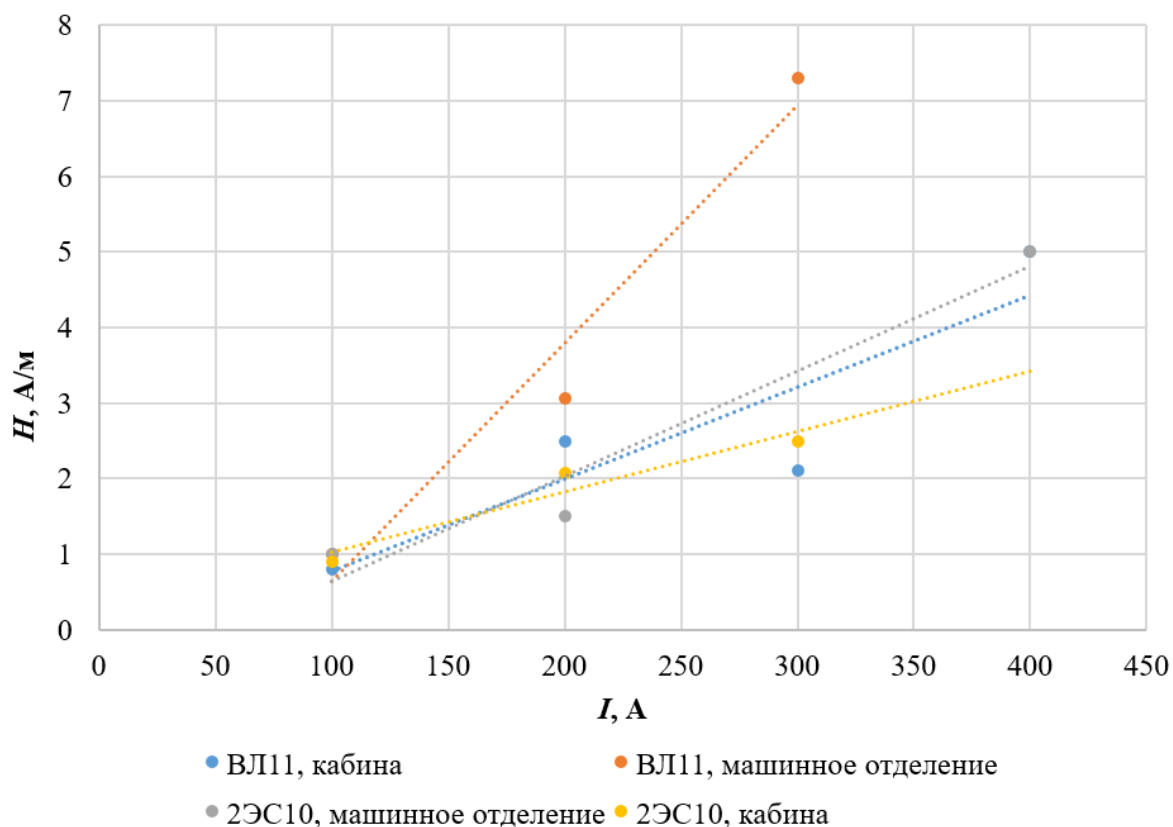


Рисунок 4.3 – Уровни напряжённости магнитных полей с частотой 50 Гц в кабинах и машинных отделениях электровозов ВЛ11 и 2ЭС10 [60]

В кабинах электровозов ВЛ11 и 2ЭС10 на рабочих местах электротехнического персонала уровни магнитных полей с частотой 50 Гц составляют 4,5 А/м для ВЛ11 и 3,5 А/м для 2ЭС10» [60].

«С учетом методики оценки магнитных полей 50 Гц измерения должны проводиться при работе электроустановки на максимальной мощности либо пересчитываться на максимальный ток. После пересчета на максимальный рабочий ток уровень напряженности магнитного поля с частотой 50 Гц не превышает предельно допустимого уровня (ПДУ) в 80 А/м» [60].

В машинном отделении ток электровоза меняется в зависимости от схемы соединения тяговых двигателей и способов их возбуждения. Для электровоза ВЛ11, при скорости $V = 59,5$ км/ч, максимальный ток на тяговых двигателях – 725 А, при этом общий ток электровоза составит $I_{\Sigma} = 725 \cdot 4 = 2900$ А. После преобразования на максимальный ток, уровень напряженности магнитного поля 50 Гц в машинном отделении электровоза ВЛ11 находится ниже 80 А/м [130].

Максимальный ток электровоза 2ЭС10 на один токоприемник в часовом режиме составляет 3200 А. Максимально потребляемый ток двух электровозов 2ЭС10, соединенных по системе многих единиц, в часовом режиме составляет 4200 А. В кабине электровоза и машинном отделении 2ЭС10 [60], после оценки на максимальный рабочий ток, уровни магнитных полей с частотой 50 Гц ниже нормы [130].

Впервые нами определены зависимости изменения напряженности магнитных полей со спектром высших гармонических составляющих от величины тока как в кабинах электровозов ВЛ11 и 2ЭС10, так и в машинных отделениях [60].

Уравнения регрессионных моделей $y(x) = \sum H(I)$ приведены в таблице 4.2. Получены линейные зависимости изменения напряженности магнитного поля от величины тока и коэффициенты детерминации (0,8...0,96), которые показывают высокую корреляцию [60].

Таблица 4.2

Уравнения регрессионных моделей $y(x) = \sum H(I)$

Наименование [42]	Тип функции [42]	Уравнения регрессионных моделей [42]	Коэффициент детерминации [42]	Возможность использования зависимости [42]
ВЛ11, кабина электровоза [42]				
$y(x) = \sum H_{ВЛ11, к}(I)$	линейная	$y = 0,0125x - 0,40$	$R^2 = 0,82$	Да
ВЛ11, машинное отделение электровоза [60]				
$y(x) = \sum H_{ВЛ11, м}(I)$	линейная	$y = 0,0321x - 2,42$	$R^2 = 0,95$	Да
2ЭС10, кабина электровоза [60]				
$y(x) = \sum H_{2ЭС10, к}(I)$	линейная	$y = 0,009x + 0,25$	$R^2 = 0,94$	Да
2ЭС10, машинное отделение электровоза [60]				
$y(x) = \sum H_{2ЭС10, м}(I)$	линейная	$y = 0,0141x - 0,65$	$R^2 = 0,95$	Да

«Приведенные модели можно использовать для определения уровней магнитных полей в ЭПС при различных режимах его работы» [192]. Уровни электрических полей 50 Гц в ВЛ11 и 2ЭС10 приведены на рисунке 4.4 [60].

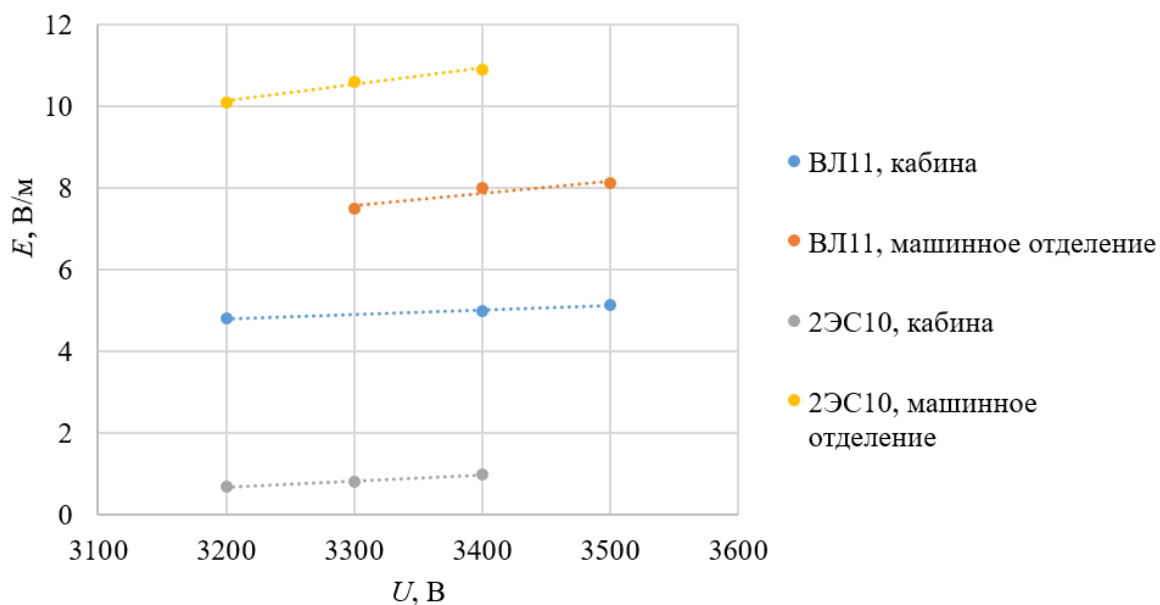


Рисунок 4.4 – Линейные зависимости электрических полей 50 Гц в ВЛ11 и 2ЭС10 от уровня напряжения в контактной сети [60]

В кабине электровоза 2ЭС10 при $U = 3500$ В напряженность электрического поля с частотой 50 Гц составляет 1,52 В/м, а в машинном отделении – 11,02 В/м, что ниже предельно допустимого уровня (ПДУ) в 5000 В/м, как и при пересчете на максимальное напряжение (4 кВ). Наибольшая напряженность электрического поля 50 Гц зафиксирована в машинном отделении электровоза 2ЭС10 и при $U = 3400$ В составляет 10,9 В/м. После перерасчета на максимальное напряжение уровни электрических полей с частотой 50 Гц в 2ЭС10 не превышают ПДУ [130]. При отдельной оценке электрического и магнитного полей можно считать, что в электровозе 2ЭС10 электрические поля с частотой 50 Гц являются безопасными [60].

Напряженность электрического поля 50 Гц в кабине электровоза ВЛ11 при $U = 3500$ В составляет 5,14 В/м, а в машинном отделении при том же уровне напряжения – 8,12 В/м, что ниже норм. Пересчитав в ВЛ11 уровни электрических полей с частотой 50 Гц на максимальное напряжение (4 кВ), получили, что они не превышают ПДУ [130]. При отдельной оценке электрического и магнитного полей можно считать, что в электровозе ВЛ11 электрические поля с частотой 50 Гц также безопасны, как и в 2ЭС10 [60].

Построенные уравнения регрессионных моделей $y(x) = \sum E(U)$ приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Уравнения регрессионных моделей [60] $y(x) = \sum E(U)$

Наименование	Тип функции	Уравнения регрессионных моделей	Коэффициент детерминации	Возможность использования зависимости
ВЛ11, кабина электровоза				
$y(x) = \sum E_{ВЛ11, к}(U)$	линейная	$y = 0,0012x + 2,11$	$R^2 = 0,98$	Да
ВЛ11, машинное отделение электровоза [60]				
$y(x) = \sum E_{ВЛ11, м}(U)$	линейная	$y = 0,0035x - 2,56$	$R^2 = 0,89$	Да
2ЭС10, кабина электровоза [60]				
$y(x) = \sum E_{2ЭС10, к}(U)$	линейная	$y = 0,0027x - 3,13$	$R^2 = 0,96$	Да
2ЭС10, машинное отделение электровоза [60]				
$y(x) = \sum E_{2ЭС10, м}(U)$	линейная	$y = 0,005x - 2,25$	$R^2 = 0,98$	Да

Коэффициенты детерминации (0,89...0,98) уравнений регрессионных моделей показывают высокую корреляцию. Полученные зависимости изменений между напряжением в КС и напряженностью электрического поля со спектром высших гармонических составляющих будут использованы при разработке системы защиты [60].

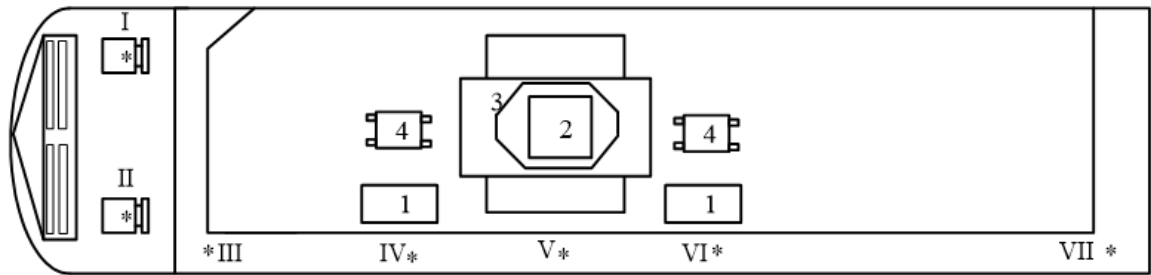
По результатам экспериментальных исследований показано, что уровни электрических и магнитных полей 50 Гц не превышают ПБУ, как и ЭМП со спектром высших гармонических составляющих [60].

Аддитивному воздействию электрических и магнитных полей [60] подвержены и машинисты (помощники машинистов), «обслуживающие ЭПС переменного тока, проведем экспериментальные исследования рассмотренных факторов в ЭПС переменного тока (разд. 4.2)» [141].

4.2. «Экспериментальные исследования электрических и магнитных полей в электровозах переменного тока» [141]

На основании разработанной нами программы проведения исследований электромагнитных полей в электроподвижном составе (Приложение И) экспериментальным путем определены уровни электрических и магнитных полей [60].

Исследования осуществлены на трех единицах электровозов ВЛ80^с разных лет выпуска. Поскольку при измерениях были получены аналогичные уровни электрических и магнитных полей во всех трех электровозах ВЛ80^с, не было необходимости проводить измерения на других электровозах той же серии. Мы считаем такие рабочие места аналогичными. Расположение точек измерения электрических и магнитных полей (ЭП и МП) по длине кузова электровоза ВЛ80^с указано на рисунке 4.5[60].



I...VII – расположение точек измерения; 1 – выпрямительная установка;
 2 – переходный реактор; 3 – тяговый трансформатор;
 4 – сглаживающий реактор

Рисунок 4.5 – Эскиз электровоза ВЛ80^с с расположением точек измерения напряженностей электрического и магнитного полей

Условия, при которых проводились измерения, приведены в таблице 4.4. Одновременно с исследованиями был протестирован разработанный нами индикатор магнитного поля 50 Гц [60].

Таблица 4.4

Условия, при которых проводились измерения электрического и магнитного полей в электровозах переменного тока [60]

Характеристика	ВЛ80 ^с
Мощность, кВт	6520
Вес поезда, т	5109
Число осей поезда	284 (71 вагон)
Температура, °С	31,2...30,3
Влажность, %	30,4...35,1

При увеличении массы поезда, числа вагонов и крутизны подъема увеличивается нагрузка на тяговые двигатели электровоза, что приводит к максимальной величине потребляемого ими тока I [60].

При проведении экспериментальных исследований в кабинах и машинных отделениях рассмотренных электровозов, кроме магнитных и электрических полей 50 Гц, были зафиксированы поля со спектром частот 25, 75, 125, 150, 175,...600 Гц. В настоящее время в России ЭМП с вышеуказанными частотами не

подлежат оценке, контролю и нормированию из-за отсутствия действующих санитарных правил [60].

Зависимости изменения уровней напряженности магнитных полей со спектром высших гармонических составляющих от величины тока $y(x) = \sum H(I)$ в электровозах ВЛ80° приведены в таблице 4.5[60].

Таблица 4.5

Уравнения регрессионных моделей $y(x) = \sum H(I)$ [60]

Наименование [60]	Уравнения регрессионных моделей [60]	Коэффициент детерминации [60]	Возможность использования зависимости [60]
ВЛ80°, кабина электровоза [60]			
$y(x) = \sum H(I)_{\text{ВЛ80}^\circ, \text{к}}$	$y = 0,0299x + 0,51$	$R^2 = 0,98$	Да
ВЛ80°, машинное отделение электровоза [60]			
$y(x) = \sum H(I)_{\text{ВЛ80}^\circ, \text{м}}$	$y = 0,3997x - 82,70$	$R^2 = 0,97$	Да

Коэффициенты детерминации (0,97 и 0,98) показывают высокую корреляцию (таблица 4.5); уравнения регрессионных моделей можно использовать для составления прогнозов по изменению уровней магнитных полей со «спектром высших гармонических составляющих в рассматриваемых ЭПС» [191]. Зависимости изменения уровней напряженности электрических полей со спектром высших гармонических составляющих от величины тока $y(x) = \sum E(U)$ в электровозах ВЛ80° приведены в таблице 4.6 [60].

Таблица 4.6

Уравнения регрессионных моделей $y(x) = \sum E(U)$ [60]

Наименование [60]	Уравнения регрессионных моделей [60]	Коэффициент детерминации [60]	Возможность использования зависимости[60]
ВЛ80°, кабина [60]			
$y(x) = \sum E(U)_{\text{ВЛ80}^\circ, \text{к}}$	$y = 0,498x + 1261$	$R^2 = 0,90$	Да
ВЛ80°, машинное отделение [60]			
$y(x) = E(U)_{\text{ВЛ80}^\circ, \text{м}}$	$y = 0,075x + 1059$	$R^2 = 0,95$	Да

«Коэффициенты детерминации (0,90–0,95) соответствуют высокой корреляции уравнений регрессионных моделей. Полученные модели будут использованы при применении системы защиты электротехнического персонала.

При работе электровоза ВЛ80с на максимальной мощности, когда ток на тяговых электродвигателях достигнет 880 А, напряженность магнитного поля (МП) 50 Гц в кабине машиниста не превысит ПДУ МП 50 Гц (80 А/м) [130]. Необходимо отметить, что в этом случае оценка осуществлялась только по магнитной составляющей электромагнитного поля».

Экспериментально установлено, что максимальные значения напряженности магнитного поля» [60] в электровозе ВЛ80^с приходятся на зоны размещения выпрямительной установки, переходного и сглаживающего реакторов. При сравнении с ПДУ электрических полей 50 Гц в 5000 В/м превышения не зафиксировано (при отдельной оценке ЭП и МП).

Расхождения между результатами экспериментальных и теоретических исследований электрических и магнитных полей в электровозах ВЛ80^с составляют не более 5%.

«Основные принципы обеспечения безопасности труда, заключающиеся в предупреждении и профилактике повреждения здоровья персонала, не выполняются» [60], что подчеркивает необходимость использования разработанной нами системы защиты электротехнического персонала.

Аналогично мы выполним «исследования электрических и магнитных полей и в тяговых агрегатах переменного тока (разд. 4.3).

4.3. Экспериментальные исследования электрических и магнитных полей в тяговых агрегатах [60]

Российская Федерация располагает более чем 170 месторождениями железных руд» [60], добыча осуществляется на восьми крупнейших ГОКах: Лебединском, Михайловском, Стойленском, Качканарском, Костомукшском, Оленегорском, Ковдорском и Коршуновском. На каждом из них широко

используются тяговые агрегаты. Это мощные и перспективные локомотивы, которые представляют интерес для исследования электромагнитных полей.

Нами впервые были исследованы электрические и «магнитные поля переменного тока при различных режимах работы тяговых агрегатов:

- тяга;
- рекуперативное торможение;
- холостой ход.

Всего было обследовано девять единиц тяговых агрегатов трёх серий. Измерения проводились прибором «Экофизика». Полученные уровни напряжённости электрических и магнитных полей на одной и той же серии тяговых агрегатов (EL-20, НП-1, ОПЭ-1АМ) были схожи, поэтому дополнительные исследования полей не потребовались. Рабочие места считаем аналогичными» [60].

«Условия, при которых проводились экспериментальные исследования полей, указаны в таблице 4.7.

Таблица 4.7

Условия, при которых проводились измерения электрических и магнитных полей в тяговых агрегатах [60]

Характеристика [60]	Серия тягового агрегата [60]		
	EL-20 [60]	НП-1 [60]	ОПЭ-1АМ [60]
Мощность, кВт	5367	7600	7580
Температура, °C	14,3...25	17,3...24,8	16,2...24,3
Влажность, %	70...23,3	21,5...25	82...25

В данном исследовании анализируется влияние величины тока и напряжения на уровни электрических и магнитных полей в тяговых агрегатах. Результаты исследования подтверждают, что максимальные значения этих полей наблюдаются в режиме тяги. Приведенные данные могут быть полезны для дальнейших исследований и разработки системы защиты персонала» [60].

«В кабинах тяговых агрегатов не наблюдается превышения предельно допустимых уровней магнитных полей 50 Гц. При проведении исследований, как в кабинах тяговых агрегатов, так и в машинных отделениях, зафиксированы электромагнитные поля (ЭМП) со спектром частот 25, 50, 75, 125, 150, 175,...,675 Гц. Впервые мы получили уравнения регрессионных моделей, иллюстрирующие зависимость между током в КС и напряженностью магнитных полей со спектром высших гармонических составляющих в электровозах ВЛ80^с (таблица 4.8)» [60].

Таблица 4.8

Уравнения регрессионных моделей [60] $y(x) = \sum H(I)$

Наименование	Тип функции	Уравнения регрессионных моделей	Коэффициент детерминации	Возможность использования зависимости
ОПЭ-1АМ				
Кабина				
$y(x) = \sum H(I)_{\text{ОПЭ-1АМ, к}}$	линейная	$y = 0,779x + 4,7641$	$R^2 = 0,95$	Да
Машинное отделение				
$y(x) = \sum H(I)_{\text{ОПЭ-1АМ, м}}$	линейная	$y = 0,182x - 6,1915$	$R^2 = 0,93$	Да
ЕЛ-20				
Кабина				
$y(x) = \sum (I)_{H_{\text{ЕЛ-20, к}}}$	линейная	$y = 0,0821x + 8,7321$	$R^2 = 0,92$	Да
Машинное отделение				
$y(x) = \sum (I)_{H_{\text{ЕЛ-20, м}}}$	линейная	$y = 0,1690x - 5,3385$	$R^2 = 0,97$	Да
НП-1				
Кабина				
$y(x) = \sum (I)_{H_{\text{НП-1, к}}}$	линейная	$y = 0,0811x - 7,8634$	$R^2 = 0,94$	Да
Машинное отделение				
$y(x) = \sum (I)_{H_{\text{НП-1, м}}}$	линейная	$y = 0,131x - 3,9923$	$R^2 = 0,96$	Да

Коэффициенты детерминации (таблица 4.8) варьируются от 0,92 до 0,97, что свидетельствует о высокой степени корреляции. Для того чтобы определить, безопасны ли они, требуется сравнить их с предельно допустимыми уровнями (ПДУ), так как эти поля действуют одновременно, поэтому необходимо провести дозовый анализ (разд. 5.1).

Исследуем электрические поля в тяговых агрегатах. Во всех рассмотренных кабинах тяговых агрегатов напряженность ЭП 50 Гц ниже предельно допустимого уровня ЭП 50 Гц, поэтому если оценивать только ЭП 50 Гц, то этот уровень считается безопасным для электротехнического персонала [60].

Полученные нами уравнения регрессионных моделей по электрической составляющей ЭМП со спектром высших гармонических составляющих в тяговых агрегатах приведены в таблице 4.9 [60].

Таблица 4.9

Уравнения регрессионных моделей [60] $y(x) = \sum E(U)$

Наименование	Тип функции	Уравнения регрессионных моделей	Коэффициент детерминации	Возможность использования зависимости
ОПЭ-1АМ				
Кабина				
$y(x) = \sum E_{\text{ОПЭ-1АМ, к}}(U)$	линейная	$y = 0,1479x - 641,52$	$R^2 = 0,95$	Да
Машинное отделение				
$y(x) = \sum E_{\text{ОПЭ-1АМ, м}}(U)$	линейная	$y = 0,188x - 171,88$	$R^2 = 0,90$	Да
ЕЛ-20				
Кабина				
$y(x) = \sum E_{\text{ЕЛ-20, к}}(U)$	линейная	$y = 0,095x - 86,531$	$R^2 = 0,98$	Да
Машинное отделение				
$y(x) = \sum E_{\text{ЕЛ-20, м}}(U)$	линейная	$y = 0,1278x + 35,731$	$R^2 = 0,98$	Да
НП-1				
Кабина				
$y(x) = \sum E_{\text{НП-1, к}}(U)$	линейная	$y = 0,089x - 40,411$	$R^2 = 0,94$	Да
Машинное отделение				
$y(x) = \sum E_{\text{НП-1, м}}(U)$	линейная	$y = 0,169x + 33,277$	$R^2 = 0,95$	Да

«Уравнения регрессионных моделей (коэффициенты детерминации изменяются от 0,91 до 0,98) обладают высокой значимостью» [40] и могут быть использованы при разработке мероприятий по защите персонала.

В связи с отсутствием предельно допустимых уровней электрических и магнитных полей в рассматриваемом частотном диапазоне, мы разработали

методику (разд. 2.5), основанную на международной практике нормирования [60].

Построенные уравнения регрессионных моделей будем использовать в дальнейшем для оценки электромагнитных «полей со спектром частот 25, 50, 75, 125, 150, 175,...,675 Гц» [60] с точки зрения безопасности труда персонала, обслуживающего ЭПС.

Выводы по главе 4

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования электрических и магнитных полей переменного тока в электроподвижном составе магистрального и промышленного транспорта показали, что:

- уровни электрических и магнитных полей в ЭПС постоянного тока являются допустимыми. При оценке вероятности повреждения здоровья персонала категория – «малозначимая», поэтому оценка дополнительных параметров не требуется;
- в ЭПС переменного тока по полученным результатам необходимо проводить аналитические исследования, поскольку существует вероятность возникновения событий, соответствующих повреждению здоровья персонала;
- в электроподвижном составе переменного тока, в том числе и в грузовом (тяговые агрегаты), присутствуют электрические и магнитные поля, которые не оцениваются и не нормируются в России, что подтверждается экспериментальными исследованиями;
- расхождения между результатами экспериментальных и теоретических исследований электрических и магнитных полей составляют не более 5%.

В связи с вышеизложенным:

- Необходимо использовать методику, позволяющую аддитивно оценивать и нормировать электрические и магнитные поля (разд. 2.5).
- Рекомендуются провести аналитические исследования энергетических характеристик ЭМП в ЭПС (разд. 5.1).

- Требуется определить вероятность наступления событий, связанных с воздействием энергетических характеристик ЭМП в ЭПС переменного тока (разд. 5.2).
- Для защиты персонала от воздействия электрических и магнитных полей необходимо разработать систему защиты электротехнического персонала (разд. 5.3).
- Следует определить социально-экономическую эффективность внедрения устройств, входящую в систему защиты электротехнического персонала (разд. 5.3).

Глава 5. СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА: ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

Машинисты и помощники машинистов на протяжении 60 лет используют контактную сеть переменного тока и подвергаются аддитивному воздействию электрических и магнитных полей. При этом ЭМП со спектром высших гармонических составляющих не нормируются и не контролируются, что может привести к вероятности повреждения здоровья персонала [60].

Рассмотрим возможность применения предложенных методов оценки и нормирования электрических и магнитных полей [60] «при их аддитивном воздействии на электротехнический персонал» [43], обслуживающий ЭПС. Для этого проведем аналитические исследования энергетических характеристик электромагнитных полей в ЭПС (разд. 5.1), определим категории вероятности повреждения здоровья персонала (разд. 5.2), разработаем систему защиты электротехнического персонала, включающую методическое, организационное, лечебно-профилактическое и техническое обеспечение (разд. 5.3) и определим социально-экономическую эффективность внедрения устройств, входящих в систему защиты электротехнического персонала (разд. 5.3).

5.1. Аналитические исследования энергетических характеристик ЭМП в электроподвижном составе

В соответствии с методикой аддитивной дозовой оценки параметров электромагнитного поля на рабочих местах в производственных условиях (см. разд. 2.5) проведём аналитические исследования энергетических характеристик ЭМП в электроподвижном составе. Особое внимание уделяется случаям, когда на рабочих местах присутствует ЭМП со спектром высших

гармонических составляющих, формирующихся от двух и более частот в диапазоне от 25 Гц до 1 кГц [60].

Для этого на основе полученных уровней ЭМП предлагается определить среднесменную энергетическую нагрузку ЭМП. Среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП переменного тока от ряда гармоник определяется как сумма энергетических нагрузок каждой отдельной гармоники [60].

Далее мы определим суточную дозу потенциальной энергии облучения и удельную суточную дозу поглощённой энергии ЭМП. Суточные дозы потенциальной энергии облучения ЭМП в кабинах и машинных отделениях электроподвижных составов формируются с учётом суммарных уровней среднесменных энергетических нагрузок ЭМП от 25 до 675 Гц, длительности пребывания работника на рабочем месте, площади тела человека, а также статистической вероятности воздействия дозы потенциальной энергии ЭМП. Статистическая вероятность изменяется в зависимости от длительности нахождения персонала под воздействием ЭМП: для 8-часовой экспозиции она составляет 0,33, а для одночасовой – 0,042 [60].

При расчёте суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП длительность пребывания работника в кабине ЭПС (тягового агрегата) была принята за 8 часов, а в машинном отделении – 1 час. Площадь тела человека определялась по формуле Мостеллера через рост и массу.

Электровозы постоянного тока

Результаты расчётов суточных доз потенциальной энергии облучения ЭМП в кабинах и машинных отделениях электроподвижного состава ВЛ11 и 2ЭС10 представлены на рисунке 5.1.

В связи с тем, что уровни суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП были во много раз ниже ПБУ, поэтому уровни суточных доз потенциальной энергии облучения ЭМП также не превышают безопасных значений [60].

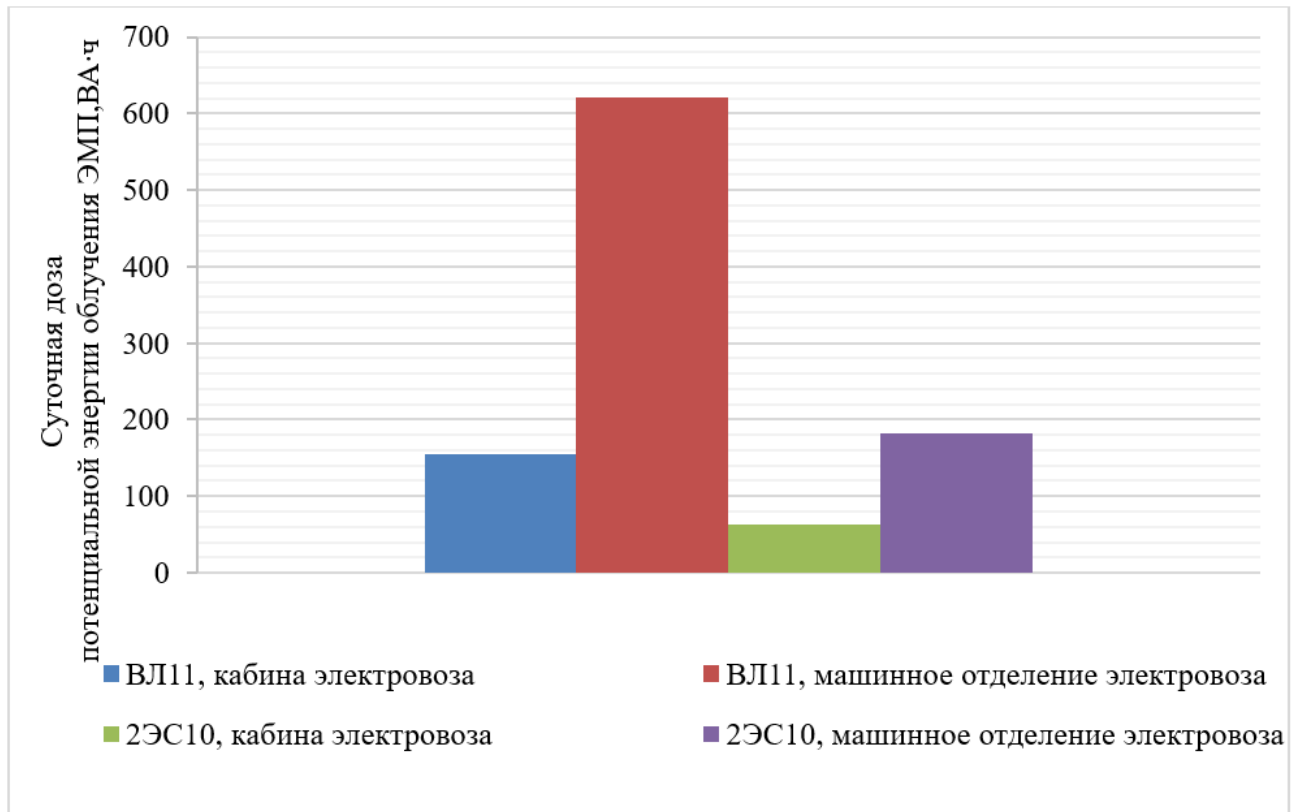


Рисунок 5.1 – Суточная доза потенциальной энергии облучения ЭМП в электроподвижном составе ВЛ11 и 2ЭС10 [60]

Нами установлено, что как в кабинах ЭПС, так и в машинных отделениях уровни суточных доз потенциальной энергии облучения ЭМП не превышают ПБУ в 463 кВА·ч для персонала с площадью тела ($S=1,97 \text{ м}^2$) [60].

Несмотря на то, что дальнейшая оценка удельной суточной дозы поглощённой энергии ЭМП в ЭПС постоянного тока относительно рассмотренных параметров не требовалась, мы её проведём для научного анализа [60].

Удельная суточная доза потенциальной поглощённой энергии ЭМП определяется в зависимости от массы тела персонала [60]; согласно статистике, электротехнический персонал страдает ожирением, поэтому её расчёт был проведен для человека массой 80 кг (рисунок 5.2) [60].

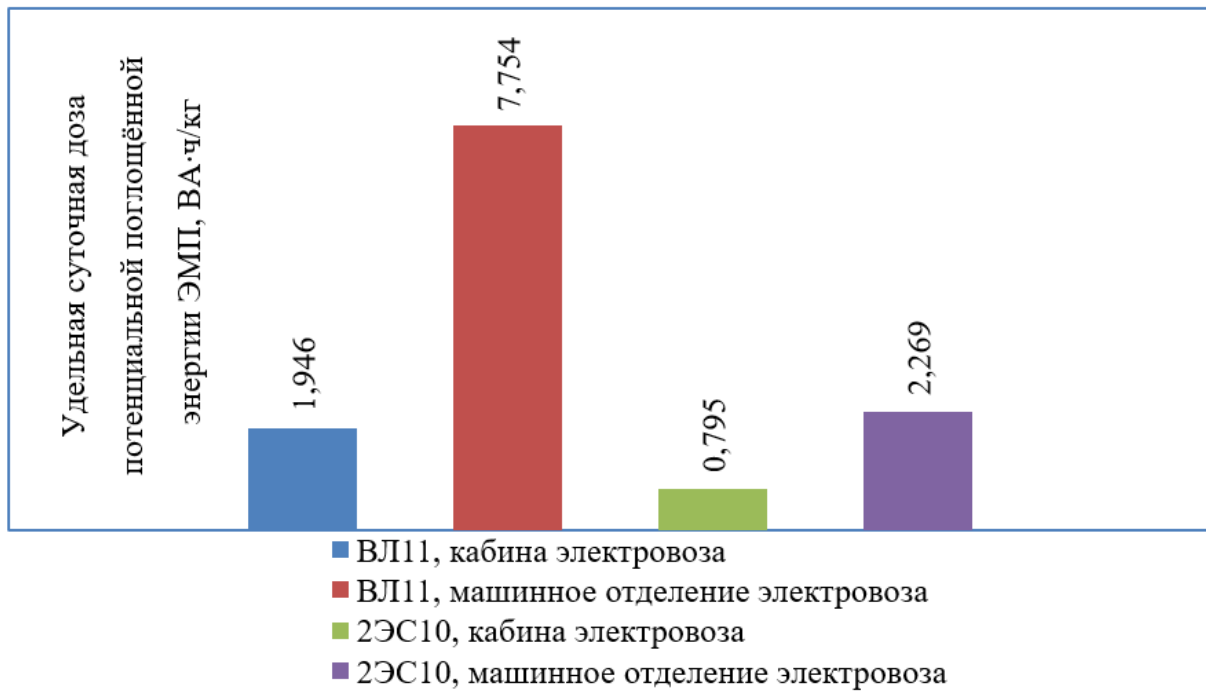


Рисунок 5.2 – Удельная суточная доза потенциальной поглощённой энергии ЭМП [60] в электроподвижном составе постоянного тока

Уровни удельных суточных доз потенциальной поглощённой энергии ЭМП ниже ПБУ (7,53 кВАч/кг) как в кабинах ЭПС, так и в машинных отделениях. Следовательно, «вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала при аддитивной оценке электрических и магнитных полей» [44] переменного тока в рассматриваемых ЭПС будет «малозначительной» (таблица 5.1).

Таблица 5.1

Вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала, обслуживающего ВЛ11 и 2ЭС10

Группа событий	Вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала	Необходимость разработки мероприятий
События, связанные с воздействием на персонал:	Малозначимая	Меры по «снижению вероятности повреждения здоровья персонала не требуются» [44]
Электрических и магнитных полей 50 Гц ¹ [60]		
Электрических и магнитных полей: 25, 75, 125, 150, 175,...600 Гц ² [60]		

¹ Уровни электрических и магнитных полей 50 Гц в ЭПС постоянного тока не превышают ПДУ [60].

² В связи с отсутствием нормативных документов по оценке, контролю и нормированию ЭМП спектра частот в России, оценка осуществлена по разработанной нами методике «Аддитивное дозовое воздействие энергии ЭМП разного рода и частоты переменного тока до 1кГц на персонал в производственных условиях» [44].

Меры по снижению вероятности повреждения здоровья персонала не требуются, так как рабочие места машинистов и помощников машинистов электровозов ВЛ11 и 2ЭС10 можно считать безопасными в рамках электромагнитной безопасности.

Электровозы переменного тока

Рассмотрим энергетические характеристики ЭМП в электровозах ВЛ80^с и оценим суточные дозы потенциальной энергии облучения ЭМП (рисунок 5.3) [60].

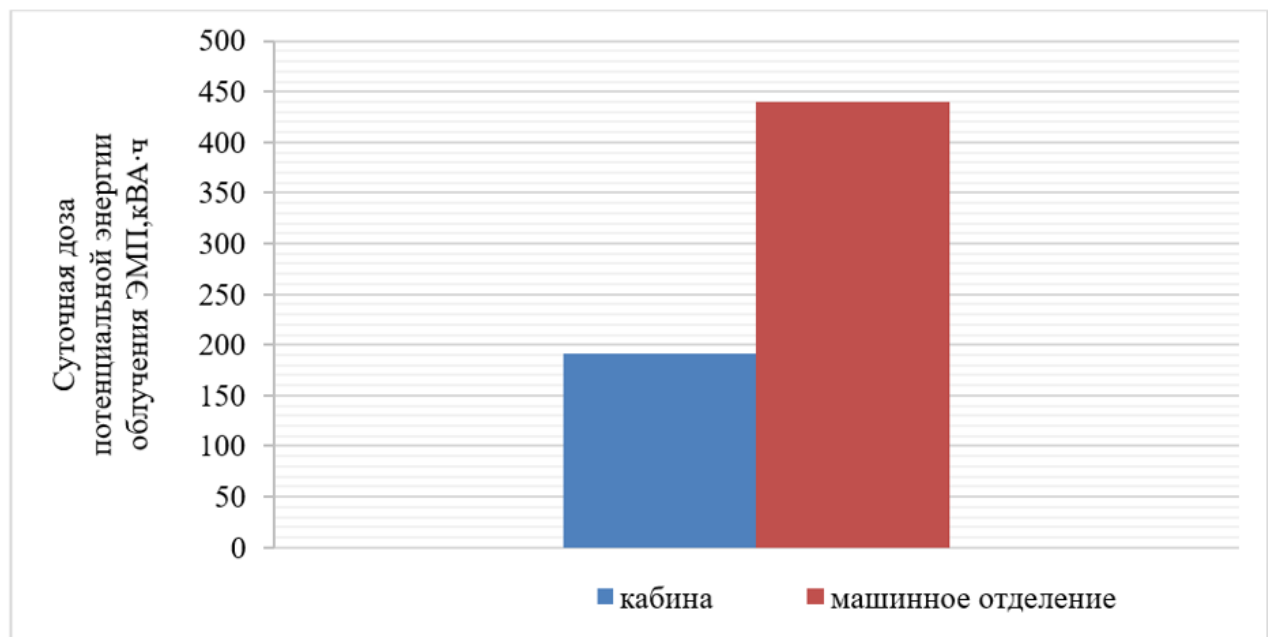


Рисунок 5.3 – Суточная доза потенциальной энергии облучения ЭМП в электроподвижных составах ВЛ80^с [60]

Анализ полученных данных (рисунок 5.3) показал, что уровни суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП при 8-часовом воздействии на персонал ($S=1,86 \text{ м}^2$) в кабинах ВЛ80° не превышают ПБУ (437 кВАч), чего нельзя сказать об уровнях дозы потенциальной энергии облучения ЭМП [60] в машинных отделениях [60]. Следовательно, вероятность повреждения здоровья машинистов при аддитивной оценке электрических и магнитных полей переменного тока ВЛ80° будет «малозначимой»; в этом случае меры по снижению вероятности повреждения здоровья персонала не требуются.

В связи с тем, что уровни суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП в машинных отделениях электровозов ВЛ80с превышают ПБУ, необходимо также определить потенциальную поглощённую энергию ЭМП в электроподвижном составе переменного тока ВЛ80° (рисунок 5.4) [60].

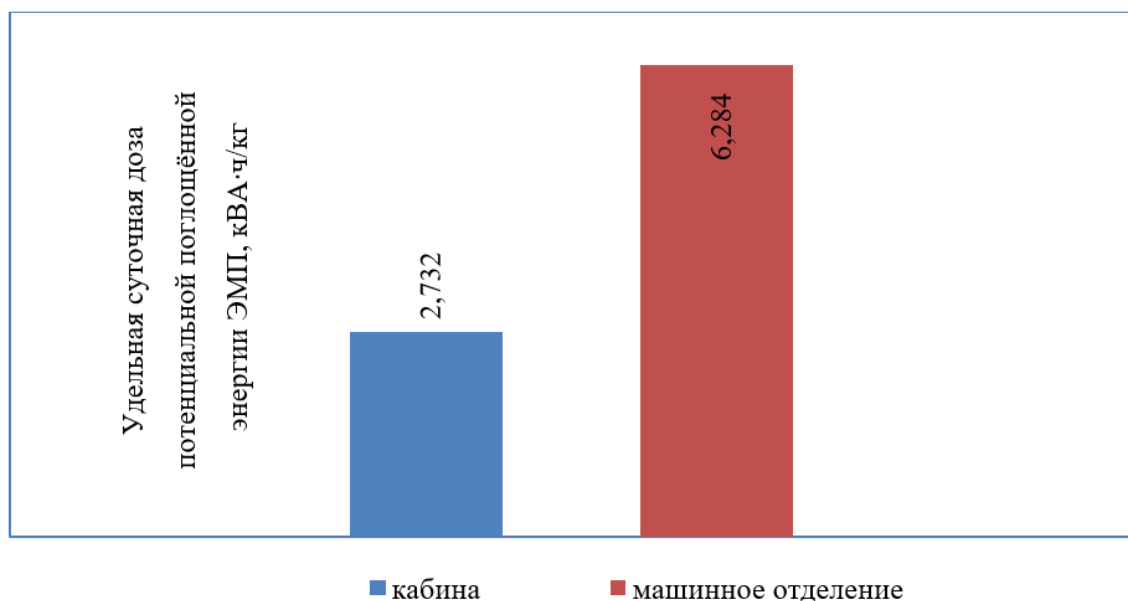


Рисунок 5.4 – Удельная суточная доза потенциальной поглощённой энергии ЭМП в электроподвижном составе переменного тока ВЛ80° [60]

Удельная суточная доза потенциальной поглощённой энергии ЭМП определяется через отношение суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП к площади тела человека (70 кг) [60]. Уровни удельных суточных доз потенциальной поглощённой энергии ЭМП в кабине и машинном отделении

ЭПС ниже ПБУ (7,49 кВАч/кг). Вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала (помощников машинистов) при аддитивной оценке электрических и магнитных полей переменного тока на рабочих местах помощников машинистов ВЛ80с «умеренная» (таблица 5.2).

Таблица 5.2

Вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала,
обслуживающего электровазы ВЛ80с

№	Группа событий	Вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала	Необходимость разработки мероприятий
	События, связанные с воздействием на персонал [42]:	Умеренная [42]	Требуется разработать мероприятия в соответствии с предложенной системой защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей [42]
¹	Электрических и магнитных полей 50 Гц [60]		
²	Электрических и магнитных полей: 25, 75, 125, 150, 175,...600 Гц [60]		

¹Обозначения – такие же, как в таблице 5.1.,²Обозначения – такие же, как в таблице 5.1.

Требуется разработать технических мероприятий по защите электротехнического персонала (помощников машинистов) при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей (разд. 5.3).

Тяговые агрегаты

Для расчёта удельной суточной дозы потенциальной поглощённой энергии ЭМП сначала необходимо определить суточную дозу потенциальной энергии облучения ЭМП. В соответствии с разработанной нами методикой оценим её в кабинах тяговых агрегатов ОПЭ-1АМ, EL-20 и НП-1 при 8-часовом воздействии на персонал. Результаты анализа могут быть использованы для разработки

рекомендаций по снижению вредного воздействия ЭМП и обеспечению безопасности труда на рассматриваемых рабочих местах [60].

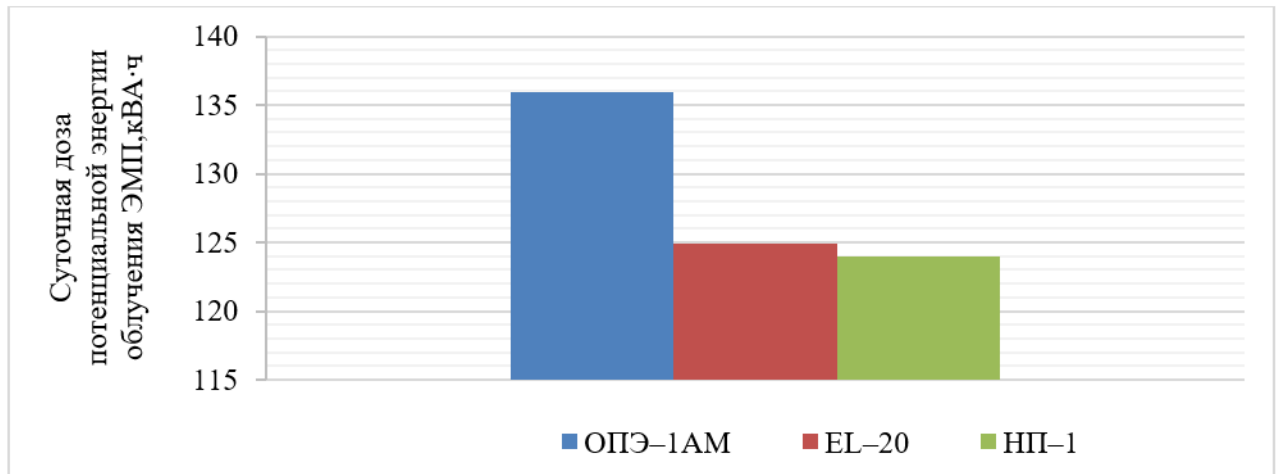


Рисунок 5.5 – Суточная доза потенциальной энергии облучения ЭМП в кабинах тяговых агрегатов ОПЭ-1АМ, EL-20, НП-1[60]

На рисунке 5.5 видно, что суточная доза потенциальной энергии облучения ЭМП в кабинах тяговых агрегатов ОПЭ-1АМ, EL-20 и НП-1 различается. Максимальная доза зафиксирована в ОПЭ-1АМ, минимальная — в НП-1. Дозы рассчитаны для персонала, имеющего площадь тела 1,97 м²; превышения безопасного уровня (437 кВА·ч) рассматриваемого фактора нет [60].

Рассмотрим удельную суточную дозу потенциальной поглощённой энергии ЭМП в кабинах рассматриваемых тяговых агрегатов (рисунок 5.6) [60].

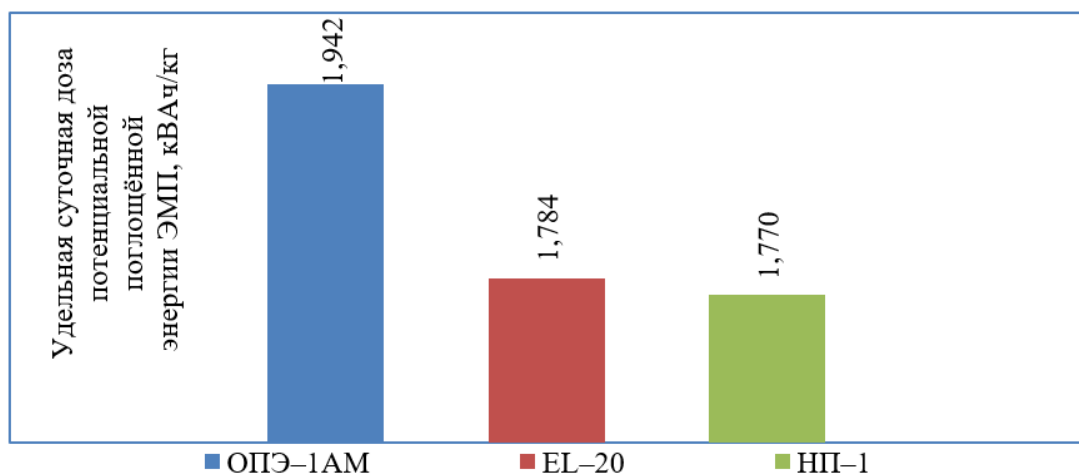


Рисунок 5.6 – Удельная суточная доза потенциальной поглощённой энергии ЭМП в кабинах тяговых агрегатов ОПЭ-1АМ, EL-20 и НП-1[60]

Уровни удельной суточной дозы поглощённой энергии ЭМП в кабинах тяговых агрегатов ОПЭ-1АМ, EL-20 и НП-1 не превышают ПБУ (7,49 кВА·ч/кг). Вероятность повреждения здоровья у машинистов, обслуживающих тяговые агрегаты ОПЭ-1АМ, EL-20 и НП-1 также «малозначимая», как и у машинистов электровозов ВЛ11, 2ЭС10 и ВЛ80° [60].

Уровни суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП в машинных отделениях тяговых агрегатов ОПЭ-1АМ, EL-20 и НП-1 приведены на рисунке 5.7[60].

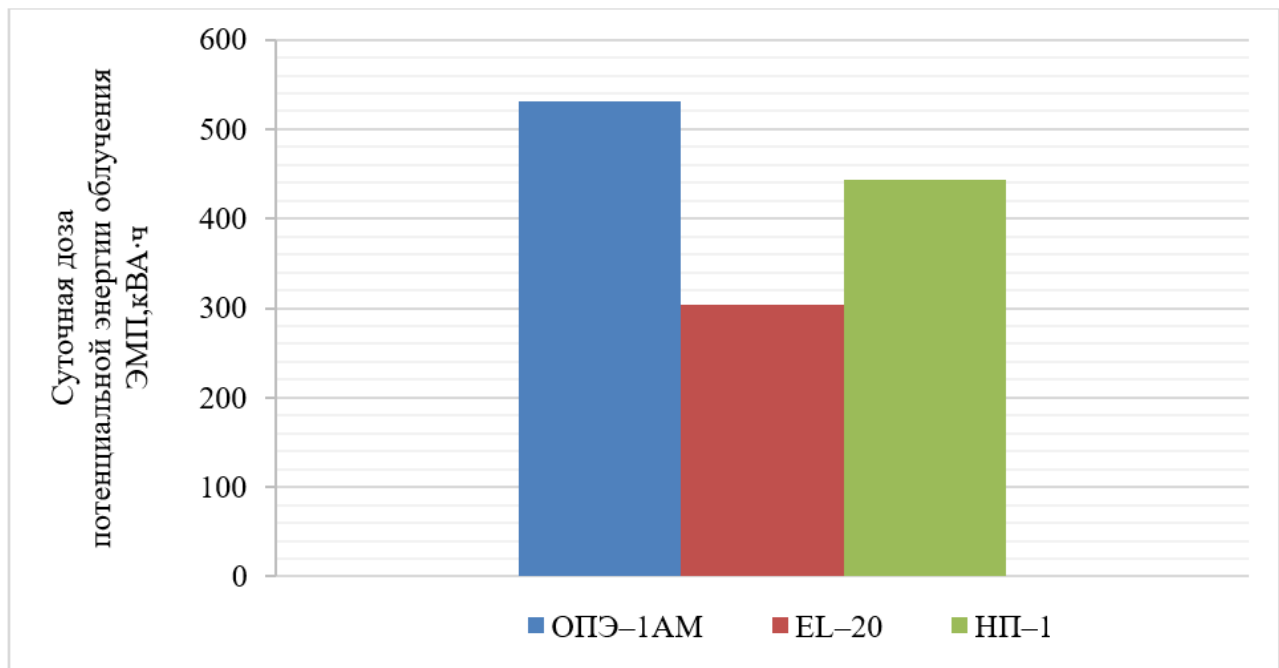


Рисунок 5.7 – Суточная доза потенциальной энергии облучения ЭМП в машинных отделениях тяговых агрегатов ОПЭ-1АМ [60], EL-20 и НП-1

Согласно данным, представленным на рисунке 5.7, уровни суточной дозы облучения ЭМП в ОПЭ-1АМ и НП-1 превышают предельно допустимые уровни (ПДУ) в 437 кВА·ч, что указывает на вероятность повреждения здоровья помощников машинистов, обслуживающих тяговые агрегаты. А в тяговых агрегатах EL-20 вероятность повреждения здоровья работников считается «малозначимой».

В рассматриваемых машинных отделениях тяговых агрегатов мы провели анализ суточной дозы потенциальной поглощённой энергии ЭМП; полученные результаты приведены на рисунке 5.8[60].

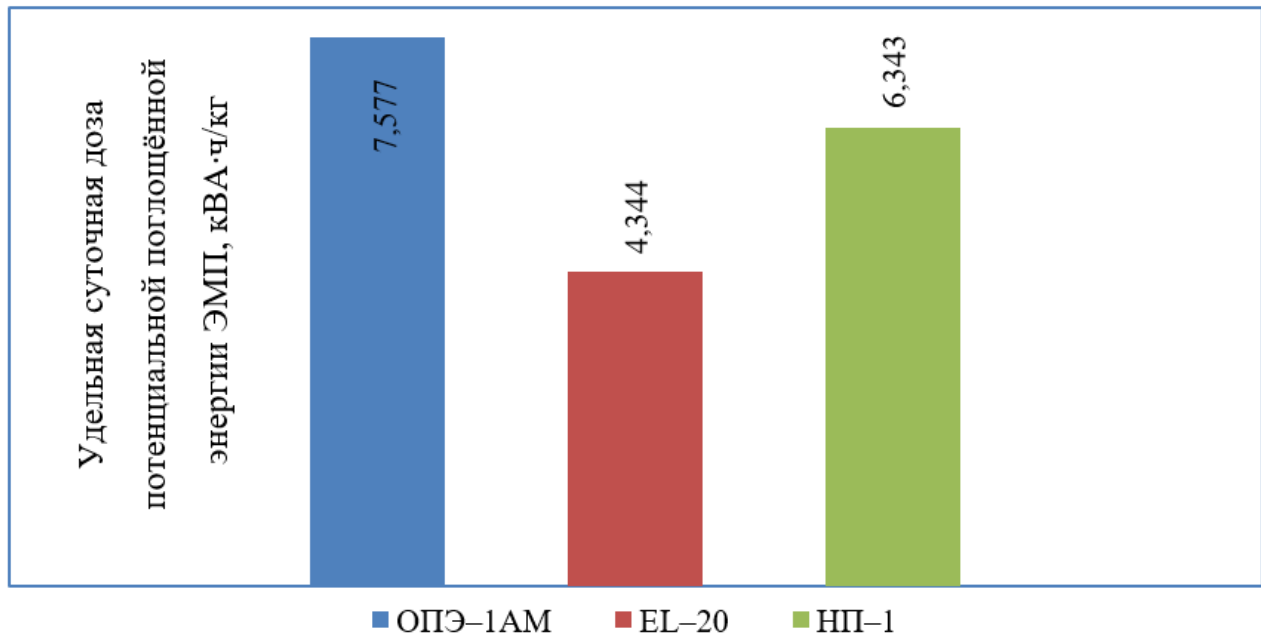


Рисунок 5.8 – Удельная суточная доза потенциальной поглощённой энергии ЭМП тяговых агрегатов ОПЭ-1АМ [60], EL-20, НП-1

Представленные результаты имеют большое значение для повышения уровня электромагнитной безопасности на рабочих местах электротехнического персонала и дальнейших исследований в области влияния ЭМП на его здоровье.

Вероятность повреждения здоровья у помощников машинистов тяговых агрегатов EL-20, НП-1 по предложенной нами удельной суточной дозе поглощённой энергии ЭМП не превышает ПБУ (7,49 кВА·ч/кг) [60].

В ОПЭ-1АМ суточная доза поглощённой энергии ЭМП [60] для персонала ($m=70$ кг) превышает ПБУ, поэтому вероятность повреждения здоровья будет «значительной».

В таблице 5.3 приведены данные о вероятности повреждения здоровья помощников машинистов тяговых агрегатов ОПЭ-1АМ, которые можно использовать при оценке потенциальных рисков на рабочих местах и для

разработки мер по их минимизации, обеспечивая безопасность работников в условиях аддитивного воздействия электрических и магнитных полей.

Таблица 5.3

Вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала,
обслуживающего тяговые агрегаты ОПЭ–1АМ

Группа событий	Вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала	Необходимость разработки мероприятий
События, связанные с воздействием на персонал:	Значительная	Необходимо использовать предложенную систему защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей [60].
Электрических и магнитных полей 50 Гц ¹ [60]		
Электрических и магнитных полей: 25, 75, 125, 150, 175,...600 Гц ² [60]		

¹Обозначения – такие же, как в таблице 5.1.,²Обозначения – такие же, как в таблице 5.1.

Требуется разработка и внедрение системы защиты электротехнического персонала, которая будет учитывать аддитивное воздействие электрических и магнитных полей [44]. Предложенная система (разд. 5.3) включает меры по мониторингу уровней полей, использование устройств контроля и методов минимизации воздействия, что позволит снизить вероятность производственно обусловленных заболеваний.

Нами выполнен расчёт энергетических характеристик ЭМП в ЭПС, что позволит точнее оценивать вероятность повреждения здоровья работников и разработать рекомендации для системы защиты персонала.

Возникает вопрос: с какой вероятностью возникают рассматриваемые события в ЭПС? Чтобы ответить на него необходимо оценить условную вероятность возникновения событий, отражающих уровни энергетических характеристик ЭМП в электровозах переменного тока (разд. 5.2) [60].

5.2. Практика использования категорий вероятности повреждения здоровья персонала при воздействии электромагнитных полей

Рассмотрим условную вероятность возникновения событий, отражающих уровни энергетических характеристик ЭМП в электровозах переменного тока. Уровни отдельных гармоник в спектре несинусоидального напряжения зависят от частотных характеристик сети тягового электроснабжения, поэтому рассмотрены вероятности наличия электрических полей нечетных гармоник в спектре несинусоидального напряжения (таблица 5.4.) [60].

Таблица 5.4

Условные вероятности наличия электрических полей контактной сети в ЭПС,
превышающих полудозовые ПБУ

Номер гармоники, i	Частота гармоники	Условные вероятности $p(E(f_i))$ *		Условные вероятности $p(E(f_i))$ **	
1	50	$p_{1.1.1} \cdot p_{2.1.1}$	0,060	$p_{1.1.2} \cdot p_{2.1.1}$	0,070
3	150	$p_{1.1.1} \cdot p_{2.1.2}$	0,021	$p_{1.1.2} \cdot p_{2.1.2}$	0,026
5	250	$p_{1.1.1} \cdot p_{2.1.3}$	0,0056	$p_{1.1.2} \cdot p_{2.1.3}$	0,007
7	350	$p_{1.1.1} \cdot p_{2.1.4}$	0,0024	$p_{1.1.2} \cdot p_{2.1.4}$	0,003
9	450	$p_{1.1.1} \cdot p_{2.1.5}$	0,0024	$p_{1.1.2} \cdot p_{2.1.5}$	0,003
11	550	$p_{1.1.1} \cdot p_{2.1.6}$	0,0016	$p_{1.1.2} \cdot p_{2.1.6}$	0,002
13	650	$p_{1.1.1} \cdot p_{2.1.7}$	0,0016	$p_{1.1.2} \cdot p_{2.1.7}$	0,002
15	750	$p_{1.1.1} \cdot p_{2.1.8}$	0,0008	$p_{1.1.2} \cdot p_{2.1.8}$	0,001

Пояснения: * расчёт осуществлён для электротехнического персонала, находящегося в кабине ЭПС; ** электротехнического персонала, присутствующего в машинном отделении ЭПС.

Условные вероятности формирования отдельных гармоник в спектре несинусоидального напряжения электрического поля контактной сети в кабине и машинном отделении различаются. Уровни условных вероятностей меняются в зависимости от спектра несинусоидального напряжения.

В соответствии с теоремой умножения для зависимых событий определены условные вероятности $p_{1.1.1} \wedge p_{2.1.1}$ и $p_{1.1.2} \wedge p_{2.1.1}$, которые являются ветвями дерева логико-вероятностной модели [60].

Для определения условной вероятности наличия аддитивного (суммарного) электрического поля частоты (f_i) в ЭПС, превышающего ПБУ, использована формула сложения совместных событий [60]:

$$\begin{aligned} p \sum E(f_i) &= p(E_{50} \vee E_{150} \vee E_{250} \vee E_{350} \vee E_{450} \vee E_{550} \vee E_{650} \vee E_{750}) = \\ &= p(E_{50}) + p(E_{150}) + p(E_{250}) + p(E_{350}) + p(E_{450}) + p(E_{550}) + p(E_{650}) + p(E_{750}) - \\ &- p(E_{50}) \cdot p(E_{150}) \cdot p(E_{250}) \cdot p(E_{350}) \cdot p(E_{450}) \cdot p(E_{550}) \cdot p(E_{650}) \cdot p(E_{750}) \end{aligned} \quad (5.1)$$

Тогда условная вероятность по (5.1) в кабине ЭПС составит 0,09, а в машинном отделении – 0,11[60]. Используем эти данные в дальнейшем для определения вероятностей, связанных с энергетическими характеристиками ЭМП.

Так как в исследованиях технических систем присутствует неопределенность, применим математический аппарат теории нечётких множеств и нечёткой логики. При построении математической модели рассмотрим аналитическое представление треугольной функции [60]:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}$$

Для задания треугольной функции принадлежности нечетких чисел введем в Mathcad следующие команды[60]:

Кабина		
$a := 8.7 \cdot 10^{-2}$	$b := 9.0 \cdot 10^{-2}$	$c := 9.3 \cdot 10^{-1}$
Машинное отделение		
$a := 10.65 \cdot 10^{-2}$	$b := 11.00 \cdot 10^{-2}$	$c := 11.35 \cdot 10^{-2}$

Тогда аналитическое представление треугольной функции trimf в Mathcad будет иметь вид [60]:

$$\text{trimfAFk}(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{if } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{if } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{if } c \leq x \end{cases} \quad (5.2)$$

Результат построения треугольных функций trimf в Mathcad приведен в графическом виде на рисунке 5.9.

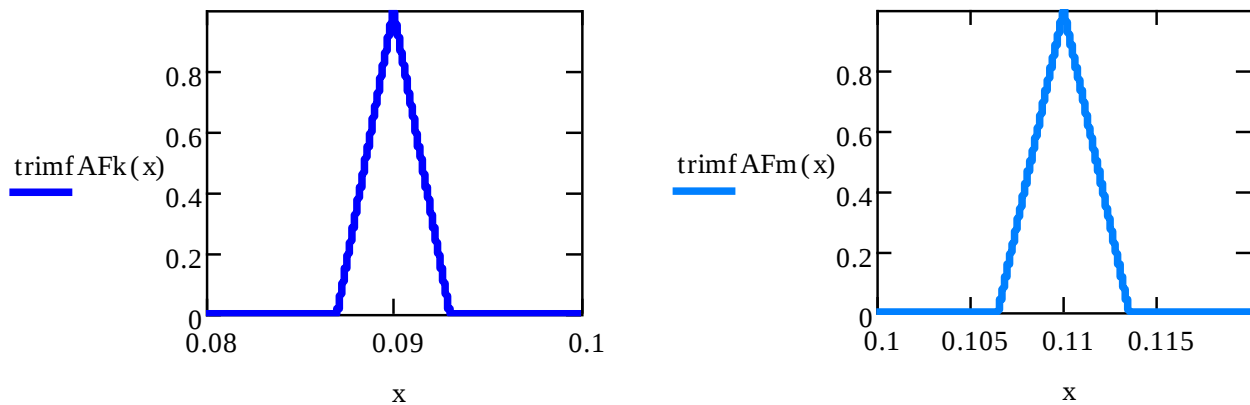


Рисунок 5.9 – Треугольные функции нечетких чисел, соответствующих условной вероятности наличия электрических полей, превышающих полудозовые ПБУ в кабине электровоза ВЛ80с – $\text{trimfAFk}(x)$, машинном отделении – $\text{trimfAFm}(x)$

Условные вероятности наличия магнитных полей на рабочих местах электротехнического персонала, превышающих полудозовые ПБУ приведены в таблице 5.5 [56].

Таблица 5.5

Условные вероятности наличия магнитных полей в машинном отделении ЭПС,
превышающих полудозовые ПБУ

Номер гармоники	Частота гармоники	Условная вероятность $p(H(f_i))$ *		Условная вероятность $p(H(f_i))^{**}$	
1	50	$p_{1.2.1} \cdot p_{3.2.1}$	0,036	$p_{1.2.2} \cdot p_{3.2.1}$	0,60
3	150	$p_{1.2.1} \cdot p_{3.2.2}$	0,013	$p_{1.2.2} \cdot p_{3.2.2}$	0,22
5	250	$p_{1.2.1} \cdot p_{3.2.3}$	0,004	$p_{1.2.2} \cdot p_{3.2.3}$	0,06
7	350	$p_{1.2.1} \cdot p_{3.2.4}$	0,002	$p_{1.2.2} \cdot p_{3.2.4}$	0,03
9	450	$p_{1.2.1} \cdot p_{3.2.5}$	0,001	$p_{1.2.2} \cdot p_{3.2.5}$	0,02
11	550	$p_{1.2.1} \cdot p_{3.2.6}$	0,001	$p_{1.2.2} \cdot p_{3.2.6}$	0,02
13	650	$p_{1.2.1} \cdot p_{3.2.7}$	0,001	$p_{1.2.2} \cdot p_{3.2.7}$	0,02
15	750	$p_{1.2.1} \cdot p_{3.2.8}$	0,001	$p_{1.2.2} \cdot p_{3.2.8}$	0,01

* Обозначения – такие же, как в таблице 5.4.

Аналогично используем формулу сложения совместных событий и определим условную вероятность наличия аддитивного (суммарного) магнитного поля гармоник (f_i), превышающего полудозовые ($1/2$) ПБУ. В кабине электровоза этот уровень составил $6,00 \cdot 10^{-2}$, а в машинном отделении – $9,8 \cdot 10^{-1}$. Для данных вероятностей указаны нечеткие числа [60]:

Кабина		
$a := 5.80 \cdot 10^{-2}$	$b := 6.00 \cdot 10^{-2}$	$c := 6.20 \cdot 10^{-2}$
Машинное отделение		
$a := 9.72 \cdot 10^{-1}$	$b := 9.8 \cdot 10^{-1}$	$c := 9.9 \cdot 10^{-1}$

Построим треугольные функции trimfAF, результат которого представим в графическом виде на рисунке 5.10.

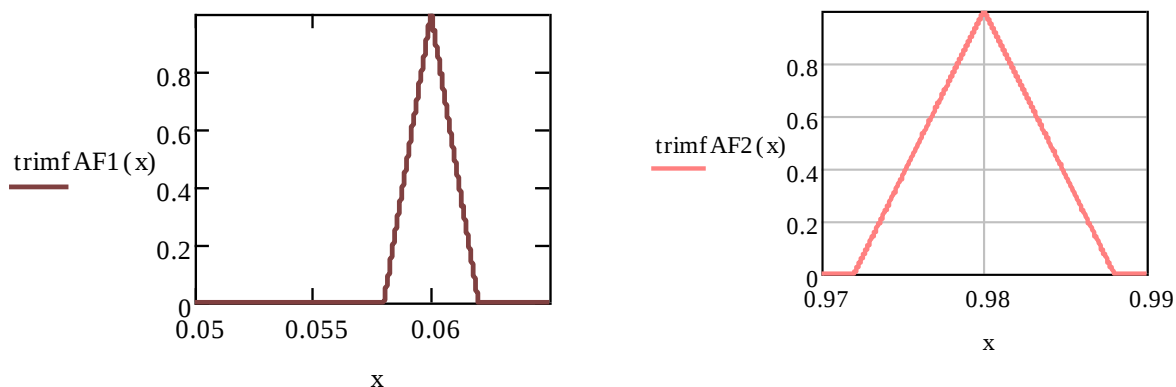


Рисунок 5.10 – Треугольные функции: $\text{trimfAF1}(x)$ для условной вероятности наличия магнитных полей, превышающих полудозовые ПБУ – в кабине электровоза переменного тока, $\text{trimfAF2}(x)$ – в машинном отделении [60]

По треугольным функциям видно, как изменяется условная вероятность наличия аддитивного (суммарного) магнитного поля гармоник (f_i), превышающего полудозовые ($1/2$) ПБУ [60].

Условная вероятность аддитивного (суммарного) магнитного поля f_i , не превышающего полудозовые ПБУ в ЭПС, определяются по формуле:

$$p(\sum \bar{H}) = 1 - p(\sum H(f_i)) = 1 - p(H_1 \vee H_2 \vee H_3 \vee H_4 \vee H_5 \vee H_6 \vee H_7 \vee H_8), \quad (5.3)$$

Условная вероятность при совместной реализации события, не превышающая полудозовые ($1/2$) ПБУ напряженности магнитных полей, в кабине электровоза составит 0,94, а в машинном отделении – 0,02 [60]. Соответственно, вероятность повреждения здоровья персонала «малозначимая» ($F-M$) как по электрической ($F-M, E(f_i)$), так и магнитной ($F-M, H(f_i)$) составляющим ЭМП.

Таким образом, определение дополнительных параметров энергетических характеристик ЭМП не требуется, и меры по снижению вероятности повреждения здоровья персонала не нужны [60].

При реализации сценария событий, когда уровни магнитных и электрических полей ЭПС превышают полудозовые ПБУ, необходимо их

оценивать комплексно через новое событие: влияние на персонал среднесменной энергетической нагрузки ЭМП. Независимые события $\sum E(f_i)$ и $\sum H(f_i)$ по среднесменной энергетической нагрузке ЭМП (вектору Умова-Пойнтинга, $\sum \mathcal{E}(f_i)$) могут быть найдены по формуле [60]:

$$p_{4.2} = p(\sum \mathcal{E}(f_i)) = p(E_{50} \vee E_{150} \vee E_{250} \vee E_{350} \vee E_{450} \vee E_{550} \vee E_{650} \vee E_{750}) \wedge p(H_{50} \vee H_{150} \vee H_{250} \vee H_{350} \vee H_{450} \vee H_{550} \vee H_{650} \vee H_{750}) \quad (5.4)$$

Получены треугольные функции условной вероятности наличия среднесменной энергетической нагрузки ЭМП в электровазоне переменного тока (рисунок 5.11).

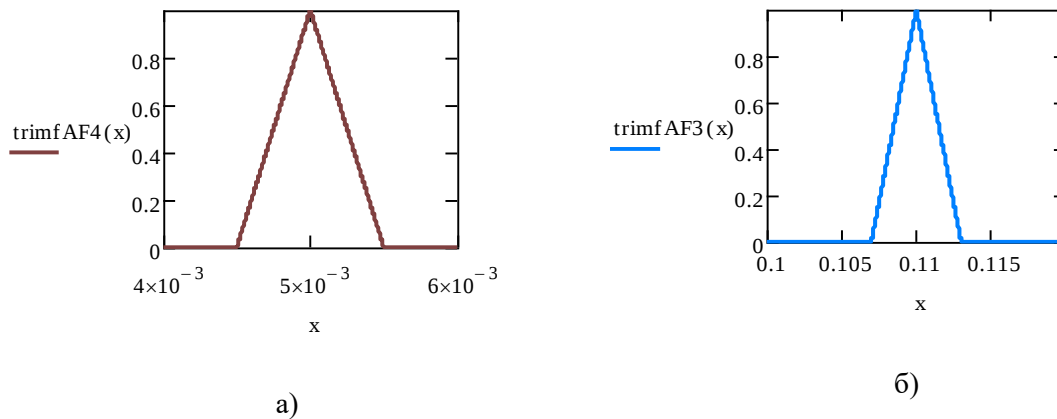


Рисунок 5.11 – Нечеткие числа для условной вероятности наличия энергетической нагрузки ЭМП в электровазоне ВЛ80с:
а – кабина, б – машинное отделение [60]

Нечеткие числа для условной вероятности [60] наличия энергетической нагрузки ЭМП в кабине изменяются от $4 \cdot 10^{-3}$ до $6 \cdot 10^{-3}$, а в машинном отделении от 0,1 до 0,115.

Противоположное событие определяется так:

$$p_{4.1} = p(\sum \bar{\mathcal{E}}(f_i)) = 1 - p \sum \mathcal{E}(f_i), \quad (5.5)$$

Полная условная вероятность превышения предельно безопасного уровня

энергетической нагрузки ЭМП при отсутствии средств защиты у персонала определяется по [60]:

$$p(F - Y, \sum \mathcal{E}(f_i)) = p(\sum \mathcal{E}(f_i)) \wedge p_{5.2}. \quad (5.6)$$

Условная вероятность $p(F - Y, \sum \mathcal{E}(f_i))$ содержит в себе произведение вероятностей $1 - (1 - p(H(f_i)) \cdot p(E(f_i)))$. Вероятность неприменения персоналом средств защиты при вредном влиянии энергетических характеристик ЭМП на персонал $p_{5.2}$ составляет 0,80. В таком случае, полная условная вероятность в кабине будет равна $4 \cdot 10^{-3}$, а в машинном отделении – $8,8 \cdot 10^{-2}$ [60].

При такой вероятности категория риска для здоровья персонала считается «умеренной» (F–Y), что требует принятия мер по ее снижению. В соответствии с системой защиты персонала предлагается использовать устройства контроля, которые можно установить в машинном отделении электровоза, а также направлять электротехнический персонал на периодические медицинские осмотры [60].

Вероятность наступления событий, связанных с воздействием на персонал аддитивных составляющих электромагнитного поля (ЭМП) — электрической и магнитной, — классифицируется как «умеренная» на основе энергетической нагрузки ЭМП. Поэтому необходимо определить вероятность повреждения здоровья персонала, основанную на суточной дозе потенциальной энергии облучения ЭМП [60].

Для определения $p(s)$ использовались статистические данные, указанные в [35]. На основе мониторинга факторов риска было отмечено, что у 16 % работников (машинисты, обслуживающие электровозы грузового движения) имеются признаки ожирения. Следовательно, их площадь тела не соответствует антропометрическим данным для здорового человека. Вероятность того, что электротехнический персонал, обслуживающий ЭПС, будет иметь S (площадь тела) больше нормы, составит $16 \cdot 10^{-2}$ [60].

Впервые нами определены условные вероятности воздействия на персонал уровней энергетических характеристик ЭМП, превышающих безопасные уровни (таблица 5.6) [60].

Таблица 5.6

Вероятность воздействия на персонал энергетических характеристик ЭМП, превышающих безопасные уровни [60]

Обозначения условных вероятностей	Кабина электровоза [60]	Машинное отделение [60]
Вероятность наличия суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП [60], $p(\sum \mathcal{E}(f_i))$	$5 \cdot 10^{-3}$	$11 \cdot 10^{-2}$
Статистическая вероятность нахождения персонала под воздействием полей [60], $p(v)$	$3,3 \cdot 10^{-1}$	$8,00 \cdot 10^{-2}$
Вероятность того, что электротехнический персонал работает с площадью тела [60]:		
превышающей норму [60]	$16 \cdot 10^{-2}$	
не превышающей норму [60]	$84 \cdot 10^{-2}$	
Вероятность вредного влияния суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП [60] $p(D_{co})$ на электротехнический персонал с массой тела:		
превышающей норму	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
не превышающей норму	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-3}$

Условная полная вероятность наступления события равна [60]:

$$p(F - 3, D_{co}) = p(D_{co}) \cdot p_{6.2}. \quad (5.7)$$

Вероятность неприменения персоналом средств защиты при вредном воздействии суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП $p_{6.2}$ изменяется от 0,6 до 0,70 [60].

Определим нечеткие числа для полных условных вероятностей энергетических характеристик ЭМП. Результаты расчета нечетких чисел для

условных вероятностей, определяемые на основе энергетических характеристик ЭМП [60], приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7

Нечеткие числа для полных условных вероятностей, определяемых на основе суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП

Энергетические характеристики ЭМП	Нечеткие числа
Кабина электровоза	
Условная вероятность, определяемая на основе суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП при площади тела персонала:	
превышающей норму	$(1,66 \cdot 10^{-4}; 1,7 \cdot 10^{-4}; 1,74 \cdot 10^{-4})$
не превышающей норму [60]	$(0,88 \cdot 10^{-3}; 0,89 \cdot 10^{-3}; 0,9 \cdot 10^{-3})$
Машинное отделение [60]	
Условная вероятность, определяемая на основе суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП при площади тела персонала [60]:	
превышающей норму [60]	$(0,88 \cdot 10^{-3}; 0,89 \cdot 10^{-3}; 0,9 \cdot 10^{-3})$
не превышающей норму [60]	$(4,6 \cdot 10^{-3}; 4,7 \cdot 10^{-3}; 4,8 \cdot 10^{-3})$

Полученные данные (таблица 5.7) будут использованы при расчете нечетких чисел для условных вероятностей удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП. В этом случае вероятность причинения вреда здоровью персонала является «значительной» (F–3), что требует организационно-технических мероприятий по снижению уровня этой вероятности в установленные сроки, а также расчёта удельной суточной дозы потенциальной поглощённой энергии ЭМП.

Полную условную вероятность повреждения здоровья персонала на основе удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП можно определить с помощью следующей формулы:

$$p(F - H, D_{\text{по}}) = p(D_{\text{по}}) \cdot p_{7.2}, \quad (5.8)$$

Результаты расчетов нечетких чисел сведены в таблицу 5.8. При определении условной вероятности удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП использовались данные [35], где указано, что только 40% машинистов, обслуживающих грузовые электровозы, не имеют избыточной массы тела и признаков ожирения [60]. Поэтому $p(m)$ принимаем равным 0,4.

Таблица 5.8

Нечеткие числа для условных вероятностей, основанные на удельной суточной дозе потенциальной поглощенной энергии ЭМП, превышающей ПБУ [60]

Энергетические характеристики ЭМП	Нечеткие числа
Кабина электровоза	
условная вероятность, определяемая на основании удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП, при массе тела персонала [60]:	
превышающей норму	$(5,27 \cdot 10^{-5}; 5,4 \cdot 10^{-5}; 5,53 \cdot 10^{-5})$
не превышающей норму	$(2,77 \cdot 10^{-4}; 2,9 \cdot 10^{-4}; 3,0 \cdot 10^{-4})$
Машинное отделение	
условная вероятность, определяемая на основе удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП, при массе тела персонала [60]:	
превышающей норму [60]	$(2,77 \cdot 10^{-4}; 2,9 \cdot 10^{-4}; 3,0 \cdot 10^{-4})$
не превышающей норму [60]	$(1,4 \cdot 10^{-3}; 1,5 \cdot 10^{-3}; 1,6 \cdot 10^{-3})$

Полная условная вероятность получения повреждения здоровья персонала на основе удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП варьируется [49] от $5,27 \cdot 10^{-5}$ до $1,6 \cdot 10^{-3}$. Указанная вероятность повреждения здоровья персонала «недопустимая» ($F-H$), что требует неотложных мер по снижению уровня вероятности. При использовании персоналом средств защиты вероятность повреждения здоровья персонала будет «значительная» ($F-3$), а при неиспользовании «недопустимая» ($F-H$). В этом случае потребуются

неотложные меры по снижению уровня вероятности [60]. Используя приведенные соотношения коэффициентов регрессии, уровни зависимости рассматриваемых событий составили: $\rho(\mathcal{E}, D_{co}) - 0,76$, а $\rho(D_{по}, D_{co}) - 0,92$, что говорит о высокой и очень высокой корреляции, то есть взаимосвязи рассматриваемых факторов [60].

Полученные результаты будут использованы для корректировки и уточнения технических решений, разработанных для защиты электротехнического персонала (разд. 5.3).

5.3. Система защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей

Исследовав закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП в ЭПС, мы доработали ранее предложенную модель системы защиты «персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей (рисунок 5.12).

Модель системы защиты включает методическое, организационное, лечебно-профилактическое и техническое обеспечение» [44].

«**Методическое обеспечение** содержит разработанные нами проект ГОСТ Р «Определение вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей» (приложение А), основанный на логико-вероятностном моделировании и методические рекомендации «Аддитивное дозовое воздействие энергии ЭМП разного рода и частоты переменного тока до 1 кГц на персонал в производственных условиях» (разд. 2.5)» [44].

«В соответствии с методическими рекомендациями «Аддитивное дозовое воздействие энергии ЭМП разного рода и частоты переменного тока до 1 кГц на персонал в производственных условиях» можно проводить оценку ЭМП и, на основании полученных данных, осуществлять аудиты по электромагнитной

безопасности, входящие в организационное обеспечение» [44].



«Рисунок 5.12 – Модель системы защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей» [44]

«Лечебно-профилактическое обеспечение нацелено на сохранение здоровья людей (персонала). В настоящее время работники проходят медицинские осмотры» [44] только по профессиональным заболеваниям. Нами

предлагается использовать смарт-диагностику.

Смарт-диагностика — это «умная» диагностика организма взрослого человека, которая включает обследование персонала не только по заболеваниям, связанным с воздействием вредных производственных факторов (таблица 5.9), но и по производственно обусловленной заболеваемости персонала.

На первом этапе предлагается определить условную вероятность производственно обусловленного заболевания электротехнического персонала с учетом больничных листов работников организации (ЗВУТ) [60].

Таблица 5.9

Перечень профессиональных заболеваний [125], связанных с воздействием производственного неионизирующего излучения

«Перечень заболеваний, связанных с воздействием вредных и (или) опасных производственных факторов [125]	Код заболевания по МКБ-10* [125]	Наименование вредного и (или) опасного производственного фактора [125]	Код внешней причины по МКБ-10» [125]
«Заболевания, связанные с воздействием производственного неионизирующего излучения» [125]	-	Неионизирующие излучения	-
«Заболевания, связанные с воздействием электромагнитного поля (ЭМП) (проявления: выраженные расстройства вегетативной (автономной) нервной системы» [125]	T66	Электромагнитное поле	Y96

«Для расчета вероятности повреждения здоровья» [125] «работников (электротехнического персонала) и, как следствие, производственно обусловленной заболеваемости, вызванной воздействием электрических и магнитных полей переменного тока частотой до 1 кГц, можно воспользоваться следующим методом. Больничные листы работников организации необходимо разделить на основную и контрольную группы. В основную группу относят

больничные листы работников, подвергающихся» [60] воздействию электрических и магнитных полей, а в контрольную — работников, не подвергающихся этому воздействию [58]. При этом рассматриваются только те заболевания, которые возникают у персонала под влиянием электромагнитных полей.

Нами предлагается для исследования использовать макет, приведенный в таблице 5.10.

Таблица 5.10

Макет таблицы для проведения исследований и определения вероятности производственно обусловленных заболеваний

Группа	Вредный производственный фактор «электрические и магнитные поля»	
	больничные листы, есть	больничных листов, нет
Основная	<i>a</i>	<i>b</i>
Контрольная	<i>c</i>	<i>d</i>

В таблице 5.10: *a* — число работников, подвергавшихся воздействию электромагнитных полей и имеющих больничные листы с заболеванием, вызванным их воздействием, *b* — число работников, подвергавшихся воздействию электромагнитных полей и не имеющих сопутствующих заболеваний, *c* — число работников, не подвергавшихся воздействию электромагнитных полей и имеющих больничные листы с заболеванием, вызванным воздействием электромагнитных полей, *d* — число работников, не подвергавшихся воздействию электромагнитных полей и не имеющих сопутствующих заболеваний [60].

Предлагается определять условную вероятность производственно обусловленного заболевания работника из основной группы по формуле [60]:

$$P = \frac{P_1 \cdot P_3}{P_4}, \quad (5.9)$$

где P_1 - вероятность заболевания работника,

P_3 - вероятность заболевания работника, если на него действует электромагнитное поле,

P_4 - вероятность заболевания случайного работника, вне зависимости от того в какой группе он находится.

Условная вероятность производственно обусловленного заболевания работника, с учетом показателей, приведенных в таблице 5.10, определяется по [60]:

$$P_1 = \frac{a + c}{a + b + c + d}, \quad (5.10)$$

Соответственно, вероятность того, что работник не заболеет [60]:

$$P_2 = 1 - P,$$

Условная вероятность производственно обусловленного заболевания работника, если на него действует электромагнитное поле [58]:

$$P_3 = \frac{a}{a + b},$$

Условная вероятность производственно обусловленного заболевания случайного работника, вне зависимости от того в какой группе он находится [60]:

$$P_4 = P_1 \cdot P_3 + P_2 \cdot P_5, \quad (5.11)$$

Вероятность производственно обусловленного заболевания работника, если на него не действует электромагнитное поле [58], определяется по формуле:

$$P_5 = \frac{c}{c + d}.$$

Для определения вероятности производственно обусловленного заболевания в результате воздействия ЭМП важно определиться с граничными уровнями вероятности события [60]:

- условная вероятность события близка к единице, то есть в результате воздействия ЭМП у работника возникнет производственно обусловленное заболевание;
- вероятность события близка к нулю – производственно обусловленное заболевание у работника не возникнет;
- вероятность события ($0 < P < 1$), в этом случае производственно обусловленное заболевание «у работника может возникнуть с разной степенью вероятности» [57] (таблица 5.11). Поэтому необходимость реализации мероприятий по снижению уровня вероятности меняется в зависимости от величины вероятности производственно обусловленного заболевания [60].

Таблица 5.11

Оценочная шкала

Величина вероятности производственно обусловленного заболевания, P	Необходимость реализации мероприятий по снижению уровня вероятности
$\geq 0,05$	Меры не требуются. Рекомендуется плановая оценка повреждения здоровья персонала с частотой не реже чем 1 раз в 5 лет.
0,05-0,35	Рекомендуются меры по организации постоянного контроля электрических и магнитных полей. Мониторинг производственно обусловленной заболеваемости. Требуется разработка мероприятий по снижению вероятности повреждения здоровья персонала с периодичностью 1-3 года.
0,35-0,6	Мероприятия по снижению вероятности повреждения здоровья необходимо разработать в течение текущего года.
0,6-1	Требуется неотложные меры по снижению вероятности повреждения здоровья персонала. Работы возможно проводить только после снижения вероятности повреждения здоровья.

После проведенного анализа, в зависимости от величины вероятности производственно обусловленного заболевания, необходима реализация

мероприятий по снижению уровня вероятности.

Для определения предрасположенности электротехнического персонала к заболеваниям, вызываемым электрическими и магнитными полями, необходимо учитывать также возраст персонала и стаж работы в электроустановках. В этом случае требуется более глубокий анализ вероятности повреждения здоровья персонала, который может быть проведен на основании кадрово-статистических (возрастно-стажевых) показателей, физиолого-гигиенических (показателей условий труда) и медико-биологических критериев (показателей состояния здоровья) [110].

«В качестве показателя возрастного состава используется величина относительной численности работников профессии/должности старше 44 лет. Оценка степени вероятности повреждения здоровья работников по данному показателю приведена в таблице 5.12.

Таблица 5.12

Относительная численность работников старше 44 лет [60]
и вероятность повреждения здоровья (риска)

Численность, %	Вероятность повреждения здоровья (риска)
Более 50	Очень низкая
41–50	Низкая
31–40	Ниже средней
21–30	Средняя
11–20	Выше средней
5–10	Высокая
Не более 5	Очень высокая

Показатель стажевого состава определяется как величина относительной численности работников в профессии или должности со стажем работы 20 и более лет. Данный показатель является важным для анализа производственно обусловленной предрасположенности работников к различным заболеваниям, возникающим в результате воздействия факторов трудового процесса» [60].

Оценка вероятности повреждения здоровья по данному показателю

представлена в таблице 5.13 [110], что позволяет более качественно анализировать склонность работников к заболеваниям [60].

Таблица 5.13

Относительная численность работников со стажем работы по профессии 20 и более лет и вероятность повреждения здоровья (риска) [60]

Численность, %	Вероятность повреждения здоровья (риска)
Более 30	Очень низкая
21–30	Низкая
16–20	Ниже средней
11–15	Средняя
6–10	Выше средней
3–5	Высокая
Не более 1–2	Очень высокая

Итоговая степень вероятности повреждения здоровья (риска) по кадрово-статистическому критерию определяется показателем с наибольшим значением степени вероятности повреждения здоровья (риска) [60].

Физиолого-гигиенический критерий

Профессиональные риски на основании физиолого-гигиенических критериев оцениваются по результатам изучения условий труда. Итоговая оценка вероятности повреждения здоровья (риска) по результатам исследований устанавливается в соответствии с таблицей 5.14 [110].

Таблица 5.14

Классы условий труда и вероятность повреждения здоровья (риска) [60]

Класс условий труда	Вероятность повреждения здоровья (риска)
1	Очень низкая
2	Низкая
3.1	Ниже средней
3.2	Средняя
3.3	Выше средней
3.4	Высокая
4	Очень высокая

Общая оценка условий труда по степени вредности и опасности устанавливается по наиболее высокому классу и степени вредности. Если три и более факторов относятся к классу 3.1, общая оценка условий труда соответствует классу 3.2. При наличии двух и более факторов класса 3.2-3.4 общая оценка условий труда поднимается на одну ступень [60].

Медико-биологические критерии

Состояние здоровья рассматриваемой группы оценивается по одному или комплексу медико-статистических и медико-биологических показателей уровня здоровья и заболеваемости [110]:

- а) скорости старения (биологическому возрасту),
- б) уровню производственно обусловленной заболеваемости, на основании заболеваемости с временной утратой трудоспособности (ЗВУТ) и распространенности хронических заболеваний по обращаемости или по данным медицинских осмотров,
- в) уровню профессиональной заболеваемости (частоты и тяжести) [110].

Значения показателей скорости старения и степени профессионального риска приведены в таблице 5.15 [60].

В соответствии с данными таблицы 5.15, определяются зависимости динамики скорости старения персонала и расчётного значения пенсионного возраста относительно вероятности повреждения здоровья (риска) [110].

«Интенсивный показатель дней нетрудоспособности на 100 работающих за год исчисляется по формуле [110]:

$$D = \frac{n_{сл}}{n} \cdot 100;$$

где: $n_{сл}$ — число случаев (дней) нетрудоспособности за год; n — средняя численность работников.

Путём сравнения уровней ЗВУТ в изучаемых группах с показателями оценочной шкалы даётся градация уровней заболеваемости (таблица 5.16)» [3].

Таблица 5.15

Значения показателей скорости старения и степени вероятности
повреждения здоровья (риска) [110]

Показатели скорости старения (биологического возраста)					Степень профессионального риска
Доля лиц с БВ* > ПВ** на 3 или более лет (%)	БВ– ИВ*** (лет)	Динамика скорости старения (лет/год)	Расчетное значение пенсионного возраста		
			для мужчин	для женщин	
			55 лет	50 лет	
Менее 15	Менее 0,0	Менее 0,00	68 и более	63 и более	Очень низкая
16–30	0,0–2,9	0,00–0,09	65–67	60–62	Низкая
31–45	3,0–4,4	0,10–0,19	62–64	57–59	Ниже средней
46–65	4,5–5,9	0,20–0,29	59–61	54–56	Средняя
66–75	6,0–7,4	0,30–0,39	56–58	53–51	Выше средней
76–90	7,5–8,9	0,40–0,49	55–53	50–48	Высокая
91 и более	9,0 и более	0,50 и более	52 и менее	47 и менее	Очень высокая

Доля лиц с биологическим возрастом (БВ)* или истинным возрастом (ИВ)***, больше паспортного (ПВ)** [110].

Анализ ЗВУТ для установления риска следует проводить не только по сумме всех болезней, но и по отдельным заболеваниям, так как это позволит выявить производственно обусловленные заболевания, связанные с особенностями условий труда и трудового процесса [60].

Полученные в результате периодических медицинских осмотров данные позволяют рассчитать показатель частоты (распространенности) хронических заболеваний (ПЧХЗ) в данной профессии, который определяется по следующей формуле [110]:

$$C = \frac{n_x}{n_o} \cdot 100;$$

где n_x – общее число случаев с хроническим заболеванием; n_o – общее число осмотренных лиц.

Таблица 5.16

Оценочная шкала для сравнительного анализа ЗВУТ

Градации уровней заболеваемости	Показатели случаев нетрудоспособности в связи со всеми болезнями	Показатели дней нетрудоспособности в связи со всеми болезнями
Низкий	от 66,3 и ниже	от 866 и ниже
Ниже среднего	от 66,3 до 72,4	от 867 до 938
Средний	от 72,4 до 84,6	от 939 до 1081
Выше среднего	от 84,6 до 90,7	от 1082 до 1153
Высокий	от 90,7 до 96,8	от 1154 до 1225
Очень высокий	от 96,8 до 102,9	от 1226 до 1281
Чрезвычайно высокий	> 102,9	> 1281

Используя эту формулу рассчитывается показатель как по всем болезням, так и по отдельным кассам заболеваний и нозологическим формам [110].

Для сравнительного анализа вычисленной заболеваемости может быть использована оценочная шкала (таблица 5.17), рассчитанная на основе статистического анализа показателей заболеваемости административных территорий РФ [60].

Таблица 5.17

Оценочная шкала для сравнительного анализа выявленной заболеваемости [110]

Уровень заболеваемости	Заболеваемость на 10000 работающих
Высокий	более 2,31
Выше среднего	от 2,06 до 2,31
Средний	от 1,57 до 2,05
Ниже среднего	от 1,33 до 1,56
Низкий	менее 1,33

«Интегральный показатель утраты трудоспособности вследствие производственно обусловленных заболеваний представляет собой сумму потери

рабочего времени вследствие постоянной и временной утраты трудоспособности» [60] «в результате производственно обусловленного заболевания» [110].

«Критерии оценки степени вероятности повреждения здоровья персонала, разработанные на основании некоторых показателей состояния здоровья, представлены в таблице 5.18 [110]».

Таблица 5.18

«Критерии оценки профессиональных рисков по некоторым показателям состояния здоровья» [110]

Критерии оценки вероятности повреждения здоровья персонала	Уровни профессионального риска		
	Высокая 1	Высокая 2	Очень высокая
Интегральный показатель утраты трудоспособности вследствие производственно-обусловленных заболеваний	301 - 1000	1001 - 3000	более 3000
Заболеваемость на 1000 работников в год	5 - 15	15,1 - 50	более 50
Заболеваемость с временной утратой трудоспособности по всем болезням (на работников в год):			
случаев нетрудоспособности	90,8 - 96,8	96,8 - 102,9	более 102,9
дней нетрудоспособности	1154 - 1225	1226 - 1281	более 1281

Итоговая степень вероятности повреждения здоровья персонала по медико-биологическому критерию определяется показателем состояния здоровья (скорости старения и биологического возраста, производственно-обусловленной и профессиональной заболеваемости) с наибольшим значением степени вероятности повреждения здоровья [60].

Указанные нормативные документы базируются на общей терминологии, методологии, методах и подходах стандартов риск-менеджмента с учетом особенностей сферы трудовых отношений и охраны труда [60].

Работодателю необходимо использовать только те методы оценки вероятности повреждения здоровья, которые применимы относительно специфики работы предприятия [60].

Программу, направленную на предотвращение производственно обусловленной заболеваемости машинистов и помощников машинистов [60], можно совместить с трехуровневой реабилитацией локомотивных бригад. При краткосрочных курсах санаторно-курортного лечения следует расширить перечень физиотерапевтических процедур. Помощник машиниста должен направляться на лечебные и оздоровительные процедуры не реже одного раза в 6 месяцев, так как он «подвергается воздействию более высоким уровням электрических и магнитных полей. Это происходит из-за необходимости периодического нахождения его в машинном отделении» [44] ЭПС.

«Техническое обеспечение. Для соблюдения требований Конституции РФ на рабочих местах электротехнического персонала необходимо оценивать и контролировать электрические и магнитные поля, а при их аддитивном воздействии — и дозу среднесменной энергетической нагрузки ЭМП, иначе возникает вероятность повреждения здоровья персонала. Технические средства и способы защиты персонала от ЭМП в электроподвижном составе отсутствуют. В настоящее время эта проблема актуальна и требует решения» [44].

**5.3.1. «Технические решения, входящие в систему защиты
электротехнического персонала» [44]
при вредном влиянии электрических и магнитных полей**

Результаты теоретических, экспериментальных и аналитических исследований, а также логико-вероятностное моделирование показали необходимость создания системы защиты с техническими решениями.

Применение этих технических решений позволит своевременно информировать электротехнический персонал о нахождении в зоне превышения безопасных уровней энергетических характеристик ЭМП и реализовать защиту «временем», тем самым снижая вероятность повреждения здоровья персонала.

«Под руководством д.т.н., проф. К.Б. Кузнецова (научная школа УрГУПС) впервые разработаны способы и устройства» [43]:

- способ и устройство контроля уровня напряженности МП электроустановок переменного тока [115] (разд. 5.3.1);
- способ и устройство контроля напряженности МП по приведенным уровням высших гармонических составляющих переменного тока [116] (разд. 5.3.2);
- устройство для контроля напряженности МП переменного и постоянного токов [117] (разд. 5.3.3);
- устройство для измерения энергетической нагрузки ЭМП [118] (разд. 5.3.4).

5.3.2. Способ и устройство контроля уровня напряженности магнитного поля электроустановок переменного тока [60] и их тестирование в электроподвижном составе

Разработка и внедрение устройств контроля уровней напряженности магнитного поля являются важным шагом в обеспечении безопасности на железнодорожном транспорте. Использование таких технологий помогает защитить работников от вредного воздействия и способствует предупреждению производственно обусловленных заболеваний, связанных с воздействием магнитных полей.

«Способ и устройство контроля уровня напряженности магнитного поля электроустановок переменного тока» [60] «(рисунок 5.13) разработаны для работников железнодорожного транспорта, которые длительное время находятся под вредным воздействием магнитного поля частотой 50 Гц. Это сделано с целью своевременного предупреждения и информирования о превышении предельно допустимого уровня (ПДУ) магнитного поля» [43].

Устройство работает следующим образом: сигналы с датчиков магнитных полей [192] (L1-L3) поступают на предварительный усилитель, выполненный на ИМС DA2. После предварительного усиления сигналы поступают на фильтр (DA6, R14-R19, C10-C15, R23-R25), после фильтра - на схему выпрямления и выбора максимального сигнала из трех (DA9, D5-D7), после этого сигнал подается на нормирующий усилитель DA9, подстрочными резисторами R34, R42 устанавливается ноль и коэффициент усиления. Нормированный сигнал поступает на ФНЧ DA6, после ФНЧ сигнал поступает на АЦП DA4 и на компаратор DA5.

Порог компаратора устанавливается построечным резистором R6. Компаратор управляет ключами на транзисторах VT1, VT2, которые активируют светодиоды индикации и звуковой излучатель BQ1.

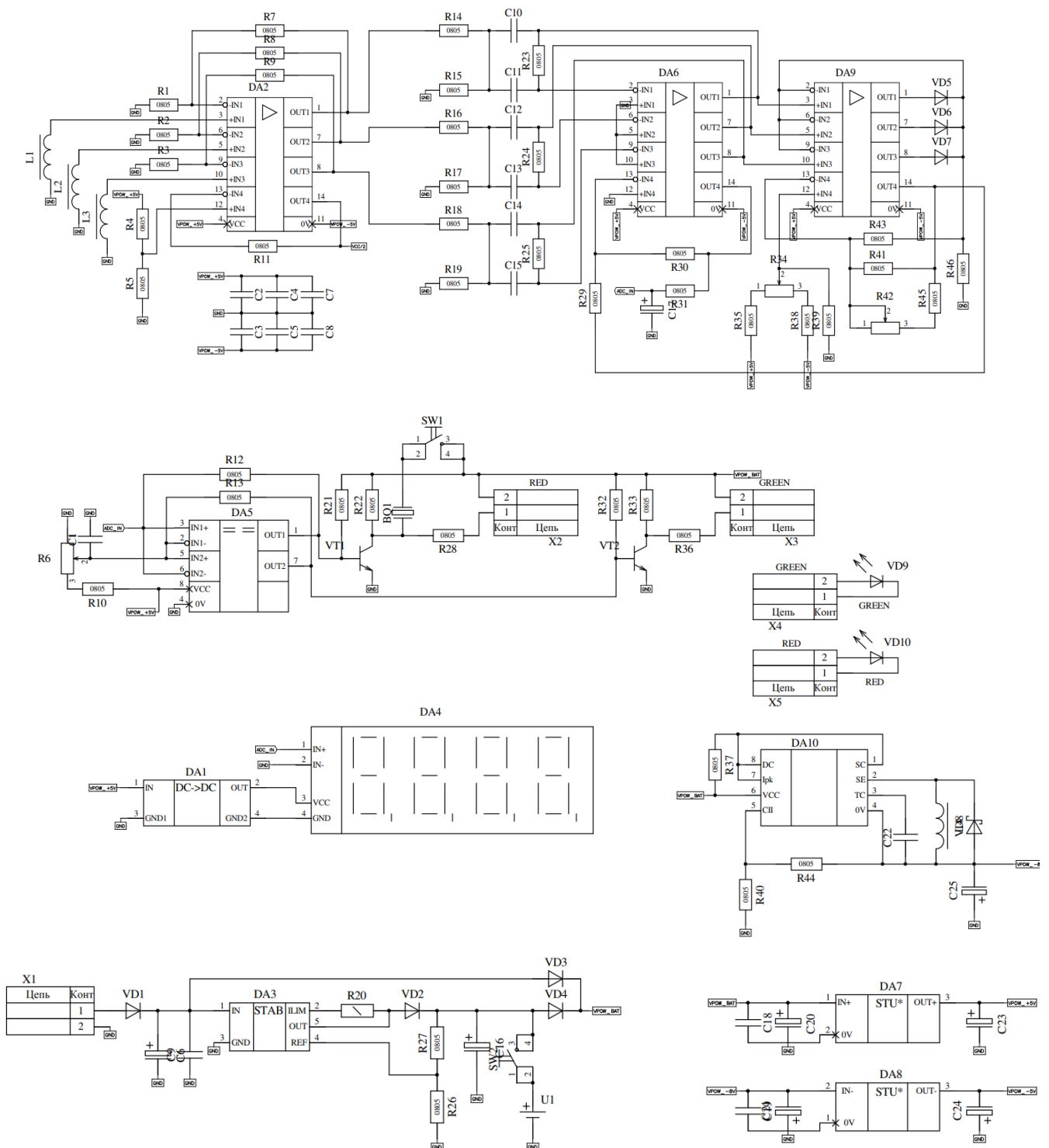


Рисунок 5.13 – Схема устройства, реализующего способ контроля уровня напряженности магнитного поля электроустановок переменного тока

Обозначения, указанные [116] в схеме устройства контроля уровня напряженности магнитного поля электроустановок переменного тока, приведены в таблице 5.19 [40].

Таблица 5.19

Обозначения, указанные в схеме устройства контроля уровня напряженности магнитного поля переменного тока[40]

Поз.	Тип	Номинал	Поз.	Тип	Номинал	Поз.	Тип	Номинал
Конденсаторы			Микросхемы			Выключатели		
C1	C0805	0.1u	DA1	DCDC	100v16v			
C2	C0805	0.1u	DA2	LM324D		SW1	SW_71SWT	
C3	C0805	0.1u	DA3	L200		SW2	SW_71SWT	
C4	C0805	0.1u	DA4	ADC	{Value}	Аккумуляторы		
C5	C0805	0.1u	DA5	LM393D		U1	VARTA	9V (Крона)
C6	SR 2.5*6.3	100u25v	DA6	LM324D		Диоды		
C7	C0805	0.1u	DA7	MC7800		VD1	1N4148	
C8	C0805	0.1u	DA8	MC7900		VD2	1N4148	
C9	C0805	0.1u25v	DA9	LM324D		VD3	1N4148	
C10	K73-17	0.1u63v	DA10	MC33063 A	{Value}	VD4	1N4148	
C11	K73-17	0.1u63v	Индуктивности			VD5	1N4148	
C12	K73-17	0.1u63v	L1	CW68	100uH	VD6	1N4148	
C13	K73-17	0.1u63v	L2	CW68	100uH	VD7	1N4148	
C14	K73-17	0.1u63v	L3	CW68	100uH	VD8	1N5819	
C15	K73-17	0.1u63v	L4	CW68	100uH	Светодиоды		
C16	SR 2.5*6.3	10u16v				VD9	L934	Green
C17	SR 2.5*6.3	10u16v				VD8	L934	Red
C18	C0805	0.1u16V				Транзисторы		
C19	C0805	0.1u16V				VT1	KT315	
C20	SR 2.5*6.3	47u16v				VT2	KT315	
C21	SR 2.5*6.3	47u16v				Соединители		
C22	C0805	{Value}				X1	PLS2	POWER
C23	SR 2.5*6.3	10u16v				X2	PLS2	RED
C24	SR 2.5*6.3	10u16v				X3	PLS2	GREEN
C25	SR 2.5*6.3	{Value}						
Резисторы								
R1	R0805	1k	R17	R0805	3k3	R33	R0805	3k3
R2	R0805	1k	R18	R0805	160k	R34	CP3-39A	1k
R3	R0805	1k	R19	R0805	3k3	R35	R0805	22k
R4	R0805	1k	R20	MF-0.25	18	R36	R0805	3k3
R5	R0805	1k	R21	R0805	3k3	R37	R0805	3k3
R6	CP3-39A	1k	R22	R0805	3k3	R38	R0805	22k
R7	R0805	100k	R23	R0805	330k	R39	R0805	200
R8	R0805	100k	R24	R0805	330k	R40	R0805	3k3
R9	R0805	100k	R25	R0805	330k	R41	R0805	10k
R10	R0805	22k	R26	R0805	2.3k	R42	CP3-39A	2k
R11	R0805	1k	R27	R0805	1k	R43	R0805	10k
R12	R0805	22k	R28	R0805	3k3	R44	R0805	3k3
R13	R0805	22k	R29	R0805	20k	R45	R0805	10k
R14	R0805	160k	R30	R0805	20k	R46	R0805	20k
R15	R0805	3k3	R31	R0805	20k			
R16	R0805	160k	R32	R0805	3k3			

Источник питания выполнен на ИМС DA7, DA8 DA10, заряд аккумулятора управляется DA3. АЦП DA4 совмещено с жидкокристаллическим индикатором, для его питания служит гальванически развязанный преобразователь DA1.

«Внешний вид индикатора магнитного поля 50 Гц приведён на рисунке 5.14.



Рисунок 5.14 – Индикатор магнитного поля 50 Гц [43]

Прибор (индикатор) устанавливают в машинном отделении электроподвижного состава с выводом сигнала о превышении нормируемого предельно допустимого уровня (ПДУ) МП 50 Гц в кабину машиниста в виде красного или зелёного сигнала» [43]. При превышении ПДУ загорается светодиод «красный», информируя персонал о вероятности повреждения здоровья; в это время находиться в машинном отделении ЭПС запрещено [65]. С целью оценки разработанного нами устройства и определения точности показаний было проведено его тестирование в электроподвижном составе (разд. 5.3.2)

*Тестирование разработанного нами индикатора магнитного поля 50 Гц
в электроподвижном составе*

В «настоящее время устройства сигнализации и контроля электрических и магнитных полей в ЭПС отсутствуют» [44]. Устройство (индикатор магнитного поля 50 Гц) нами было разработано впервые. Для оценки погрешности измерений индикатор магнитного поля 50 Гц был протестирован в электровозах ВЛ80^с (таблица 5.20) и тяговых агрегатах (таблица 5.21 и 5.22).

Таблица 5.20

Данные о срабатывании сигнального элемента

ИМП УрГУПС-1 в электровазоне ВЛ80^с [65]

Измеряемый параметр	Точка измерения	Ток на тяговых двигателях $I_{тд}$, А	Показания устройства, мкТл	Срабатывание ИМП УрГУПС-1
Магнитная индукция 50 Гц	I	500	3,5	зеленый светодиод
	II	500	3,6	зеленый светодиод
	III	500	20,1	зеленый светодиод
	IV	400	130	красный светодиод
	V	550	162	красный светодиод
	VI	800	150	красный светодиод

*I (кабина, место машиниста), II (кабина, место помощника машиниста), III (вход в машинное отделение), IV (машинное отделение, выпрямительная установка), V (машинное отделение, тяговый трансформатор), VI (машинное отделение, выпрямительная установка) [65].

Проблема отсутствия устройств сигнализации и контроля магнитных полей в ЭПС может быть решена с помощью представленного устройства — индикатора магнитного поля 50 Гц, которое показало хорошую работоспособность, что открывает возможности для его применения в различных сферах, включая транспорт и энергетику. В ходе испытаний было установлено, что устройство сохраняет стабильную работу даже при работе ЭПС в режиме тяги. Индикатор имеет понятный интерфейс, что облегчает его эксплуатацию электротехническим персоналом.

Таблица 5.21

Данные о срабатывании сигнального элемента устройства ИМП УрГУПС-1 в тяговом агрегате НП-1

Режим работы ЭПС	Показания, ИМП УрГУПС-1, мкТл	Данные о срабатывании сигнального элемента опытного образца
тяга	10	Сработало, зелёный светодиод
Холостой ход	9,2	
тяга	30	
тяга	43	
Реостатное торможение	8,9	
Реостатное торможение	10	

Продолжение таблицы 5.21

Тяга	20	
Холостой ход	8,5	
Холостой ход	8	
Тяга	35	
Тяга	112	Сработало, красный светодиод

По результатам исследования установлено, что в работе сигнализатора неисправности и погрешности в измерениях отсутствуют; в дальнейшем его можно использовать в системе защиты электротехнического персонала. Также нами получены данные о срабатывании ИМП УрГУПС-1 в тяговом агрегате ОПЭ-1АМ (таблица 5.22) [60].

Устройство магнитного поля частотой 50 Гц исправно срабатывало, сигнализируя машинисту и его помощнику о превышении предельно допустимого уровня (ПДУ) магнитного поля 50 Гц (100 мкТл), при этом загорался красный светодиод, а в случае не превышения ПДУ — загорался зелёный светодиод [65].

Таблица 5.22

Данные о срабатывании сигнального элемента
устройства ИМП УрГУПС-1 в тяговом агрегате ОПЭ-1АМ [60]

Режим работы ЭПС	Показания, ИМП УрГУПС-1, мкТл	Данные о срабатывании сигнального элемента опытного образца
опущенный токоприемник, стоянка	6,9	Сработало, зеленый светодиод
тяга	30	
тяга	43	
тяга	57	
тяга	138	Сработало, красный светодиод

Устройство магнитного поля 50 Гц успешно прошло «тестирование, неисправности в его работе не обнаружены. Измерения индукции магнитного поля осуществлялись своевременно, сигнальный элемент менял световую

индикацию в зависимости от уровня магнитной индукции 50 Гц; соответственно» [60], его можно включить в качестве технического решения в систему защиты электротехнического персонала от магнитных полей 50 Гц. Кроме магнитных полей 50 Гц, «на рабочих местах электротехнического персонала, обслуживающего ЭПС, встречаются магнитные поля со спектром высших гармонических составляющих» [60], которые аддитивно воздействуют на персонал. То есть нужны устройства, которые позволят информировать персонал о превышении полей со спектром высших гармонических составляющих. С этой целью было разработано устройство, «позволяющее осуществлять» [42] «контроль напряжённости магнитного поля по приведённым уровням высших гармонических составляющих переменного тока» [60] «при их аддитивном воздействии на персонал (разд. 5.3.3)» [191].

5.3.3. «Способ и устройство» [193] контроля напряжённости магнитного поля по приведённым уровням высших гармонических составляющих переменного тока [116]

«Разработано устройство, позволяющее учитывать суммарное воздействие гармонических составляющих выпрямленного напряжения и тока в диапазоне частот от 0 до 10 кГц, а также предупреждать персонал о вредном превышении безопасного уровня напряженности МП в электроустановках» [40], осуществлять «защиту временем» и снижать «вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала» [43].

На рисунке 5.15. представлена схема устройства для осуществления способа контроля уровня напряженности магнитного поля по приведенным уровням высших гармонических составляющих переменного тока, включающая электроустановку переменного тока 1, антенный датчик 2 со спиралевидной рамкой 3, усилитель 4, звено частотной коррекции 5, детектор 6, процессор 7 с

логическим элементом И, пороговый элемент 8 с логическим элементом ИЛИ, сигнальное устройство 9 с красной 11 и зеленой 10 лампами, индикатор 12, магнитное поле 13, объект воздействия 14 [60].

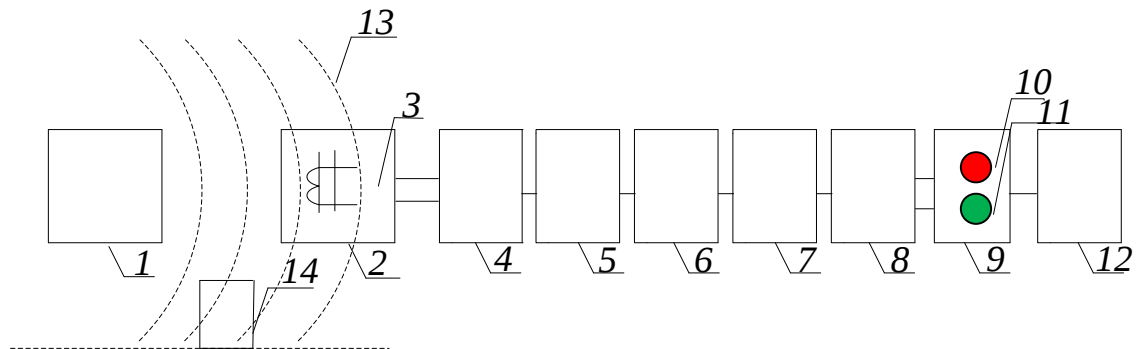


Рисунок 5.15 – Устройство для осуществления способа контроля уровня напряженности магнитного поля по приведенным уровням высших гармонических составляющих переменного тока [60]

Предлагаемые способ и устройство работают следующим образом [116]: в электроустановке переменного тока 1 переменное магнитное поле 13, воздействует на спиралевидную рамку 3 антенного датчика 2, подключенного к блоку питания (на схеме не представлен), создает в нем переменный ток, пропорциональный величине напряженности воздействующего магнитного поля 13. Полученный сигнал переменного тока поступает на вход усилителя 4, имеющего входное полное сопротивление, близкое к нулю. На выходе усилителя 4 формируется сигнал переменного напряжения, кратный величине входящего переменного тока. Переменное напряжение с выхода усилителя 4 поступает на звено частотной коррекции 5, учитывающее особенности частотных свойств антенного датчика 2 и усилителя 4. После звена частотной коррекции 5 на вход детектора 6, который преобразует входное переменное напряжение в постоянное с величиной, равной амплитуде входного переменного напряжения. Полученный сигнал переменного напряжения, пропорциональный напряженности магнитного поля, поступает на вход процессора 7, в котором значения напряженности магнитного поля по частотам перемножаются на приведенный коэффициент α (в

зависимости от частоты в диапазоне до 10 кГц по европейскому стандарту) [40]. При этом приведенный коэффициент α отражает степень увеличения вредного воздействия напряженности магнитного поля на персонал и при увеличении частоты переменного тока изменяется экспоненциально, используется для приведения численных значений напряженности магнитного поля гармонических составляющих до 10 кГц к величине напряженности при частоте 50 Гц для сравнения с предельно допустимым уровнем, установленным национальным стандартом России. Затем значения напряженности последнего суммируются и сравниваются с заданной величиной, соответствующей напряженности магнитного поля. Если величина сигнала переменного напряжения, будет ниже соответствующего ему максимального ПДУ напряженности магнитного поля, то на сигнальном устройстве 9 горит зеленая лампа 10, при превышении максимального ПДУ напряженности магнитного поля по приведенным уровням высших гармонических составляющих переменного тока сигнал с порогового элемента 8 поступает на красную лампу 11 сигнального устройства 9; далее результат измерений индицируется на индикаторе 12 [40].

Разработанное нами устройство может применяться для снижения вероятности повреждения здоровья персонала, связанного с воздействием на него магнитных полей со спектром высших гармонических составляющих переменного тока, а также для обеспечения магнитной безопасности электротехнического персонала при обслуживании электроподвижного состава и контактной сети [116]. Данные устройства заняли определенную нишу в системе защиты персонала от магнитного поля по отмеченным уровням высших гармонических составляющих переменного тока, воздействующих аддитивно на персонал [60].

При наличии на рабочих местах магнитных полей [60] «переменного и постоянного тока необходимо использовать другое устройство, с помощью которого можно будет контролировать рассматриваемые поля при их

аддитивном воздействии. К сожалению, в настоящее время такие устройства не применяются. С целью снижения вероятности поражения персонала магнитными полями переменного и постоянного тока при их аддитивном» [42] воздействии на персонал было разработано устройство для контроля напряженности магнитных полей переменного и постоянного тока (разд. 5.3.4) [60].

5.3.4. Устройство для контроля напряженности магнитных полей переменного и постоянного токов

Это устройство (рис. 5.16) предназначено для непрерывного контроля напряженности магнитных полей переменного и постоянного тока, а также для информирования персонала о превышении предельно допустимых уровней (ПДУ) [117].

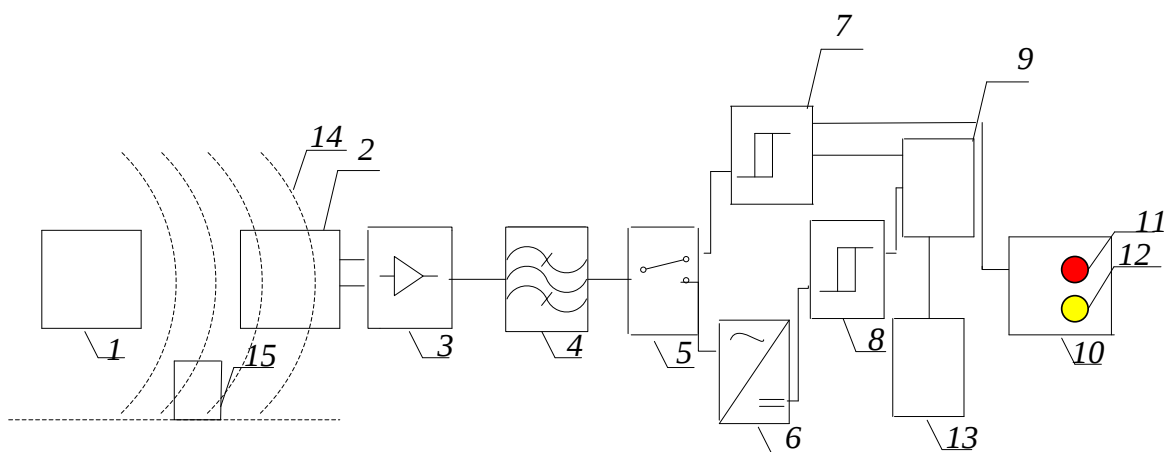


Рисунок 5.16 – Устройство для контроля напряженности магнитных полей переменного и постоянного токов [60]

Разработанное нами устройство (рисунок 5.16) работает следующим образом: магнитное поле 14 электроустановки переменного или постоянного тока 1 воздействует на датчик Холла 2, подключенный к блоку внешнего питания (на схеме не представлен). При подаче на подмагничивающую катушку датчика Холла 2 импульса тока возникнет импульс напряжения, пропорциональный по величине измеряемому магнитному полю [117].

Полученный сигнал поступает на вход усилителя сигнала 3, имеющего входное сопротивление, близкое к нулю. На выходе усилителя сигнала 3 формируется сигнал напряжения, кратный величине входящего тока. Напряжение с выхода усилителя сигнала 3 поступает на звено частотной коррекции 4, который выделяет частоту 50 Гц из спектра частот, считываемых с датчика 2. После звена частотной коррекции 4 сигнал напряжения подается на двухпозиционный I и II переключатель 5, причем выход переключателя в позиции I соединен с пороговым элементом постоянного магнитного поля 7, а выход переключателя в позиции II соединен с амплитудным детектором 6, выход которого соединен со входом порогового элемента переменного магнитного поля 8, при этом оба пороговых элемента выходами подключены к сигнальному устройству 10 и к жидкокристаллическому алфавитно-цифровому дисплею 9. Если величина сигнала напряжения превысит допустимый уровень напряженности постоянного магнитного поля в 10 мТл, то на сигнальном устройстве 10 загорится красная лампа 11. При превышении сигнала напряжения переменного магнитного поля в 100 мкТл загорится желтая лампа 12 [117].

Чтобы контролировать заряженность батарей питания предлагаемого устройства, к дисплею 9 подключен элемент контроля уровня заряда 13 батарей питания (на схеме не представлен) [117].

Предлагаемое устройство для контроля напряженности магнитных полей переменного и постоянного тока позволяет непрерывно измерять напряженность как постоянных, так и переменных магнитных полей и сигнализировать персоналу о превышении предельно допустимых уровней (ПДУ) [117].

Устройства применяются для обеспечения магнитной безопасности локомотивных бригад при вредном воздействии на них магнитных полей различного рода (постоянного и переменного тока). Они могут использоваться при выполнении работ электротехническим персоналом со съемной изолированной вышки [60], что позволит снизить вероятность причинения вреда

их здоровью. Такие устройства также должны входить в систему защиты электротехнического персонала.

В дополнение к рассмотренным ситуациям, нами впервые было создано следующее устройство, позволяющее оценивать энергетическую нагрузку ЭМП (разд. 5.3.5)

5.3.5. Устройство для измерения энергетических характеристик ЭМП

Это устройство актуально для электротехнического персонала, обслуживающего контактную сеть и ЭПС. В соответствии с Типовым регламентом организации эксплуатационной работы и обеспечения безопасности движения поездов в локомотивном хозяйстве ОАО «РЖД» и по разрешению машиниста, помощник машиниста обязан осматривать оборудование, находящееся в машинном отделении. При этом помощник машиниста попадает в зону воздействия энергетических характеристик ЭМП. Для определения (измерения) энергетической нагрузки ЭМП предложено использовать устройство для измерения уровней плотности потока энергии электромагнитного поля (рисунок 5.17) [60].

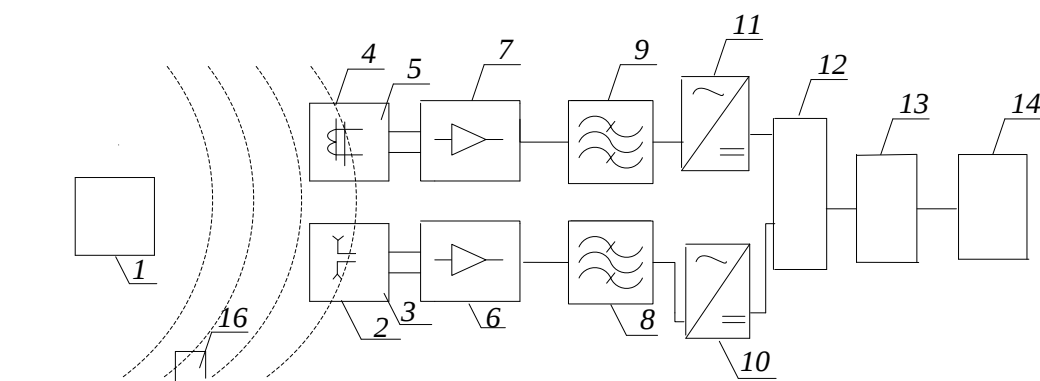


Рисунок 5.17 – Устройство для измерения энергетической нагрузки ЭМП [60]

Схема устройства для измерения плотности потока энергии (энергетической нагрузки) электромагнитного поля включает электроустановку переменного тока 1, измеряемую антенну 4 магнитного поля со спиралевидной рамкой 5, измеряемую антенну 2 электрического поля с двумя плоскими проводящими пластинами 3, расположенными параллельно друг другу и разделенными слоем диэлектрика, усилитель 7 для магнитного поля и усилитель 6 для электрического поля, звено частотной коррекции 9 для магнитного поля и звено частотной коррекции 8 для электрического поля, амплитудный детектор 11 для магнитного поля и амплитудный детектор 10 для электрического поля, цифроаналоговый преобразователь 12, процессор с множительным логическим элементом И 13, жидкокристаллический алфавитно-цифровой дисплей 14, магнитные волны 15, объект их воздействия 16 [118].

Предлагаемое устройство работает следующим образом: переменное электромагнитное поле 16 электроустановки переменного тока 1, воздействуя на спиралевидную рамку 5 измеряемой антенны магнитного поля 4 и на две плоские проводящие параллельные пластины 3, разделенные слоем диэлектрика измеряемой антенны 2 электрического поля, подключенные к блоку питания (на схеме не представлен), создает переменный ток, пропорциональный величине напряженности воздействующего электромагнитного поля 16. Полученный сигнал переменного тока поступает на вход соответствующего усилителя 7 магнитного поля и усилителя 6 электрического поля, имеющие входное полное сопротивление, близкое к нулю. На выходе усилителей 6 и 7 формируется сигнал переменного напряжения, кратный величине входящего переменного тока. Переменное напряжение с выхода усилителей 6 и 7 поступает на соответствующее звено частотной коррекции 9 для магнитного поля и звено частотной коррекции 8 для электрического поля, учитывающие особенности частотных свойств измеряемых антенн 4 и 5 и усилителей 6 и 7. После звена частотной коррекции 8 и 9 сигнал переменного напряжения подается на вход соответствующего амплитудного детектора 11 для магнитного поля и

амплитудного детектора 10 для электрического поля, которые преобразуют входное переменное напряжение в постоянное с величиной, равной амплитуде входного переменного напряжения [118].

Полученный сигнал переменного напряжения, пропорциональный напряженности электромагнитного поля, поступает на вход цифроаналогового преобразователя 12, результирующего числовые значения величин зарегистрированных сигналов электромагнитных полей, которые анализируются в процессоре 13, затем с помощью множительного логического элемента И рассчитывается плотность потока энергии (энергетическая нагрузка) электромагнитного поля; результат расчетных значений индуцируется на жидкокристаллический алфавитно-цифровой дисплей 14. Использование в предлагаемом устройстве процессора с множительным логическим элементом И позволяет определить плотность потока энергии, то есть энергетическую нагрузку электромагнитного поля [118].

Оценка энергетической нагрузки ЭМП на рабочих местах электротехнического персонала позволит снизить вероятность повреждения его здоровья при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей. Устройство дополнит технические решения, приведённые в диссертации ранее.

*Перспективное направление, относящееся к использованию устройств
с применением искусственного интеллекта*

«На первом этапе было разработано устройство, которое позволяет постоянно измерять уровни энергетической нагрузки ЭМП в течение всей поездки. Целью разработки этого устройства была реализация способа «защиты временем», однако его можно усовершенствовать. Для оценки дозы энергетической нагрузки ЭМП предлагается полностью автоматизировать процесс оценки и контроля энергетической нагрузки ЭМП» [44].

«Для этого данное устройство можно дополнить приёмником сигналов, предназначенным для приёма и первичной обработки информации,

передаваемой от устройства измерения энергетической нагрузки ЭМП, и передачи её в устройство «часы КДП» (Контроль Дозы Поля) с системой искусственного интеллекта, содержащей личный кабинет работника и способной анализировать информацию об уровнях энергетической нагрузки ЭМП и предоставлять индивидуальные рекомендации для предупреждения производственно обусловленной заболеваемости» [44].

«Устройство «часы КДП» способно» [44]:

- «Непрерывно рассчитывать дозу энергетической нагрузки ЭМП через:
 - площадь персонала,
 - массу тела,
 - время воздействия дозы,
 - вероятность воздействия дозы на электротехнический персонал в течение суток» [44].
- «Определять условную вероятность производственно обусловленной заболеваемости работников на основе предельно допустимых уровней и их превышений.
- Подбирать необходимые мероприятия из системы защиты персонала.
- Информировать о допуске (или недопуске) электротехнического персонала к следующей поездке по электрическим и магнитным полям.
- Отправлять информацию в личный кабинет работника и специалиста в отдел кадров» [44].

«Перед прохождением предрейсового медицинского осмотра электротехническому персоналу выдают индивидуальные «часы КДП». В личном кабинете работника медицинский персонал проверяет допуск к работе и вносит информацию о росте и массе тела работника» [44].

«Начав поездку, электротехнический персонал включает устройство, в котором искусственный интеллект рассчитывает и сохраняет информацию о полученной дозе энергетической нагрузки ЭМП. Он также определяет условную вероятность производственно обусловленной заболеваемости работника. Эта

информация дублируется на дисплее «часов КДП»» [44].

«В конце смены сотрудник на «часах КДП» выбирает функцию «передать информацию», и она поступает в личный кабинет сотрудника и специалиста отдела кадров. Выбрав на дисплее «личный кабинет», можно ознакомиться с результатами расчётов и необходимыми мероприятиями» [44].

«На основе полученных уровней условной вероятности производственно обусловленной заболеваемости работников искусственный интеллект принимает решение о необходимости использования системы защиты персонала, в том числе о направлении работников на лечебные и оздоровительные процедуры» [44].

«При возникновении вероятности повреждения состояния здоровья электротехнического персонала в личный кабинет специалиста в отделе кадров поступит информация о необходимости направления работника на санаторно-курортное лечение. Применение устройства «часы КДП» соответствует основным принципам охраны труда и позволит не только сохранить здоровье помощников машинистов, но и повысить производительность труда машинистов в будущем, что особенно актуально при работе в одиночку» [44].

«Подводя итог, можно отметить, что приведённая структура системы защиты персонала универсальна; её можно использовать как для машинистов, так и для помощников машинистов, обслуживающих электровагоны постоянного и переменного тока» [44].

«В соответствии с разработанной моделью системы защиты персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей» [44] «частотой до 1 кГц проведём анализ электромагнитной безопасности электроподвижного состава:

- на основании разработанной методики на рабочих местах машинистов и помощников машинистов электроподвижного состава постоянного и переменного тока были исследованы и оценены электрические и магнитные поля частотой до 1 кГц при их аддитивном воздействии» [157];

- в электроподвижном составе постоянного тока, согласно полученным данным, рабочие места с электромагнитными полями до 1 кГц можно считать безопасными, разработка и внедрение дополнительных мер не требуются [44];

- в ЭПС переменного тока уровни энергетических характеристик ЭМП различаются:

- на рабочем месте машинистов электровозов ВЛ80^с меры по снижению вероятности причинения вреда здоровью персонала не требуются. Рекомендуется в качестве профилактических мер проводить мониторинг состояния здоровья персонала;

- для помощников машинистов электровозов ВЛ80^с и «тяговых агрегатов ОПЭ-1АМ и НП-1 необходимо использовать меры в соответствии с предложенной системой защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей. А именно [60]:

- с помощью технических решений (средств и способов) требуется контролировать уровни энергетической нагрузки ЭМП» [60],

- осуществлять аудиты по электромагнитной безопасности, входящие в организационное обеспечение [60],

- в соответствии с лечебно-профилактическими рекомендациями использовать смарт-диагностику и расширенную программу трехуровневой реабилитации локомотивных бригад.

Далее приведен расчет социально-экономической эффективности внедрения прибора «ИМП УРГУПС-1» как системы защиты «временем» обслуживающего персонала.

5.3.6. Определение социально-экономической эффективности внедрения прибора «ИМП УРГУПС-1»

Несмотря на отсутствие единой системы нормирования показателей электромагнитного поля в международной системе охраны труда, отечественные и зарубежные исследования подтверждают значительное негативное влияние неионизирующего излучения на человека.

Для защиты локомотивной бригады от воздействия магнитных полей предлагается установить в машинном отделении каждого тягового агрегата устройство ИМП УрГУПС-1 с выносным индикатором, который будет информировать персонал о текущем превышении ПДУ переменного магнитного поля 50 Гц, тем самым обеспечивая защиту «временем». Корпус прибора с индикацией текущего уровня переменного магнитного поля устанавливается в машинном отделении локомотива, а выносной датчик сигнализации о превышении ПДУ — на пульт управления машиниста или в любое другое удобное место. Прибор имеет автономное питание, а датчик сигнализации соединен с прибором двухжильным проводом.

Расчет затрат на мероприятия по улучшению «условий труда» [141]

«Затраты на реализацию мероприятий включают [102]:

- 1) капитальные (единовременные) вложения, направленные на улучшение условий труда» [141] по электрическим и магнитным полям;
- 2) эксплуатационные (текущие) расходы, направленные на выполнение нормативных требований в области по охраны труда.

Капитальные затраты на внедрение выбранного технологического решения можно разделить на две группы [102]:

- 1) Затраты на приобретение прибора и его транспортировку;
- 2) Затраты на монтаж прибора на локомотивах.

Смета затрат в таком случае может быть представлена как:

$$K = K_{np} + K_m, \quad (5.12)$$

где : K – единовременные капитальные затраты, руб.;

K_{np} – единовременные затраты на приобретение прибора и его транспортировку, руб.;

K_m – единовременные затраты на монтаж прибора на тяговых агрегатах, руб.

Затраты на приобретение прибора и его транспортировку складываются из стоимости самого прибора, стоимости источника питания (не поставляется в комплекте), и стоимости транспортировки от производителя до предприятия.

Затраты на монтаж прибора включают оплату труда работника, который осуществит монтаж.

Исходя из вышесказанного, единовременные затраты на приобретение прибора и его транспортировку можно представить как [96]:

$$K_{np} = n(K_{об} + K_{эн} + T_p), \quad (5.13)$$

где : n – количество локомотивов, шт;

K_{np} – единовременные затраты на приобретение прибора и его транспортировку, руб.;

$K_{об}$ – стоимость прибора ИМП УрГУПС-1, руб.;

$K_{эн}$ – стоимость элемента питания 9 В, руб.;

T_p – транспортные расходы, руб.;

Общее количество грузовых карьерных тяговых агрегатов – 35 шт.

Стоимость одного прибора ИМП УрГУПС-1, требуемая производителем в случае мелкосерийного производства – 20000 руб

Стоимость аккумуляторной батареи 9 В фирмы «Duracell» согласно официальному прайс-листу компании – 130 руб.

Себестоимость доставки партии груза до 500 кг (грузоперевозка малым автопарком) от г. Екатеринбург до ОАО «ЕВРАЗ» согласно данным отдела снабжения составит 2760 руб.

Исходя из этих данных, получим:

$$n = 35 \text{ шт.}; K_{об}=20000 \text{ р.}; K_{эн}=130 \text{ р.}; T_p=2760 \text{ р.}$$

$$K_{np}=35 \cdot (20000+130+2760)=801150 \text{ р}$$

Единовременные затраты на монтаж прибора в тяговых агрегатах [96]:

$$K_M = n(\text{ЧТС} \cdot t_M), \quad (5.14)$$

где : K_M – единовременные затраты на монтаж прибора в тяговые агрегаты, руб.;

n – количество тяговых агрегатов, нуждающихся в установке прибора, шт;

ЧТС – часовая тарифная ставка слесаря-электрика по ремонту электрооборудования тяговых агрегатов, руб.;

t_M – время на монтаж одного прибора, ч;

Часовая тарифная ставка слесаря - электрика по ремонту электрооборудования тяговых агрегатов – 73,5 руб.

По результатам осмотра прибора, начальником участка ремонта и технического обслуживания тяговых агрегатов и мастеров участка ремонта и технического обслуживания тяговых агрегатов, предполагаемое время монтажа одного прибора – 0,33 ч.

Исходя из этих данных, получим:

$$n=35 \text{ шт.}; \text{ЧТС}= 73,5 \text{ р.}; t_M=0,33 \text{ ч.}$$

$$K_M=35(73,5 \cdot 0,33)=848,93 \text{ руб.}$$

Тогда единовременные затраты будут составлять:

$$K=801150+848,93=801998,93 \text{ руб.}$$

Расчет дополнительных эксплуатационных (текущих) расходов

К эксплуатационным расходам данного прибора можно отнести замену источника питания и затраты обслуживающего персонала на проведение этой операции:

$$И_{\text{тек.год}} = \frac{12}{t_a} \cdot n \cdot (Ц_a + ЧТС \cdot t_{\text{обс}}) \quad (5.15)$$

где : $И_{\text{тек.год}}$ – текущие годовые издержки, руб.;

n – количество тяговых агрегатов, нуждающихся в установке прибора, шт;

t_a – срок работы аккумуляторной батареи, мес.;

$Ц_a$ – стоимость аккумуляторной батареи, руб.;

$ЧТС$ – часовая тарифная ставка слесаря-электрика по ремонту электрооборудования тяговых агрегатов, руб.;

$t_{\text{обс}}$ – время обслуживания прибора ремонтным персоналом, ч. $t_{\text{обс}}=0,1$ ч.

Аккумуляторная батарея «Duracell-PP3» емкостью 700 мА/ч обеспечивает бесперебойную работу прибора ИМП УрГУПС-1 в течение 6 месяцев. Стоимость данной батареи – 130 руб.

Замена батареи в приборе осуществляется в течение 6 минут, выполняется слесарем-электриком во время текущего осмотра тягового агрегата.

Таким образом, получим:

$t_a = 6$ мес; $Ц_a = 130$ р; $ЧТС=73,5$ руб.

$$И_{\text{тек.год}} = \frac{12}{6} \cdot 35 \cdot (130 + 73,5 \cdot 0,1) = 9614,5 \text{ руб.}$$

Текущие годовые издержки составят 9614,5 руб.

Социальный эффект от внедрения устройств

Социальный эффект (результат) определяется как разность величин до и после внедрения мероприятия.

Оценка социального эффекта основывается на расчете следующих показателей:

1. Сокращение численности электротехнического персонала, находящегося в условиях труда, не отвечающих СанПиН, в том числе находящихся под воздействием магнитных полей.

Сокращение численности электротехнического персонала определяется по формуле:

$$\Delta\text{Ч}=\text{Ч}_1-\text{Ч}_2, \quad (5.16)$$

где : $\text{Ч}_1, \text{Ч}_2$ – численность электротехнического персонала, находящегося в условиях труда, не удовлетворяющих безопасным уровням, до и после проведения мероприятий.

$\text{Ч}_1=76$ чел.; $\text{Ч}_2= 38$ чел.

$$\Delta\text{Ч}=76-38=38 \text{ чел.}$$

2. Сокращение $\Delta\text{Ч}_{\text{с.г}}$ удельного веса электротехнического персонала, находящегося в условиях, не соответствующих безопасным уровням, % [96]:

$$\Delta\text{Ч} = \frac{\text{Ч}_{\text{н.у.}}^1 - \text{Ч}_{\text{н.у.}}^2}{\text{Ч}} \cdot 100\% \quad (5.17)$$

где: $\text{Ч}_{\text{н.у.}}^1, \text{Ч}_{\text{н.у.}}^2$ – численность электротехнического персонала, находящегося в условиях, не соответствующих безопасным уровням, до и после внедрения технических решений, чел.;

Ч – среднесписочная годовая численность электротехнического персонала, чел.

$$\text{Ч}_{\text{н.у.}}^1 = 76 \text{ чел.}; \text{Ч}_{\text{н.у.}}^2 = 38 \text{ чел.}; \text{Ч} = 76 \text{ чел.}$$

$$\Delta\text{Ч} = \frac{76-38}{76} \cdot 100\% = 50\%$$

5. Сокращение удельного веса рабочих мест $\Delta K_{с.г.}$, не удовлетворяющих безопасным уровням, %:

$$\Delta K_{с.г.} = \frac{\chi_{р.м.}^1 - \chi_{р.м.}^2}{\chi_{р.м.}} \cdot 100\%, \quad (5.18)$$

где : $\chi_{р.м.}^1, \chi_{р.м.}^2$ – число рабочих мест, не удовлетворяющих безопасным уровням, до и после проведения мероприятий;

$\chi_{р.м.}$ – общее количество рабочих мест электротехнического персонала.

$\chi_{р.м.}^1 = 70$ мест; $\chi_{р.м.}^2 = 35$ мест; $\chi = 70$ мест.

$$\Delta K_{с.г.} = \frac{70-35}{70} \cdot 100\% = 50\%.$$

Рост производительности труда

В результате внедрения технических решений, рост производительности труда ожидается за счет увеличения фонда рабочего времени в связи с сокращением потерь по временной нетрудоспособности из-за заболеваемости электротехнического персонала, который можно определить по формуле:

$$\Delta П = \frac{t_1 - t_2}{t_1} \cdot 100\% \quad (5.19)$$

где: t_1 и t_2 – потери рабочего времени, обусловленные вероятностью повреждения здоровья персонала, на 100 работающих, до и после внедрения технических решений.

Среднее количество дней больничных листов на 100 работающих – 67.

Прогнозируемое количество дней больничных, полученное в результате учета уменьшения количества рабочих мест с вредными условиями труда – 64.

$t_1 = 67$ дней; $t_2 = 64$ дней;

$$\Delta\P = \frac{67-64}{67} \cdot 100\% = 4,47\%$$

Численность высвобожденного электротехнического персонала, полученная за счет увеличения фонда рабочего времени в связи с сокращением целодневных потерь по временной нетрудоспособности, определяется

по формуле:

$$\mathcal{E}_\text{ч} = \frac{t_1 - t_2}{(100 - t_2)} \cdot \text{Ч}_1, \quad (5.20)$$

где: t_1 , t_2 – потери рабочего времени соответственно до и после внедрения технических решений;

Ч_1 – численность электротехнического персонала до внедрения технических решений.

$$t_1 = 67 \text{ дней}; t_2 = 64 \text{ дней}; \text{Ч}_1 = 76 \text{ чел.}$$

$$\mathcal{E}_\text{ч} = \frac{67 - 64}{(100 - 64)} \cdot 76 = 6 \text{ чел}$$

Снижение численности электротехнического персонала приводит, прежде всего, к экономии фонда оплаты труда и отчислений на социальные нужды. Годовая экономия заработной платы $\mathcal{E}_{\text{зп}}$ составит:

$$\mathcal{E}_{\text{зп}} = (\Phi\text{ЗП}_1 - \Phi\text{ЗП}_2) \left(1 + \frac{3_\text{д}}{100}\right), \quad (5.21)$$

где: $\mathcal{E}_{\text{з.п.}}$ – экономия заработной платы от высвобождения персонала при повременной оплате труда, р.;

$\Phi ЗП_1, \Phi ЗП_2$ – соответственно годовой фонд основной заработной платы рабочих-повременщиков до и после внедрения технических решений, руб.;

$Зд$ – дополнительная заработная плата, %;

Фонд заработной платы определяется по формуле [96]:

$$\Phi ЗП = n_{\text{м}} \cdot ЧТС_{\text{м}} \cdot t \cdot C_{\text{м}} + n_{\text{пм}} \cdot ЧТС_{\text{пм}} \cdot C_{\text{пм}} \cdot t, \quad (5.22)$$

где: $ЧТС_{\text{м}}, ЧТС_{\text{пм}}$ – часовая тарифная ставка соответственно машиниста и помощника машиниста, руб.;

t – продолжительность смены, ч;

$C_{\text{м}}, C_{\text{пм}}$ – количество рабочих смен в году соответствующей профессии [42];

$n_{\text{м}}, n_{\text{пм}}$ – количество работников соответствующей профессии [42].

Соответственно годовые фонды основной заработной платы рабочих-повременщиков до и после внедрения технических решений составит:

$$n_{\text{м}}^1 = 38 \text{ чел.}; n_{\text{пм}}^1 = 38 \text{ чел.}; n_{\text{м}}^2 = 35 \text{ чел.}; n_{\text{пм}}^2 = 35 \text{ чел.};$$

$$ЧТС_{\text{м}} = 109,74 \text{ руб.}; ЧТС_{\text{пм}} = 89,12 \text{ руб.}; C_{\text{м}} = 182 \text{ смены}; t = 12 \text{ ч.}$$

$$\Phi ЗП_1 = n_{\text{м}}^1 \cdot ЧТС_{\text{м}} \cdot C_{\text{м}} \cdot t + n_{\text{пм}}^1 \cdot ЧТС_{\text{пм}} \cdot C_{\text{пм}} \cdot t$$

$$\Phi ЗП_2 = n_{\text{м}}^2 \cdot ЧТС_{\text{м}} \cdot C_{\text{м}} \cdot t + n_{\text{пм}}^2 \cdot ЧТС_{\text{пм}} \cdot C_{\text{пм}} \cdot t$$

$$\Phi ЗП_1 = 38 \cdot 109,74 \cdot 182 \cdot 12 + 38 \cdot 89,12 \cdot 182 \cdot 12 = 16503,79 \text{ тыс. руб.}$$

$$\Phi ЗП_2 = 35 \cdot 109,74 \cdot 182 \cdot 12 + 35 \cdot 89,12 \cdot 182 \cdot 12 = 15200,85 \text{ тыс. руб.}$$

Экономия заработной платы от снижения трудоемкости при повременной оплате труда:

$$З_d = 23 \%$$

$$Э_{зп} = (16503,79 - 15200,85) \left(1 + \frac{23}{100}\right) = 1602,61 \text{ тыс. руб.}$$

Экономия по отчислениям на социальные нужды:

$$Э_{сн} = Э_{зп} \cdot \frac{K_{отч}}{100\%}, \quad (5.23)$$

где $K_{отч}$ – коэффициент отчислений от заработной платы в страховой, пенсионный и другие фонды, %.

$$K_{отч} = 30\%$$

$$Э_{сн} = 1602,61 \cdot \frac{30}{100} = 480,78 \text{ тыс. руб.}$$

Экономия по отчислениям на социальные нужды составит 480,78 тыс. руб.

*Экономия от сокращения потерь,
связанных с вероятностью повреждения здоровья персонала*

Сокращение суммы выплат $Э_c$ из фондов социального страхования за период временной и постоянной нетрудоспособности работника определяется по формуле:

$$Э_c = B_n \cdot B_n \cdot (P_2 - P_1), \quad (5.24)$$

где: B_n – количество персонала, «получающих пособие вследствие производственно обусловленной заболеваемости с временной и постоянной утратой трудоспособности (в течение года), чел.;

B_{Π} – средний размер пособия по временной нетрудоспособности, приходящегося на один день болезни персонала, руб.;

P_1, P_2 – среднегодовое количество человеко-дней работы одного персонала, до и после» [3] внедрения технических решений, чел./дн.

Рассчитаем сокращение суммы выплат $\mathcal{E}_c$ из фондов социального страхования за период временной и постоянной нетрудоспособности работников (машинистов и помощников машинистов):

$$B_{\Pi} = 11 \text{ чел.}; B_{\Pi} = 656,64 \text{ р.}; P_1 = 153 \text{ чел./дн.}; P_2 = 149 \text{ чел./дн.}$$

$$\mathcal{E}_c^M = 11 \cdot 656,64 \cdot (153 - 149) = 28892,16 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E}_c^{PM} = 11 \cdot 533,26 \cdot (153 - 149) = 23463,23 \text{ руб.}$$

Сокращение суммы выплат $\mathcal{E}_c$ из фондов социального страхования за период временной и постоянной нетрудоспособности работника:

$$\mathcal{E}_c = \mathcal{E}_c^M + \mathcal{E}_c^{PM} = 52,4 \text{ тыс. руб.}$$

Сокращение суммы выплат $\mathcal{E}_c$ составит 52,4 тыс. руб.

Расчет социально-экономической эффективности мероприятий по охране труда

Рассчитанные выше затраты и результаты, связанные с внедрением мероприятий по улучшению условий охраны труда, являются исходной базой для расчета показателей социально-экономической эффективности.

Социально-экономическая эффективность выражается в абсолютных или относительных показателях и рассчитывается в общем виде как разность или отношение между полученным или ожидаемым результатом и затратами.

Произведем экономическую оценку эффективности трудоохранного мероприятия за установленный расчетный период. Расчетный период меньше всего жизненного цикла, он устанавливается инвестором и называется «горизонтом расчета» эффекта. Для нестандартных инструментов и приборов горизонт расчета можно принять равным 2 годам.

Расчет абсолютного экономического эффекта

Чистый экономический эффект (чистый доход) ЧД определяется как разность между полным экономическим эффектом (результатом) и затратами на выполнение мероприятий:

$$\text{ЧД} = \sum_0^T (P_t - Z_t) \quad (5.25)$$

где : T – горизонт расчета;

P_t – результаты, достигаемые на t -м шаге;

Z_t – суммарные капитальные и эксплуатационные (текущие) затраты, вызванные внедрением мероприятия.

К затратам на выполнение мероприятия относятся:

- 1) Единовременные (капитальные) вложения;
- 2) Эксплуатационные (текущие) расходы

Шагом горизонта расчета примем 1 год.

Формулу нахождения чистого экономического эффекта можно представить в развернутом виде:

$$\text{ЧД} = (P_t^1 - (Z_k^1 + Z_z^1)) + (P_t^2 - (Z_k^2 + Z_z^2)), \quad (5.26)$$

где: P_t^1 , P_t^2 – полный экономический эффект в первый и второй годы соответственно, р.;

$З_k^1, З_k^2$ – капитальные затраты, вызванные внедрением мероприятия в первый и второй годы соответственно, руб.;

$З_э^1, З_э^2$ – эксплуатационные затраты, вызванные внедрением мероприятия в первый и второй годы соответственно, руб.

Чистый экономический эффект будет равен:

$$P_t^1 = 1655,01 \text{ тыс. руб.}; P_t^2 = 1655,01 \text{ тыс. руб.};$$

$$З_k^1 = 801,15 \text{ тыс. руб.}; З_k^2 = 0 \text{ тыс. руб.};$$

$$З_э^1 = 9,64 \text{ тыс. руб.}; З_э^2 = 9,64 \text{ тыс. руб.}$$

$$\text{ЧД} = (1655,01 - (801,15 + 9,64)) + (1655,01 - 9,64) = 2489,59 \text{ тыс.руб.}$$

Чистый экономический эффект – 2489,59 тыс.руб.

Если инвестиции производятся разовым вложением средств, то индекс доходности определяется по формуле [96]:

$$\text{ИД} = \frac{\sum_0^T (P_t - Z_t)}{K} \cdot \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (5.27)$$

где : K – капитальные вложения, тыс. руб.;

E – применяемая норма дисконта, %; $E=10\%$.

$$\text{ИД} = \frac{843,41}{810,79} \cdot \frac{1}{(1 + 0,1)^2} = 1,12$$

Так как индекс доходности больше 1, внедряемое предприятие, как инвестиционный проект, является эффективным.

Без учета фактора времени, т.е. когда равные суммы дохода, получаемые в разное время, рассматриваются как равноценные, срок окупаемости определяется по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{P}, \quad (5.28)$$

где : $T_{\text{ок}}$ – срок окупаемости технических решений, год;

K – размер капитальных вложений, руб;

P – ежегодный чистый доход, руб.

$$T_{\text{ок}} = \frac{810,59}{1655,01} = 0,49 \text{ года} = 179 \text{ дня}$$

Итого срок окупаемости 179 дней.

*Анализ результатов расчета социально-экономической
эффективности внедрения устройства «ИМП УРГУПС-1»*

В результате расчетов была получена оценка социально-экономической эффективности внедрения индикатора магнитного поля «ИМП УРГУПС-1».

1. Экономические показатели:

- Чистый экономический доход от внедрения предприятия составил 2489,59 тысяч рублей;

- Индекс доходности равен 1,12, что свидетельствует об эффективности данного инвестиционного проекта;

- Срок окупаемости мероприятия составляет 179 дней.

2. Социальные показатели:

- Численность работников, работающих на рабочих местах, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам, сократилась на 38 человек, что составляет половину от всей целевой группы;

- Требуемое число больничных дней прогнозируемо сократится на 6%;

- В результате внедрения мероприятия высвободится 6 человек.

Исходя из высоких социальных и экономических оценок, установка индикатора магнитного поля «ИМП УРГУПС-1», является рекомендуемым решением защиты временем обслуживающего персонала от магнитного излучения.

Вывод по главе 5

Впервые в диссертационной работе мы оценили энергетические характеристики ЭМП в ЭПС, а именно [60]:

- среднесменную энергетическую нагрузку ЭМП;
- суммарный уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП;
- суточную дозу потенциальной энергии облучения ЭМП;
- удельную суточную дозу потенциальной поглощенной энергии ЭМП [60].

Аналитическими исследованиями установлено, что:

– суммарные уровни среднесуточной энергетической нагрузки ЭМП в кабинах магистрального электроподвижного состава постоянного тока не оказывают вредного воздействия на электротехнический персонал, что ранее не исследовалось [60];

– в машинных отделениях тяговых агрегатов ОПЭ1-АМ, НП-1 и электровозов ВЛ80с суммарные уровни энергетической нагрузки ЭМП превышают ПБУ, необходимо использовать систему защиты [60];

Все рассмотренные энергетические характеристики ЭМП в тяговых агрегатах ОПЭ1-АМ превышают ПБУ, что может привести к повреждению здоровья персонала, поэтому необходимо использовать систему защиты [60].

Впервые нами были разработаны способы и устройства (получены патенты РФ), связанные с контролем и информированием персонала о вредных уровнях полей разной частоты (до 1 кГц) как переменного, так и постоянного тока, и позволяющие учитывать аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на персонал [60].

Каждое устройство разработано для своих целей. При наличии на рабочих местах электротехнического персонала [60]:

- магнитных полей с частотой 50 Гц – используется способ контроля уровня напряжённости МП электроустановок переменного тока и устройство для его осуществления [115];
- магнитных полей со спектром высших гармонических составляющих – применяется способ контроля напряжённости МП по приведённым уровням высших гармонических составляющих переменного тока и устройство для его осуществления [116];
- магнитных полей разного рода тока – устройство для [60] «контроля напряжённости МП переменного и постоянного тока» [191];
- «электрических и магнитных полей – устройство для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля [40] (энергетической нагрузки ЭМП» [43]).

Доказана социально-экономическая эффективность внедрения устройства «ИМП УРГУПС-1» в тяговые агрегаты.

Приведённые устройства и способы контроля полей вместе с разработанными методиками оценки и нормирования ЭМП до 1 кГц создают систему защиты персонала и позволяют повысить уровень электробезопасности в организации, сохраняя здоровье работников в процессе трудовой деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основании выполненных автором исследований предложено новое решение научно-технической проблемы защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей до 1 кГц.

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. Созданы методика оценки, контроля и нормирования ЭМП и логико-вероятностной модели возможных исходов аддитивного воздействия электрических и магнитных полей на электротехнический персонал.

2. Доказано, что среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП в виде вектора Умова – Пойнтинга может служить универсальной характеристикой для оценки аддитивного (суммарного) воздействия электрических и магнитных полей до 1 кГц на электротехнический персонал.

3. Разработан проект ГОСТ Р «Вероятность повреждения здоровья электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей», основанный на логико-вероятностном моделировании ЭМП.

4. Создана математическая модель для определения энергетических характеристик ЭМП в ЭПС, учитывающая аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на электротехнический персонал.

5. Впервые установлены закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП от параметров тяговой сети, позволяющие обеспечить создание системы защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей.

6. Разработана система защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей, учитывающая установленные нами закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП от параметров тяговой сети, а также новые подходы в методическом, организационном, лечебно-профилактическом и техническом обеспечении.

7. Техническое обеспечение включает:

- способ и устройство контроля уровня напряжённости магнитного поля электроустановок переменного тока;
- устройство для измерения энергетической нагрузки электромагнитного поля;
- способ и устройство контроля уровня напряжённости магнитного поля по приведённым уровням высших гармонических составляющих переменного тока;
- устройство для контроля напряжённости магнитных полей переменного и постоянного тока.

8. Доказана социально-экономическая эффективность внедрения устройства контроля магнитных полей в тяговые агрегаты.

9. Разработанные устройство для контроля напряжённости магнитного поля 50 Гц и Методика определения вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей применяются в Свердловской дирекции капитального ремонта и реконструкции объектов электрификации и электроснабжения – филиале ОАО «РЖД».

Материалы исследований и разработанные методические рекомендации рассмотрены и одобрены Дорпрофжелом Свердловской железной дороги, Северо-Осетинской республиканской организацией Общероссийского профсоюза образования, ФГБОУН Института горного дела УрО РАН и рекомендованы для внедрения на предприятиях.

Устройство для создания аддитивного переменного магнитного и электрического полей от 25 Гц до 1 кГц используется на кафедре «Биология» ФГБОУ ВО ИнГГУ (г. Магас, Республика Ингушетия) с целью проведения исследований по определению вредного влияния энергетической нагрузки ЭМП на биологические объекты.

Теоретические положения, практические результаты и выводы применяются в учебном процессе на кафедрах «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО УрГУПС (Екатеринбург) и «Безопасность жизнедеятельности» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» (г. Челябинск), что подтверждается соответствующими актами внедрения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агарков, А.И. Организация профилактики онкологической заболеваемости с учетом медико-социальных факторов риска / А.И. Агарков, Г.Я. Клименко, Г.В. Сыч // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2013. – № 11. – С . 197-201.
2. Бадер, М.П. Электромагнитная совместимость. –М.: УМК МПС. – 2002. – 638 с.
3. База данных URL: Кольцо вузов. (дата обращения: 12.06.2024).
4. Безопасность жизнедеятельности. Часть 2. Охрана труда на железнодорожном транспорте / К. Ю. Кузнецов [и др.]. М: Изд-во «Логос», – 2006. – 536 с.
5. Безопасность технологических процессов и производств. – URL: <https://e.lanbook.com/book/162977?category=9316>. (дата обращения: 10.01.2024).
6. Белинский, С.О. Система защиты от электромагнитных полей персонала электроустановок тягового электроснабжения : диссертация ... кандидата технических наук : 05.26.01. / Белинский Станислав Олегович. – Екатеринбург, 2006. – 190 с.
7. Большой справочник. – URL: <http://inethub.olvi.net.ua>. (дата обращения: 10.05.2024).
8. Бирюков, С.В. Разработка нового метода измерения напряженности электрического поля на основе сдвоенного электроиндукционного датчика / С.В.

Бирюков, Тюкин А.В., Тюкина Л.В. // Омский научный вестник. – 2024. – № 2 (190). – С. 99-106.

9. Бирюков, С.В. Сравнительное исследование двойного и сдвоенного электроиндукционных сферических датчиков напряженности электрического поля / С.В. Бирюков // Омский научный вестник. – 2024. – № 3 (191). – С. 125-132.

10. Бирюков, С.В. Исследование электроиндукционного датчика напряженности электромагнитного поля цилиндрической формы направленного приема / С.В. Бирюков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2023. – Т. 19. – № 2. – С. 111-118.

11. Бирюков, С.В. Исследование электроиндукционного дискового датчика напряженности электрического поля / С.В. Бирюков // Омский научный вестник. – 2023. – № 2 (186). – С. 134-139.

12. Богданова, В.Е. Персонализированный оперативный контроль функционального состояния работников железнодорожного транспорта / В.Е. Богданова, Е.В. Жовнерчук, Н.А. Костенко, В.В. Сериков // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102. – № 5. – С. 462-465.

13. Боровкова, А.М. Оценка профессионального риска для работников железнодорожного транспорта / А.М. Боровкова, Т.В. Кладова, Ю.А. Лазарева // Сиббезопасность-Спасиб. – 2013. – № 1. – С. 26-32.

14. Бутенко, Е.А. Совершенствование технологии эксплуатации контактной сети за счет применения распределительной автономной системы контроля и диагностики: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.09.03 / Бутенко Елена Александровна: – Омск, 2021. – 21 с.

15. Буякова, Н.В. Учет гармонических искажений при моделировании электромагнитных полей, создаваемых линиями электропередачи, питающими тяговые подстанции железных дорог / Н.В. Буякова, В.П. Закарюкин, А.В. Крюков, Д.А. Середкин // Электричество. – 2022. – № 5. – С. 28-38.

16. Буякова, Н.В. Электромагнитная безопасность на трассах многопутных участков тяговых сетей 25 кВ. Современные технологии. Системный анализ / Н.В. Буякова, А.В. Крюков, Д.А. Середкин, А.Д. Степанов. // Моделирование. – 2022. – № 1 (73). – С. 104-113.
17. Буякова, Н.В. Моделирование электромагнитных полей, создаваемых тяговыми сетями 25 кВ на многопутных участках / Н.В. Буякова, А.В. Крюков, К.В. Сулов, Д.А. Середкин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14. – № 2 (54). – С. 3-14.
18. Буякова, Н.В. Моделирование электромагнитных полей трехфазной системы тягового электроснабжения / Н.В. Буякова, А.В. Крюков, Д.А. Середкин, И.А. Фесак // Известия Транссиба. – 2022. – № 1 (49). – С. 83-94.
19. Бухтияров, И.В. Современные психологические факторы риска и проявления профессионального стресса / И.В. Бухтияров, М.Ю. Рубцов, Н.А. Костенко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. – № 5–2. – С. 773-775.
20. Бухтияров, И.В. Гигиенические проблемы улучшения условий труда на горнодобывающих предприятиях / И.В. Бухтияров, А.Г. Чеботарев // Горная промышленность. – 2018. – Т. 141. – № 5. – С. 33.
21. Вильк, М.Ф. Динамика производственного риска и показателей профессиональной заболеваемости работников железнодорожного транспорта / М.Ф. Вильк, Ю.Н. Каськов, В.А. Капцов, В.Б. Панкова // Медицина труда и экология человека. – 2020. – № 1 (21). – С. 49-59.
22. Внешние характеристики преобразователей. – URL: <http://anastasiya-myskina.ru> (дата обращения: 10.02.22).
23. Гигиена труда. – URL: <https://www.who.int/> (дата обращения: 11.05.21).
24. Григорьев, Ю.Г. Электромагнитная безопасность. Проблемы и пути решения / Ю.Г. Григорьев // материалы науч.-техн. конференции. – Саратов: Изд-во Сарат. Ун-та, – 2000. – С. 6-13.

25. Гутор, Е.М. Некоторые подходы и критерии оценки риска развития профессиональных заболеваний / Е.М. Гутор, Е.А. Жидкова, К.Г. Гуревич, И.В. Бухтияров, Е.В. Зибарев, С.М. Вострикова, П.А. Астанин // Медицина труда и промышленная экология. – 2023. – Т. 63. – № 2. – С. 94-101.

26. ГОСТ Р 12.0.011-2017. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда. Методы оценки и расчета профессиональных рисков работников железнодорожного транспорта (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 22.12.2017 N 2065-ст). – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129943/? (дата обращения: 11.04.22).

27. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Принципы и руководство (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 10.12.2019 N 1379-ст). – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129943/? (дата обращения: 12.07.22).

28. ГОСТ Р 51897-2021 (ISO Guide 73:2009). Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Термины и определения (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 11.11.2021 N 1489-ст) – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129943/? (дата обращения: 10.06.22).

29. ГОСТ Р 70675-2023. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Руководство по оценке риска для здоровья работников (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 15.03.2023 N 144-ст). – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129943/? (дата обращения: 12.01.23).

30. ГОСТ Р 54505 – 2011. Управление рисками на железнодорожном транспорте М.: Изд-во стандартов, 2011. – 54с.

31. Дез, Пиротт. Расчет и измерение напряженности электрического поля вблизи устройств высокого напряжения на окружающую среду: переводы докладов Международ. конференции по большим электрическим системам (СИГРЭ–76). – М.: Энергия, 1979. – 112 с.
32. Демирчян, К. С. Теоретические основы электротехники: / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. — СПб.: Питер. –2003. – 463 с.
33. Досрочные пенсии за работу во вредных условиях труда – URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01009486213> (дата обращения: 12.01.23).
34. Дьяков, А.Ф. Электромагнитная обстановка и оценка влияния ее на человека / А.Ф. Дьяков, И.И. Левченко, О.А. Никитин, О.А. Аношин [и др.] // Электричество. – 1997. – № 5. – С. 2-10.
35. Жидкова, Е. А. Результаты анализа причин внезапной смерти среди работников локомотивных бригад / Е. А. Жидкова, Н. Б. Найговзина, М. Р. Калинин и др. // Кардиология. – 2019. – Т. 59, – № 6. – С. 42-47.
36. Жидкова, Е. А. Организационно-методические аспекты выявления факторов риска внезапной смерти и других сердечно-сосудистых рисков и их профилактика у работников локомотивных бригад: дис. ... канд. мед. наук: 14.01.05 и 14.02.03 / Жидкова Елена Анатольевна – Москва, 2019. – 201 с.
37. Жидкова, Е. А. Анализ причин внезапной смерти среди работников железных дорог Российской Федерации // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. – 2022. – Т. 30, – № 4. С. 497–506.
38. Законодательный акт. Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2013/35/ЕС от 26 июня 2013 г. «О минимальных требованиях безопасности для работников в отношении рисков, связанных с физическим воздействием (электромагнитные поля) (20-я отдельная Директива в значении Статьи 16(1) Директивы 89/391/ЕЭС), и об отмене Директивы 2004/40/ЕС» – 2014. – 33 с.

39. Закиев, Е. Э. Опасные электромагнитные поля на подвижном составе и в локомотивном депо электрифицированных железных дорог: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.07 / Закиев Евгений Эдуардович: – ВНИИЖТ, 2007. – 175 с.

40. Закирова, А.Р. Защита электротехнического персонала тягового электроснабжения от вредного воздействия электромагнитных полей: дис. ... канд. тех. наук: 05.26.01 / Закирова Альфия Резавановна. – Екатеринбург, 2013. – 160 с.

41. Закирова, А.Р. Методы защиты персонала от электромагнитных полей / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов, Ж.М. Буканов // Электробезопасность. – 2014. – № 4. – С. 37-41.

42. Закирова, А.Р. Защита электротехнического персонала от вредного воздействия электромагнитных полей : монография. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2017. – 188 с.

43. Закирова, А. Р. Электромагнитная безопасность на транспорте : метод. указания / А. Р. Закирова. – Екатеринбург : УрГУПС, 2015. – 169 с.

44. Закирова, А.Р. Система защиты электротехнического персонала при воздействии электрических и магнитных полей / А.Р. Закирова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2025. – Т. 14. – № 1(69). – С. 186-190.

45. Закирова, А.Р. Формирование понятия «доза воздействия электромагнитного поля низкочастотного диапазона на организм человека» / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2015. – № 4 (28). – С. 91–98.

46. Закирова, А.Р. Исследование воздействия электромагнитных полей 50 Гц на биологические объекты / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов, А.М. Плиева, Я.М. Темеркеева // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 4 (32). – С. 159-169.

47. Закирова, А.Р. Исследование энергетической нагрузки ЭМП вблизи контактной сети / А.И.Сидоров, А.Н. Горожанкин, А.Р. Закирова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». –2024. –Т. 24, – № 1. –С. 80–87.

48. Закирова, А.Р. Оценка электромагнитной обстановки и вероятности возникновения профессионально обусловленного заболевания / К.Б. Кузнецов, А.Р. Закирова // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 4 (24). – С. 82-90.

49. Закирова, А.Р. Метод нормирования электрических и магнитных полей до 1кГц / Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей восьмой международной научной конференции Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2020. – 52-55 с.

50. Закирова, А.Р. Оценка аддитивного воздействия электрических и магнитных полей низкочастотного диапазона в производственных условиях / А.Р. Закирова // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 3 (39). – С. 106-116.

51. Закирова, А.Р. Развитие теории оценки магнитного поля вблизи контактной сети постоянного тока / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов, Г.А. Полуниин // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 2 (42). – С. 94-99.

52. Закирова, А.Р. Теоретическое обоснование аддитивной дозовой оценки электромагнитных полей в однородном теле человека / А.Р. Закирова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2019. – Т. 8. – № 3 (47). – С. 187-190.

53. Закирова, А.Р. Модель оценки энергетической нагрузки на основе международного опыта нормирования ЭМП / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2020. – Т. 9. – № 3 (51). – С. 152-155.

54. Закирова, А.Р. Применение энергии электромагнитного поля в дезинфицирующих кабинах для профилактики и снижения распространения вирусных инфекций / Кузнецов К.Б., Закирова А.Р. // Вестник Уральского

государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 3 (51). – С. 102-108.

55. Закирова, А.Р. Исследование электромагнитных полей по энергетическим характеристикам. / А.Р. Закирова // Наука и техника транспорта. – 2022. – № 4. – С. 87-91.

56. Закирова, А.Р. Аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на электротехнический персонал / Кузнецов К.Б., Закирова А.Р. // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 4. – С. 27-31

57. Закирова, А.Р. Вероятность возникновения профессионально обусловленного заболевания работников метод оценки воздействия энергии ЭМП на электротехнический персонал / К.Б. Кузнецов, А.Р. Закирова // Электробезопасность. – 2015. – № 2. – С. 26-33.

58. Закирова, А.Р. Методология оценки риска получения электротехническим персоналом профессиональных заболеваний, вызванных воздействием магнитных полей / А.Р. Закирова // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 3 (55). – С. 114-122.

59. Закирова, А.Р. Защита электротехнического персонала тягового электроснабжения от вредного воздействия электромагнитных полей: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.26.01 / Закирова Альфия Резавановна. – Екатеринбург, 2013. – 20 с.

60. Закирова, А.Р. Методология управления профессиональными рисками в энергетическом комплексе железнодорожного транспорта: монография. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2024. – 169 с.

61. Закирова, А.Р. Метод логико-вероятностного моделирования энергетических характеристик ЭМП, воздействующих на персонал / А.И. Сидоров, А.Р. Закирова // Безопасность жизнедеятельности. – 2023. – № 12 (276). – С. 21-26.

62. Закирова, А.Р. Влияние ЭМП на здоровье участников образовательного процесса УрГУПС и меры защиты / А.Р. Закирова // Образование, охрана труда и здоровье: Материалы IV Международной заочной научно-практической конференции 25 апреля 2014. – С. 281-286.

63. Закирова, А.Р. Метод оценки условной вероятности воздействия на персонал энергетических характеристик ЭМП / А.Р. Закирова // Результаты современных научных исследований и разработок: сборник статей X Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2020. – С. 43-46.

64. Закирова, А.Р. Методы защиты персонала от магнитных полей / Ж.М. Буканов, А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов // Электробезопасность. – 2014. – № 4. – С. 39-45.

65. Закирова, А.Р. Снижение риска вредного воздействия магнитных полей на персонал / А.Р. Закирова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12. – № 4 (64). – С. 203-206.

66. Измеров, Н.Ф. Оценка профессионального риска в медицине труда: принципы, методы и критерии / Н.Ф. Измеров, Э.И. Денисов // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2004. – № 2. – С. 17-21.

67. Исследование показателей надежности тяговых электрических машин. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-pokazateley-nadezhnosti-tyagovyh-elektricheskikh-mashin> (дата обращения: 23.09.2020).

68. Климченко, Л.Н. Безопасность труда при эксплуатации и ремонте подвижного состава в условиях влияния магнитных полей: дис. ... канд. тех. наук: 05.26.01 / Климченко Лев Николаевич. – Ростов-на-Дону, 1984. – 201 с.

69. Климченко, Л.Н. Неионизирующее электромагнитное влияние на объектах железнодорожного транспорта: учебное пособие. Ростов - н/Д : Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2002. – 206 с.

70. Коннова, Е.И. Расчет электромагнитного влияния сетей переменного тока на металлические коммуникации / Е.И. Коннова, А.Б. Косарев // Вестник

Всероссийского научно–исследовательского института железнодорожного транспорта. – 1990. – № 2. – С. 17.

71. Коробейников, С.М. Исследование электромагнитных полей в помещениях закрытой электрической подстанции / С.М. Коробейников, Ю.Г. Соловейчик, А.Д. Коробенков // Безопасность в техносфере. – 2011. – № 1. – С. 37-43.

72. Коробенков, А.Д. Воздействие переменных магнитных полей низких частот на организм человека / А.Д. Коробенков, С.М. Коробейников., М.С. Акрамова // Безопасность в техносфере. – 2016. – Т. 5. – № 6. – С. 65-75.

73. Косарев, А.Б. Электромагнитная совместимость электроустановок и сетей не тягового электроснабжения с электрифицированными железными дорогами переменного тока / А.Б. Косарев, Б.И. Косарев // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2016. – № 5. – С. 39-44.

74. Косарев, А.Б. Электромагнитные процессы в системе тягового электроснабжения 2×25 КВ с отсоединенными от рельсового пути опорами контактной сети / Косарев А.Б. // Вестник научно–исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2016. – Т. 75. – № 2. – С. 74-81.

75. Косарев, А.Б. Анализ уровней пространственного распределения напряженности электромагнитного поля вблизи источников электромагнитного излучения в хозяйстве автоматики и телемеханики / А.Б. Косарев, А.В. Наумов, Е.Э. Закиев // Развитие железнодорожного транспорта в условиях реформирования: сб. науч. тр.– Москва, 2006. – С. 152-161.

76. Косарев, А.Б. Напряженности электрического и магнитного полей на подвижном составе, в пассажирских вагонах, устройствах СЦБ и связи / А.Б. Косарев, А.В. Наумов, Е.Э. Закиев // Железнодорожный транспорт на современном этапе развития. Задачи и пути их решения: сб. статей молодых ученых и аспирантов. – М., – 2005. – Сер. «Труды ВНИИЖТ». – С. 67-72.

77. Косарев, А.Б. Основы теории электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения переменного тока / А.Б. Косарев – М.: Интекст, 2004. – 272 с.

78. Косарев, А.Б. Электромагнитные процессы в системе тягового снабжения 2×25 кВ отсоединёнными от рельсового пути опорами контактной сети / А. Б. Косарев // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2016. – Т. 75. – № 2. – С. 74-81.

79. Косарев, А.Б. Обеспечение электробезопасности систем электроснабжения электрифицированных железных дорог переменного тока для линий ВСМ / А. Б. Косарев, А.В. Барч, Е.Н. Розенберг // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2018. – Т. 77. – № 6. – С. 337-346

80. Костенко, Н.А. Условия труда, медицинское обеспечение и заболеваемость стресс-обусловленными невротическими расстройствами работников ОАО «РЖД» / Н.А. Костенко, И.В. Бухтияров, Е.В. Жовнерчук, В.В. Сериков, Д.Е. Хатин // Медицина труда и промышленная экология. – 2023. – Т. 63. – № 6. – С. 379-385.

81. Костенко, Н.А. Условия труда и профессиональная заболеваемость как основа управления рисками для здоровья работников // Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. – 2018. – № 3. – С. 42-56.

82. Костенко, Н.А. Условия труда и профессиональная заболеваемость как основа управления рисками для здоровья работников: автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.02.04 / Костенко Наталья Алексеевна. – Москва, – 2015. – 23 с.

83. Костенко, Н.А. Условия труда и профессиональная заболеваемость как основа управления рисками для здоровья работников // Медицина труда и промышленная экология. – 2015. – № 4. – С. 43-45.

84. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 573

85. Крапивин, О.М. Комментарий к федеральному законодательству Российской Федерации об акционерных обществах работников (народных предприятиях). – URL: <http://base.garant.ru/5808016> (дата обращения: 20.03.2024)

86. Крюков, А.В. Моделирование электромагнитных влияний тяговых сетей различной структуры на трубопроводы наземной прокладки / А.В. Крюков, Ю.Н. Булатов, А.В. Черепанов // Системы. Методы. Технологии. – 2024. – № 2 (62). – С. 50-60.

87. Крюков, А.В. Моделирование электромагнитных влияний тяговых сетей трехпутных участков на трубопроводы / А.В. Крюков, Ю.Н. Булатов, А.В. Черепанов // Системы. Методы. Технологии. – 2024. – № 4 (64). – С. 27-35.

88. Крюков, А.В. Моделирование электромагнитных полей тяговой сети 25кВ с учетом металлических конструкций portalного типа / А.В. Крюков, В.П. Закарюкин, Е.В. Воронина // Известия Транссиба. – 2024. – № 1 (57). – С. 131-141.

89. Крюков, А.В. Моделирование электромагнитных полей тяговых сетей с учетом металлических конструкций portalного типа / А.В. Крюков, К.В. Суслов, Е.В. Воронина // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2024. – Т. 17. – № 7. – С. 841-852.

90. Крюков, А.В. Учет транспозиции проводов при моделировании электромагнитных влияний ЛЭП на трубопроводы / А.В. Крюков, К.В. Суслов, П.В. Илюшин // Электричество. – 2023. – № 3. – С. 22-34.

91. Крюков, А.В. Моделирование электромагнитных влияний тяговых сетей, оснащенных средствами компенсации реактивной мощности, на трубопроводы / А.В. Крюков, К.В. Суслов // Интеллектуальная электротехника. – 2024. – № 3 (27). – С. 65-81.

92. Кудрин, В. А. Медико-профилактические вопросы преждевременной смертности на железнодорожном транспорте / В. А. Кудрин, С. А. Краевой // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2008. – № 1. – С. – 110-113.

93. Кузнецов, А.Н. Биофизика электромагнитных воздействий: основы дозиметрии. М.: Энергоатомиздат, –1994. –256 с.
94. Кузнецов, К.Б. Основы электробезопасности в электроустановках. – М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», – 2017. – 495 с.
95. Лазуткина, А. Ю. Структура смертности работников локомотивных бригад Забайкальской железной дороги / А. Ю. Лазуткина, В. В. Горбунов // Дальневосточный медицинский журнал. – 2013. – № 3. – С. 125-127.
96. Лессер, Т.С. Определение социальной и экономической эффективности мероприятий по охране труда на железнодорожном транспорте: метод. рекомендации. / Т.С. Лессер. – Екатеринбург : УрГУПС. – 2009. – 56 с.
97. Логинова, В.А. Гигиеническая оценка условий труда и профессионального риска здоровью работников на объектах железнодорожного транспорта // Анализ риска здоровью. – 2017. – № 2. – С. 96–101.
98. Ломаев, Г.В. Причины и механизмы ослабления геомагнитного поля в помещениях многоэтажных зданий по результатам измерений в городах / Ю.Г. Рябов, А.А. Репин // Технологии электромагнитной совместимости. – 2020. – № 2 (73). – С. 36-45.
99. Ломаев, Г.В. Проблемы безопасности в жилых домах: гипогеомагнитное поле / А.А. Репин, Г.В. Ломаев, Ю.Г. Рябов, П.А. Шихарев // Стандарты и качество. – 2020. – № 1. – С. 102-107.
100. Ломаев, Г.В. Исследование соленоида как источника однородного магнитного поля в магнитобиологических опытах / М.С. Емельянова, Г.В. Ломаев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2020. – Т. 18. – № 4. – С. 47-53.
101. Ломаев, Г.В. Безопасность электромагнитных факторов на компьютерных рабочих местах в жилых помещениях / Ю.Г. Рябов, Н.М. Легкий // Russian Technological Journal. – 2022. – Т. 10. – № 2. – С. 14-27.

102. Ломаев, Г.В. Трансформаторы городских подстанций – индукции электромагнитных полей / Ю.Г. Рябов, М.А. Рыбин, Н.М. Легкий // Стандарты и качество. – 2020. – № 11. – С. 62-67.

103. Ломаев, Г.В. Причины ослабления геомагнитного поля в многоэтажных зданиях / Ю.Г. Рябов, А.А. Репин // Стандарты и качество. – 2020. – № 5. – С. 104-108.

104. Матафонов, А.А. Исследование электромагнитного поля на грузовом подвижном составе. Дипломный проект. 2014 . – 107с.

105. Марквардт, К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог: учеб. для вузов ж д. трансп. / К.Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1965. – 463 с.

106. Материалы XI Всероссийского конгресса «Профессия и здоровье». – URL: <https://emll.ru/request>. (дата обращения: 13.09.2022).

107. Необходимо ли работодателю (государственное казенное учреждение образования) организовывать проведение обязательных медицинских осмотров сотрудников, работающих целый день у мониторов компьютера и имеющих ненормированный рабочий день, если по результатам специальной оценки условий труда указанных работников условия труда на их рабочих местах признаны допустимыми (2 класс)? – URL: <https://gorodskoyportal.ru/sevastopol/news/news/21043583/> (дата обращения: 14.09.2020).

108. Николаев, А.Ю. Устройство и работа электровоза ВЛ80^с: Учебное пособие для учащихся образовательных учреждений железнодорожного транспорта, осуществляющих профессиональную подготовку / А.Ю. Николаев, Н.В. Сесявин – М.: Маршрут, 2006. – 512 с.

109. Николаевский, Е.Н. Профессиональные заболевания у машинистов локомотивных бригад в современных условиях / Е.Н. Николаевский, Г.С. Кажигалиева // Новая наука: проблемы и перспективы. – 2016. – Т. 79. – № 5–3. – С. 25–27.

110. Об утверждении правил «Критерии оценки профессиональных рисков работников ОАО «РЖД», непосредственно связанных с движением поездов: распоряжение ОАО «РЖД» № 2631р от 21.12.2009 г. – URL: http://www.businesspravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_167300.html (дата обращения: 23.09.2018).

111. Обеспечение безопасности – URL: <https://dspace.susu.ru> (дата обращения: 20.08.2019).

112. Онищенко, Г.Г. Анализ риска здоровью стратегии государственного социально-экономического развития: монография / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, И.В. Май, П.З. Шур, А.Ю. Попова, В.Б. Алексеев, О.В. Долгих, М.А. Землянова, Т.В. Нурисламова, П.В. Трусов, Т.С. Уланова, О.Ю. Устинова, Е.Е. Андреева, Е.М. Власова, О.И. Голева, Д.А. Кирьянов, С.В. Клейн, В.Г. Костарев, Н.А. Лебедева-Несевря, К.П. Лужецкий. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. Политех. ун-та, – 2014. – 737 с. ISBN 978-5-398-01344-3.

113. Осипов, С.И. Теория электрической тяги : Учебник для вузов ж.д. транспорта / С.И. Осипов, С.С. Осипов, В.П. Феоктистов. – М.: Маршрут, 2006. – 436 с.

114. О применении санитарных мер. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/H10T0000299#24> (дата обращения: 20.06.2024).

115. Патент № 2436111 Российская Федерация. Способ контроля уровня напряженности магнитного поля электроустановок переменного тока и устройство для его осуществления / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34.

116. Патент № 2457500 Российская Федерация. Способ контроля уровня напряженности магнитного поля по приведенным уровням высших гармонических составляющих переменного тока и устройство для его осуществления / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов; опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21.

117. Патент № 2572294 Российская Федерация. Устройство для контроля напряженности магнитных полей переменного и постоянного токов / А.Р. Закирова, Ж.М. Буканов; опубл. 10.01.2016, Бюл. № 1.

118. Патент № 2441248 Российская Федерация. Устройство для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов; опубл. 27.01.2012, Бюл. № 3.

119. Патент № 2589497 Российская Федерация. Устройство для создания переменного магнитного и электрического полей / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов, И.А. Миронов; опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19.

120. Патент № 2149415С1 Российская Федерация. Устройство для индивидуального учета уровня воздействия электрического поля на организм человека / М.В. Гареев, И.С. Окраинская, А.И. Сидоров, В.Д. Куфельд – URL: <https://poleznayamodel.ru/patent/214/2149415.html> (дата обращения: 19.05.23).

121. Правила расследования и учета профессиональных заболеваний работников, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 5 июля 2022 г. № 1206. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129943/ (дата обращения: 12.01.23).

122. Правила тяговых расчетов для поездной работы: [правила: утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 № 867р.: по состоянию на 28.10.2019]. – М, 2016. – 515 с.

123. Приказ Минтруда России от 24 января 2014 г. № 33н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129943/ (дата обращения: 12.01.23).

124. Приказ Минтруда России от 15.12.2020 № 903н (ред. от 29.04.2022) Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок

(Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61957) – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129943/? (дата обращения: 08.05.22).

125. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 27 апреля 2012 г. № 417н – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129943/? (дата обращения: 08.02.23).

126. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда». М.: Изд-во стандартов, 2005. – 142с.

127. Р 2.2.1766-03 «Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки». М.: Изд-во стандартов, 2003. – 15с.

128. Рекомендации по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков, утв. приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 28 декабря 2021 г. № 926. – 2022. – 67с.

129. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022). Трудовое законодательство. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129943/? (дата обращения: 08.02.23).

130. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129943/? (дата обращения: 04.02.23).

131. Седов, П.С. Обеспечение электромагнитной безопасности операторов производственных процессов в горной отрасли : диссертация ... кандидата технических наук : 05.26.01 / Седов Павел Сергеевич. – Санкт-Петербург, 2016. – 120 с.

132. Сергеевков, Н. А. Экспериментальные исследования электромагнитных полей на электрическом подвижном составе / Н. А. Сергеевков, А. Н. Горский, П. Ю. Васильев // Бюллетень результатов научных исследований. – 2021. – Вып. 2. – С. 48–58. DOI: 10.20295/2223-9987-2021-2-48-58.

133. Сидоров, А.И. Выбор методики построения карт распределения напряженности электрического поля вдоль линии электропередачи напряжением 500 кВ в зависимости от рельефа местности / А.И. Сидоров, С.Ш. Таваров // Достижения науки агропромышленному производству: материалы LI международной научно-технической конференции. Челябинск: ЧГАА, – 2012. – Ч. VI. – С. 100-103.

134. Сидоров, А.И. Безопасность жизнедеятельности. – М: изд-во КноРус, 2002. – 605 с.

135. Семенихин, В. В. Охрана труда. – URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01007551401> (дата обращения: 14.05.23).

136. Совершенствование методологии оценки рисков. – URL: <http://diss.natlib.uz> (дата обращения: 12.04.24).

137. Сошников, А.А. Совершенствование механизма контроля состояния электромагнитной безопасности / А.А. Сошников, Е.В. Титов // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2010. – С. 10.

138. Сошников, А.А. Цилиндрическая картина опасности электромагнитных излучений / А.А. Сошников, Е.В. Титов, И.Е. Мигалев // Проблемы техносферной безопасности: Материалы II международной заочной науч.-практ. конференции.; Изд-во Алтайского гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова. – 2017. – С. 109-115.

139. Сошников, А.А. Информационные критерии оценки эффективности электрической защиты сельских сетей 0,38 кВ / А.А. Сошников // ЭНЕРГО– И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ – XXI ВЕК: материалы XII междунар. науч.–практ. интернет–конференции. – 2016. – С. 46.

140. Способы контроля уровня напряженности магнитного поля электроустановок переменного тока и устройства для его осуществления - УрГУПС (usurt.ru). - URL: <https://www.usurt.ru/science/razrabotki-uchyonykh-urgups/imp-urgups-2019>.

141. Справочно-правовая система СПС ГАРАНТ: Охрана труда. – URL: <http://ivo.garant.ru> (дата обращения: 07.02.24).

142. СТО РЖД 15.014 Система управления охраной труда в ОАО "РЖД". Управление профессиональными рисками. Общие положения. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129943/? (дата обращения: 08.03.23).

143. Титов, Е.В. Компьютерное моделирование наложенных электромагнитных волн от источников электромагнитного поля в широком диапазоне частот / Е.В. Титов, А.А. Сошников, В.Ю. Васильев, А.С. Соловской // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 3 (209). – С. 102-108.

144. Титов, Е.В. Методология комплексного контроля и визуализации электромагнитной обстановки в АПК : автореф. дис. ... док. техн. наук : 05.20.02 / Титов Евгений Владимирович. – Барнаул, 2021. – 43 с.

145. Титов, Е.В. Автоматизация выбора защитных мероприятий по обеспечению электромагнитной безопасности / Е.В. Титов, А.А Сошников, И.Е Мигалёв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 5 (187). – С. 166-175.

146. Титов, Е.В. Оценка защитного действия многослойного экрана в электрическом поле широкого диапазона частот / Е.В. Титов, А.А Сошников, Л.В. Куликова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 9 (179). – С. 157-162.

147. Транспортный комплекс региона: методология и практика обеспечения сбалансированного развития. – URL: <https://www.dissercat.com/>

content / transportnyi- kompleks- regiona- metodologiya-i- praktika -obespecheniya-sbalansirovannogo-razvit (дата обращения: 04.03.22).

148. Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28 декабря 2013 г. № 426-ФЗ. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129943/? (дата обращения: 05.02.22).

149. Федорович, Г.В. Профессиональный риск: количественная оценка и управление // Безопасность и охрана труда. – 2012. – № 1. – С. 60-64.

150. Филиппов, А.Н. Определение профессионального риска на основе интегральной оценки в электроэнергетической отрасли: дис. ... канд. тех. наук: 02.10.03 / Филиппов Александр Николаевич. – Челябинск, 2023. – 144 с.

151. Чеботарев, А.Г. Условия труда и профессиональный риск нарушения здоровья рабочих рудных карьеров / А.Г. Чеботарев, Л.М. Лескина, Н.П. Головкова // Горная промышленность. – 2020. – № 5. – С. 115-119. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-5-115-119.

152. Чеботарев, А.Г. Состояние условий труда, профессиональной заболеваемости и совершенствование медико-профилактического обеспечения работников горнодобывающих предприятий / А.Г. Чеботарев, В.Ф. Пфаф, И.Ю. Гибадулина // Горная промышленность. – 2021. – № 3. – С. 139-143. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-3-139-143.

153. Ширшов, А.Б. Защита от вредного и опасного воздействия электромагнитных полей тяговой сети: дис. ... канд. тех. наук: 05.26.01 // Ширшов Александр Борисович – Екатеринбург, 2006 – 104 с.

154. Algorithm of Assessing Working Conditions at Waste Processing Plants. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8554133> (дата обращения: 05.08.23).

155. Algorithm development for assessing the risk of damage to the health of workers in the energy industry – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8708844>. (дата обращения: 01.07.20).

156. Alfreddson, L. Cancer incidence among male railway engine–drivers and conductors in Sweden / L. Alfreddson, N. Hammar, S. Karlehagen // *Cancer Causes Control.* – 1996, – v7, – p. 377-81.
157. Assessment of the Influence of Electromagnetic Fields of the Radio Frequency Range on a Person. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10479563>. (дата обращения: 05.08.23).
158. Burch, J.B. Melatonin metabolite levels in workers exposed to 60–Hz magnetic fields: work in substations and with 3–phase conductors / J.B. Burch, J.S. Reif, C.W. Noonan, [et al.] // *J Occup Environ Med.* – 2000, – v 42, – p. 136-42.
159. Cam, S.T. Occupational exposure to magnetic fields from transformer stations and electric enclosures in Turkey / *Electromagnetic Biology and Medicine*, – 2011, – No.30(2). – p. 74-79.
160. Coogan, P.F. Occupational exposure to 60–hertz magnetic fields and risk of breast cancer in women / P.F Coogan, R.W. Clapp , P.A. Newcomb [et al.] // *Epidemiology.* – 1996. – v 7. – p. 459-64.
161. Cucu, M. Determination of electromagnetic risk area in electrical equipments / M. Cucu, M. Vlad, C. L. Popescu and M. O. Popescu // 2013 8th international symposium on advanced topics in electrical engineering (ATEE), Bucharest, 2013, pp. 1-4.
162. Dervić, K. The Radiation of electromagnetic fields of very low frequency, International conference «Ecology of urban areas 2012», Hunting Manor, Kaštel – Ečka, Zrenjanin, – Pg. 348-365.
163. Extremely low frequency fields. – URL: government.ru (дата обращения: 19.02.2024).
164. Grudzinski, E. Analysis of requirements and peculiarities of design of electromagnetic field sensors when using them for people life and health protection / E. Grudzinski, K. Rozwalka, V. Nichoga and P. Dub // *Second IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*, 2003, pp. 473–476.

165. Hanna, S. A. Very-Low-Frequency Electromagnetic Field Detector With Data Acquisition / S. A. Hanna, Y. Motai, W. J. Varhue and S. Titcomb // In IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2009. – vol. 58. – №1. – p. 129–140.
166. Haque, M. Effects of Electromagnetic Fields (EMF). Near High Voltage Transmission Line: a Case Study /Bangladesh Journal of Medical Physics. –2014, – Vol. 7, –p. 66-68.
167. Information on International Congress-Exhibition Activities in Education. – URL: <https://www.krsu.edu.kg/>(дата обращения: 19.02.2025).
168. Izmerov, N.F. Evalution of occupational diseases according to their risk and severity categories / N.F. Izmerov, V.A. Kaprtsov, V.G. Ovakimov, E.I. Denisov // Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology. – 1993. – Vol. 9–10. – p. 13.
169. Izmerov, N.F. Social and hygienic aspects of occupational risk for health and resources of protection with time / N.F. Izmerov, V.A. Kaprtsov, E.I. Denisov, V.G. Ovakimov // Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology. – 1994. – Vol. 2. – p. 1–4.
170. Kato, M. Recovery of nocturnal melatonin concentration takes place within one week following cessation of 50 Hz circularly polarized magnetic field exposure for six weeks / M. Kato, K. Honma, T. Shigemitsu, Y. Shiga // Bioelectromagnetics. – 1994. – Vol. 15. – Pp. 489-492.
171. Kosarev, A.B. System provisions of electromagnetic compatibility between S&C and AC traction power supply facilities / A.B. Kosarev, D.V. Serbinenko // Vniizht Bulletin (Railway Research Institute Bulletin). – 2012. – № 1. – C. 27-31.
172. Kosarev, A.B. Traction power supply system with negligible voltage unbalance ratio on the input side of the main traction transformer / A.B. Kosarev, M.V. Alexeenko // Vniizht Bulletin (Railway Research Institute Bulletin). – 2015. – № 2. – C. 20-24.

173. Kosarev, A.B. Electromagnetic effect of an alternating current traction power supply system with a high-voltage power cord on electrical installations and networks of contraction consumers / A.B. Kosarev, B.I. Kosarev // *Russian Electrical Engineering*. – 2020. – T. 91. – № 2. – C. 128-134.

174. Kuznetsov, K.B. Higher Harmonic Components of Rectifiers Magnetic Fields and their Adverse Health Effects / K.B. Kuznetsov, A.R. Zakirova // *Procedia Engineering*. – 2015. – vol. 129. – Pp. 415–419.

175. Kuznetsov, K.B. Assessment of Harmful Health Effects of AC Rectifier Converters Harmonic Components / K.B. Kuznetsov, A.R. Zakirova // *Procedia Engineering*. – 2015. – vol. 129. – Pp. 420–426.

176. Kuznetsov, K., Zakirova, A. Harmonic composition of the rectified current in traction substations when using different rectifier circuits. 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM).-URL:<https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/7898598/proceeding>.

177. Ma, Yan. Measurement of high voltage substation generated electromagnetic field / Yan Ma, G. G. Karady, J. R. Hunt and B. L. Priest // 2011 IEEE Trondheim Power Tech, Trondheim, – 2011, – pp. 1-6.

178. Morales, J. A. Electromagnetic fields in distribution feeders and electrical substations analysis: A study case in Ecuador / J. A. Morales, P. Gavela and A. S. Bretas // 2015 North American Power Symposium (NAPS), Charlotte, NC, – 2015, – pp. 1-6.

179. Minder, C.E. Leukemia, brain tumors, and exposure to extremely low frequency electromagnetic fields in Swiss railway employees / C.E. Minder, D.H. Pfluger // *Am J Epidemiol*. – 2001. – v 153. – p. 25-35.

180. Muharemovic, A., Madzarevic V., Salkic H., Turkovic I., Mehinovic N.: Calculation of Low-frequency Magnetic Field Distribution of a Transformer Station in Stationary State / *International Review on Modelling and Simulations (IReMoS)*. - December 2009 – Papers, Print ISSN 1974-9821, Cd-Rom ISSN 1974-983X.

181. Nakagawa, M.A, Study extremely low-frequency electric and magnetic field and cancer: Discussion of EMF safety limits// J.Occupat. Health. 1997. Vol. 39 Pp.18-28.

182. Poljak, D. Teorija elektromagnetskih polja sa primjenama u inženjerstvu, ISBN 978-953-0-30885-5, Školska knjiga Zagreb, 2014.

183. Pfluger, D.H. Effects of exposure to 16.7 Hz magnetic fields on urinary 6-hydroxymelatonin sulfate excretion of Swiss railway workers / D.H Pfluger, C.E. Minder // J Pineal Res. – 1996. – v 21. – p. 91-100.

184. Salkic, H., Madzarević, V., Klaric, M., Mehinovic, N.: Calculation and Measuring of Quasi-Static Electromagnetic Field in Electric Facilities, EMF 2009 8th International Symposium on Electric and Magnetic Fields From Numerical Models to Industrial Applications Mondovì, Italy, May 26-29, 2009.

185. Savitz, D.A. Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers / D.A. Savitz, D. Liao, A. Sastre, [et al.] // Am J Epidemiol, – 1999. – v 149. – p.35-42.

186. Soshnikov, A.A. A Mobile system for integrated characterization of electromagnetic radiation danger / A.A. Soshnikov, E.V. Titov, I.E. Migalev // Russian Electrical Engineering. – 2018. – T. 89. – № 12. – C. 685-688.

187. Szychta, L. The Influence of Electromagnetic Field on Honey Bee Workers – Review Paper / IEEE Conference Publication / IEEE Xplore.– 2024

188. Titov, E.V. Computer imaging of electromagnetic environment in air space with industrial electromagnetic field sources in conditions of combined influence of am radiation / E.V. Titov, A.A. Soshnikov, I.E. Migalev // Journal of Electromagnetic Engineering and Science. – 2022. – T. 22. – № 1. – C. 34-44.

189. Titov, E.V. A low-frequency electromagnetic radiation analyzer to determine the risk-contributing factors of an electromagnetic situation / E.V. Titov, A.A. Soshnikov, O.N. Drobyazko // Russian Electrical Engineering. – 2018. – T. 89. – № 12. – C. 714–716.

190. Tynes, T. Leukemia and brain tumors in Norwegian railway workers, a nested case-control study [text] / T. Tynes, H. Jynge, A.I. Vistnes // Am J Epidemiol. – 1994. – v 139. – p. 643–653.

191. Zakirova, A.R. Harmonic Composition of the Rectified Current in Traction Substations when Using Different Rectifier Circuits / K.B. Kuznetsov, A.R. Zakirova // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Chelyabinsk, 2016, Paper 7911413.

192. Zakirova, A.R. Specific Energy of 50 Hz Electromagnetic Field / K.B. Kuznetsov, A.R. Zakirova, Yu.I. Averyanov // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Saint Petersburg, 2017, Paper 8076222.

193. Zakirova, A.R. Systems and Devices for Protection of Personnel Against Electromagnetic Fields / K. Kuznetsov, A. Zakirova // Proceedings - 2019 International Russian Automation Conference, Sochi, 2019, Paper 8867806.

194. Zakirova, A.R. On Technogenic Impact of Electromagnetic Components of Rectified Current and Voltage on Environment / K. Kuznetsov, A. Zakirova // Lecture Notes in Electrical Engineering 641 LNEE. – 2020. – P. 444–451.

195. Zakirova, A.R. Electromagnetic safety in transport engineering / Zakirova, A.R., Lugaskova, N.V., Kuznetsov, K.B. // AIP Conference Proceedings. – 2023. – No. 2476. – Paper 020047.

Перспективное направление деятельности работы.

Перспективное направление работы заключается в дальнейших исследованиях, посвященных усовершенствованию системы защиты персонала в соответствии с проектируемыми мощными электровозами переменного тока. Планируется развитие имитационного моделирования энергетических характеристик электромагнитных полей в кабине электроподвижного состава в контексте разрабатываемых систем электроснабжения на железнодорожном транспорте, а также корректировка методического обеспечения.

Система стандартов безопасности труда

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ АДДИТИВНОМ
ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

ПРОЕКТ РОСТ Р

Содержание

1	Область применения.....	3
2	Нормативные ссылки.....	4
3	Термины и определения.....	5
4	Определение вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала.....	7
4.1.	Дерево логико-вероятностной модели для определения вероятности повреждения здоровья персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей.....	7
4.2.	Дерево логико-вероятностной модели для оценки вероятности повреждения здоровья персонала в зависимости от суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП.....	10
4.3	Дерево логико-вероятностной модели для определения вероятности повреждения здоровья персонала, основанное на удельной суточной дозе потенциальной поглощенной энергии ЭМП.....	13

Введение

Одной из целей системы управления охраной труда является снижение ущерба здоровью работников, что можно осуществить через определение вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала. Для выполнения требований в области охраны труда и дальнейшего повышения уровня электробезопасности работников на предприятиях внедряются новые подходы и направления профилактической работы.

ГОСТ Р «Определение вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала» дополняет стандарты и методики оценки рисков в России, и способствует повышению уровня электромагнитной безопасности персонала.

Стандарт может использоваться для решения задач, связанных с:

- оценкой и контролем уровней профессиональных рисков вредного воздействия электрических и магнитных полей переменного тока на электротехнический персонал;
- информированием работников (электротехнический персонал) о риске вредного воздействия электрических и магнитных полей переменного тока.
- предупреждением и профилактикой производственно обусловленных заболеваний.

1 Область применения

Настоящий стандарт применяют в целях:

- обеспечения конституционного права работника на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены (статья 37. пункт 3. Конституция РФ);
- получения данных для информирования работников о вероятности повреждения здоровья (статья 212 ТК РФ);
- принятия превентивных мер по защите здоровья работника.

Настоящий стандарт устанавливает требования, которое позволяют определять вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей, и может быть использован на различных уровнях — национальном, в отрасли экономики и промышленности, в организации и на отдельном рабочем месте.

Электротехнический персонал при эксплуатации электрооборудования ряда систем электроснабжения и электрических сетей находится под аддитивным воздействием электрических (ЭП) и магнитных (МП) полей переменного (промышленной частоты и гармоник переменных составляющих переменного тока) с отличающимися параметрами ЭМП и длительностью экспозиции.

Объектами оценки являются:

- рабочие места персонала, профессионально связанного с обслуживанием и эксплуатацией электроустановок, включая электроэнергетические установки

частотой 50, 400 Гц с неравномерной загрузкой фаз трехфазных систем электроснабжения.

- рабочие места персонала, профессионально не связанного с обслуживанием и эксплуатацией электроустановок, но подвергающиеся воздействию ЭП и МП переменных токов с частотой до 1кГц.

Объектами оценки не являются рабочие места, на которых работники заняты исключительно на персональных электронно-вычислительных машинах (персональных компьютерах) и (или) эксплуатируют аппараты копировально-множительной техники настольного типа, единичные стационарные копировально-множительные аппараты, используемые периодически для нужд самой организации, иную офисную организационную технику, а также бытовую технику, не используемую в технологическом процессе производства. ГОСТ может быть использован как основа при разработке местных нормативных документов, учитывающих специфику организации по электромагнитной безопасности.

2 Нормативные ссылки

- Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020).

- Федеральный закон «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» от 21.11.2011 N 323-ФЗ;

- Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ;

- Федеральный закон "О техническом регулировании" от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ (ред. от 21.11.2022);

- Федеральный закон от 24.07.1998 N 125-ФЗ (ред. от 29.05.2024) "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;

- Федеральный закон от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от ред. от 08.08.2024). "Трудовой кодекс Российской Федерации";

- Постановление Правительства Российской Федерации от 30.06.04 N 322 «Об утверждении Положения о Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека» (ред. от 05.10.2023).

- СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания";

- Приказ Минэнерго России от 08.07.2002 № 204 «Об утверждении Правил устройства электроустановок, 7-е издание»;

- Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н (ред. от 29.04.2022) "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61957);

- Приказ Минэнерго России от 12.08.2022 N 811 "Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии" (Зарегистрировано в Минюсте России 07.10.2022 N 70433).

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 12.0.003-2015. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация" (введен в действие Приказом Росстандарта от 09.06.2016 N 602-ст)

- ГОСТ Р 12.0.010-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков" (утв. и введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 10.12.2009 N 680-ст).

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины и определения:

1. **Аддитивное (одновременное) воздействие на персонал электрических и магнитных полей** определяется через вектор Умова-Пойнтинга, то есть среднесменную энергетическую нагрузку ЭМП.

2. **Вредный производственный фактор:** производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию.

3. **Охрана труда:** система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

4. **Организация:** компания, фирма, предприятие, учреждение, завод, фабрика, объединение, орган власти, общественный институт или ассоциация и т. п. либо их части, входящие или не входящие в их состав, различных форм собственности, которые имеют собственные функции и управление.

5. **Предельно безопасные уровни (ПБУ):** уровни энергетических характеристик ЭМП, превышение которых приведет к вероятности нарушения здоровья персонала.

6. **Напряженность магнитного поля:** векторная физическая величина H , равная геометрической разности магнитной индукции, деленной на магнитную постоянную, и намагниченности. Характеризует магнитное поле в любой точке пространства. Выражается в амперах на метр (А/м).

7. **Напряженность электрического поля:** векторная величина, характеризующая электрическое поле и определяющая силу, действующую на электрически заряженную частицу со стороны электрического поля. В системе СИ выражается в вольт на метр (В/м).

8. **Персонал:** лица, профессионально связанные с обслуживанием или работой в условиях воздействия параметров ЭМП.

9. Параметрами ЭМП являются: среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП ($\text{ВА}/\text{м}^2$), суточная доза потенциальной энергии облучения ЭМП ($\text{ВА}\cdot\text{ч}$), удельная суточная доза потенциальной поглощенной энергии ЭМП ($\text{ВА}\cdot\text{ч}/\text{кг}$).

10. Энергетическая нагрузка ЭМП: параметр ЭМП, оцениваемый в электротехнике так называемым вектором Умова-Пойнтинга, представляющим собой произведение электрической и магнитной составляющих ЭМП и имеющий размерность $\text{ВА}/\text{м}^2$ (переменный ток). Физическая сущность представляет собой электрическую мощность излучения ЭМП на единицу площади пространства. При переменном токе, необходимо использовать полную мощность, состоящую из активной и реактивной составляющих.

11. Статистическая вероятность воздействия дозы потенциальной энергии ЭМП на персонал в течение смены определяется при идентификации, и оценивается как соотношение длительности экспозиции на персонал в течение смены к времени ее отсутствия.

12. Суточная доза потенциальной энергии облучения ЭМП: количество падающей энергии излучения ЭМП на площадь тела человека за определенный период (сутки) облучения, определяемая с учетом статистической вероятности ее воздействия.

13. Удельная суточная доза потенциальной поглощенной энергии ЭМП: величина энергии электромагнитного поля, переданная человеку (тканям организма) за определенный период (сутки), определяемая с учетом массы тела человека.

14. Электроустановка: совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенная для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии.

15. Экспозиция: продолжительность действия вредного фактора на организм.

4 Определение вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала

4.1. Дерево логико-вероятностной модели для определения вероятности повреждения здоровья персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей

Логико-вероятностная модель в виде дерева решений, предназначена для оценки вероятности повреждения здоровья персонала, подверженного воздействию факторов производственной среды, таких как электрические и магнитные поля с частотой до 1 кГц. Оно позволяет анализировать воздействие факторов производственной среды на персонал, рассматривать возможные сценарии развития событий и определять последствия каждого сценария.

Для оценки вероятности повреждения здоровья персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей необходимо использовать дерево логико-вероятностной модели (рисунок 1, таблица 1).

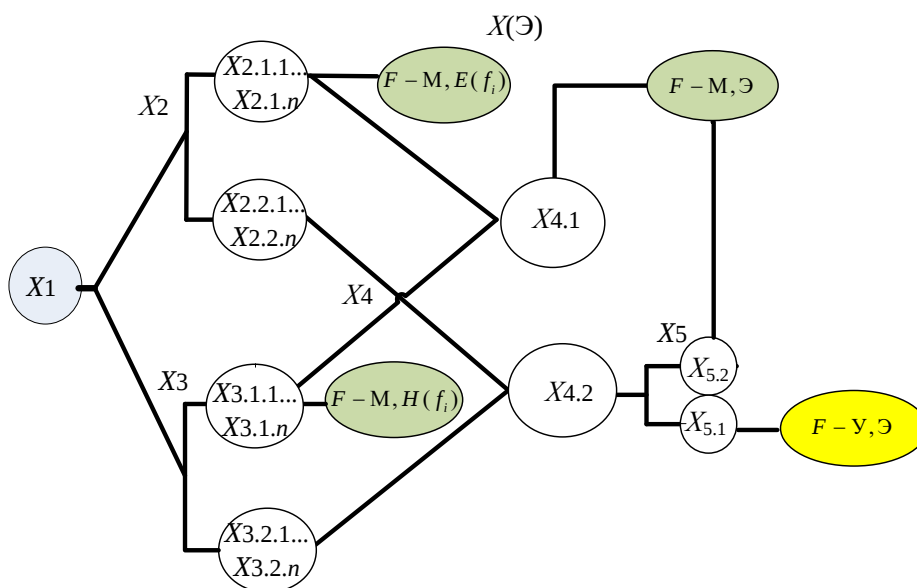


Рисунок 1 – Дерево логико-вероятностной модели для определения вероятности повреждения здоровья персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей

Изменяющихся уровни напряжений и токов в электроустановках (событие X_1) формируют электрические (событие X_2) и магнитные (событие X_3) поля. На рабочих местах рассматриваемого электротехнического персонала создаются электрические и магнитные поля со спектром высших гармонических составляющих, поэтому на рисунке 1 указаны события $X_{2.1.1} \dots X_{2.1.n}$, $X_{2.2.1} \dots X_{2.2.n}$ и $X_{3.1.1} \dots X_{3.1.n}$ по $X_{3.2.1} \dots X_{3.2.n}$. Аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на персонал возможно оценить через среднесменную энергетическую нагрузку ЭМП ($X_{4.1}$ и $X_{4.2}$).

Пояснения к элементам логико-вероятностной модели приведены в таблице 1.

Таблица 1

Пояснения к элементам логико-вероятностной модели

Группа событий	Обозначение	Вероятность реализации событий	Содержание
События, связанные с эксплуатацией электроустановок	X_1	p_1	Эксплуатация и обслуживание оборудования электроустановок, находящихся под напряжением
События, связанные с воздействием на персонал параметров ЭМП	X_2	$p(E)$	Вероятность воздействия на персонал электрических полей
	X_3	$p(H)$	Вероятность воздействия на персонал магнитных полей
События, связанные с воздействием на персонал параметров ЭМП	Вероятность воздействия на персонал электрических полей со спектром высших гармонических составляющих		
	$X_{2.1.1} \dots X_{2.1.n}$	$p(E_A)$	Не превышающая безопасные уровни
	$X_{2.2.1} \dots X_{2.2.n}$	$p(\bar{E}_A)$	Превышающая безопасные уровни
	Вероятность воздействия на персонал магнитных полей со спектром высших гармонических составляющих		
	$X_{3.1.1} \dots X_{3.1.n}$	$p(H_A)$	Не превышающая безопасные уровни
	$X_{3.2.1} \dots X_{3.2.n}$	$p(\bar{H}_A)$	Превышающая безопасные уровни
	Вероятность воздействия на персонал среднесменной энергетической нагрузки ЭМП $X(\bar{E})$		
	$X_{4.1}$	$p(\bar{E})$	Не превышающая безопасные уровни
	$X_{4.2}$	$p(\bar{E})$	Превышающая безопасные уровни
События, связанные с использованием и неиспользованием персоналом средств защиты	Устройства для контроля энергетических параметров ЭМП		
	$X_{5.2}$	$p(z)$	Используются
	$X_{5.1}$	$p(\bar{z})$	Не используются
Конечное событие	Вероятность повреждения здоровья персонала «малозначимая» ($F-M$)		
	$F-M, E(f_i)$	$P(F-M, E(f_i))$	По электрическим полям со спектром высших гармонических составляющих
	$F-M, H(f_i)$	$P(F-M, H(f_i))$	По магнитным полям со спектром высших гармонических составляющих
	$F-M, \bar{E}$	$P(F-M, \bar{E})$	По среднесменной энергетической нагрузке ЭМП
	Вероятность повреждения здоровья персонала «умеренная» ($F-Y$)		
	$F-Y, \bar{E}$	$P(F-Y, \bar{E})$	По энергетической нагрузке ЭМП

Событие ($X_{4.1}$) реализуется только в том случае если, уровни электрических и магнитных полей не превышают $\frac{1}{2}$ ПБУ. Соответственно, вероятность воздействия на персонал среднесменной энергетической нагрузки ЭМП будет «малозначимой». В этом случае меры по снижению вероятности не требуются.

Когда уровни магнитных и электрических полей превышают $\frac{1}{2}$ ПБУ, рекомендуется их оценивать комплексно, с учетом нового события – влияния на персонал среднесменной энергетической нагрузки ЭМП.

Если на рабочих местах одновременно присутствуют ЭМП со спектром высших гармонических составляющих (от двух и более частот до 1кГц), необходимо использовать категории вероятности, приведенные в таблице 2, и оценить полную условную вероятность воздействия на персонал среднесменной энергетической нагрузки ЭМП от 25 Гц до 1 кГц.

Таблица 2

Категории вероятности повреждения здоровья персонала, обусловленные влиянием электрических и магнитных полей

Наименование	Критерии	Категория вероятности	Критерии	Категория вероятности
Электрические поля $\sum f_i$ ($i < 1$ кГц)	$\leq \frac{1}{2}$ ПБУ	Малозначимая, приемлемая	$\geq \frac{1}{2}$ ПБУ	Умеренная
Магнитные поля $\sum f_i$ ($i < 1$ кГц)	$\leq \frac{1}{2}$ ПБУ		$\geq \frac{1}{2}$ ПБУ	

Полная условная вероятность воздействия на персонал суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП от 25 Гц до 1 кГц, превышающей безопасные уровни (при неиспользовании персоналом средств защиты), может быть определена следующим образом:

$$p(F - Y, \Theta) = p_1 \cdot p(\Theta) \cdot p(\bar{Z}) = p_1 \cdot p(E_A) \cdot p(H_A) \cdot p(\bar{Z}) =$$

$$= p_1 \cdot \left[\left\langle \sum_{i=1}^n p_i(E_i) - \prod_{i=1}^n p_i(E_i) \right\rangle \cdot \left\langle \sum_{i=1}^n p_i(H_i) - \prod_{i=1}^n p_i(H_i) \right\rangle \right] \cdot p(\bar{Z}). \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n p_i(E_i) = p(E_{50}) + p(E_{100}) + \dots + p(E_n), \quad \sum_{i=1}^n p_i(H_i) = p(H_{50}) + p(H_{100}) + \dots + p(H_n),$$

$$\prod_{i=1}^n p_i(E_i) = p(E_{50}) \cdot p(E_{100}) \cdot \dots \cdot p(E_n), \quad \prod_{i=1}^n p_i(H_i) = p(H_{50}) \cdot p(H_{100}) \cdot \dots \cdot p(H_n),$$

где: p_1 – вероятность нахождения персонала вблизи электроустановок, работающих под напряжением (эксплуатация и обслуживание оборудования);

$p(\Theta)$ – условная вероятность воздействия на персонал среднесменной энергетической нагрузки ЭМП, превышающей разработанные нами безопасные уровни;

$p(\bar{z})$ – вероятность неиспользования персоналом устройств для контроля энергетических параметров ЭМП;

$p(H_A)$ – условная вероятность аддитивного воздействия на персонал магнитных полей, превышающих безопасные уровни;

$p(E_A)$ – условная вероятность аддитивного воздействия на персонал электрических полей, превышающих безопасные уровни;

50, 100 ... n – фактическая гармоника электрического и магнитного полей от 25 Гц до 1кГц.

Категории для определения вероятности повреждения здоровья персонала, основанные на влиянии суммарной энергетической нагрузки ЭМП, приведены в таблице 3.

Таблица 3

Категории вероятности повреждения здоровья персонала, обусловленные влиянием суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП

Наименование	Критерий	Категория вероятности	Критерий	Категория вероятности
Суммарный уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП, $\sum (f_i)$, ВА/м ²	$\leq$ ПБУ	Малозначимая	$\geq$ ПБУ	Умеренная

Если суммарный уровень среднесменной энергетической нагрузки ЭМП будет меньше ПБУ, то категория вероятности «малозначимая». В этом случае, меры по снижению уровня вероятности не требуются. Управление вероятностью осуществляется на уровне структурного подразделения (операционный – уровень принимаемых решений).

4.2. Дерево логико-вероятностной модели для оценки вероятности повреждения здоровья персонала в зависимости от суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП

Если же наблюдается превышение ПБУ ($F-U$, Э), то категория вероятности «умеренная», и необходимо определить категории вероятности повреждения здоровья персонала на основе суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП.

Дерево логико-вероятностной модели для определения категорий вероятности повреждения здоровья персонала в зависимости от суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП представлено на рисунке 2.

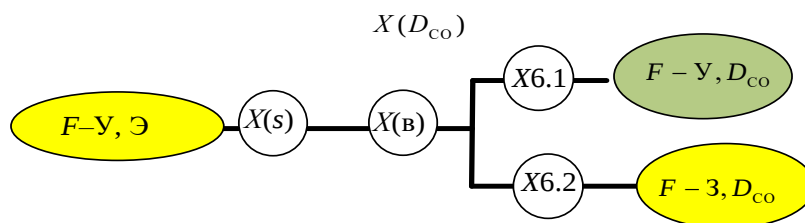


Рисунок 2 – Логико-вероятностная модель
для оценки вероятности повреждения здоровья персонала
в зависимости от суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП

С учетом событий, указанных в таблице 4, определяются категории вероятности повреждения здоровья персонала на основе суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП.

Таблица 4

Пояснения к элементам логико-вероятностной модели (рисунок 2)

Группа событий	Обозначение события	Вероятность реализации и событий	Содержание
События, связанные с воздействием на персонал среднесменной энергетической нагрузки ЭМП, превышающей ПБУ.	$F-Y, Э$	$P(F-Y, Э)$	Вероятность повреждения здоровья персонала, определяемая на основе энергетической нагрузки ЭМП, является «умеренной».
События, связанные с определением вероятности вредного воздействия на персонал удельной суточной дозы потенциальной энергии облучения $X(D_{co})$.	$X(b)$	$p(b)$	Статистическая вероятность воздействия.
	$X(s)$	$p(s)$	Вероятность изменения индивидуальных антропометрических данных персонала (его площадь).
События, связанные с использованием или не использованием персоналом средств защиты [56]	$X6.1$	$p(\bar{Z})$	Вероятность неприменения персоналом средств защиты при вредном воздействии суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП.
	$X6.2$	$p(Z)$	Вероятность применения персоналом средств защиты при вредном воздействии суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП.
Конечное событие	$F-Y, D_{co}$	$p(F-Y, D_{co})$	Вероятность повреждения здоровья персонала, определяемая на основе суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП, является «недопустимой» ($F-H$).

Для определения статистической вероятности воздействия электромагнитных полей на персонал в течение смены необходимо рассмотреть режим труда и отдыха электротехнического персонала.

Статистическая вероятность воздействия среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на персонал в течение смены определяется как отношение длительности экспозиции за сутки:

$$p_i = \frac{t_i}{t_{\text{сут}}} \quad (2)$$

где : t_i – длительность экспозиции за сутки, ч;

$t_{\text{сут}}$ – время (сутки), ч.

Расчетные значения статистической вероятности воздействия среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на персонал представлены в таблице 5, что предоставляет дополнительную информацию для оценки влияния этих факторов на здоровье работников.

Таблица 5

Статистическая вероятность воздействия среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на персонал

Время, ч	Длительность экспозиции за сутки, ч	Статистическая вероятность воздействия среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на персонал
24	0,17 (10 мин)	0,007
	1	0,04
	2	0,08
	4	0,17
	8	0,33
	12	0,5

Условная полная вероятность воздействия суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП на персонал содержит четыре независимых между собой события и может быть определена по формулам:

$$p(F - Y, D_{co}) = 1 - ((1 - p(F - Y, \Xi))(1 - p(S))(1 - p(V))(1 - p(Z))), \quad (3)$$

$$p(F - 3, D_{co}) = 1 - ((1 - p(F - Y, \Xi))(1 - p(S))(1 - p(V))(1 - p(\bar{Z}))). \quad (4)$$

Критерии для определения вероятности повреждения здоровья персонала на основе дозы потенциальной энергии облучения ЭМП приведены в таблице 6.

Таблица 6

Категории вероятности повреждения здоровья персонала, определяемые на основе суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП

Наименование	Критерий	Категория вероятности	Критерий	Категория вероятности
Суточная доза потенциальной энергии облучения ЭМП [61]	$\leq$ ПБУ	Умеренная	$\geq$ ПБУ	Значительная. Необходимо оценивать вероятность повреждения здоровья персонала на основе удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП.

При категории вероятности «умеренная» на основе суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП не требуется определять дополнительные параметры энергетических характеристик ЭМП.

Технические меры по снижению вероятности повреждения здоровья персонала не нужны. Однако организационные меры, такие как направление персонала на ежегодные медицинские осмотры и мониторинг здоровья, необходимы. Меры по управлению вероятностью необходимы на уровне структурного подразделения (операционный уровень) и высшего руководства (стратегический).

4.3. Дерево логико-вероятностной модели для определения вероятности повреждения здоровья персонала, основанное на удельной суточной дозе потенциальной поглощенной энергии ЭМП

При превышении на рабочих местах уровней суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП категория вероятности изменится на «значительную». В этом случае рассчитывается удельная суточная доза потенциальной поглощенной энергии ЭМП.

В соответствии с деревом логико-вероятностной модели (рисунок 3) определяются категории вероятности повреждения здоровья персонала, которые учитывают удельную суточную дозу потенциальной поглощенной энергии ЭМП.

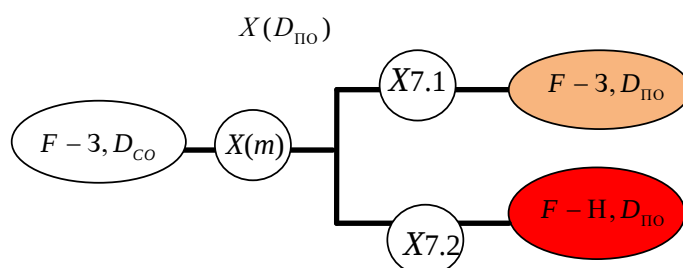


Рисунок 3 – Дерево логико-вероятностной модели для определения вероятности повреждения здоровья персонала, основанное на удельной суточной дозе потенциальной поглощенной энергии ЭМП

В таблице 7 приведены пояснения к элементам данной логико-вероятностной модели.

Таблица 7

Пояснения к элементам логико-вероятностной модели (рисунок 3)

Группа событий	Обозначение события	Вероятность реализации событий	Содержание
События, связанные с определением вероятности вредного воздействия на персонал поглощенной энергии ЭМП $X(D_{\text{по}})$.	$F-3, Э$	$P(F-Y, Э)$	Вероятность повреждения здоровья персонала, основанная на среднесменной энергетической нагрузке ЭМП, является «умеренной».
	$X(m)$	$p(m)$	Вероятность изменения индивидуальных антропометрических данных персонала (его масса).
События, связанные с использованием или неиспользованием персоналом средств защиты	$X7.1$	$p_{7.1}$	Вероятность применения персоналом средств защиты при вредном воздействии удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП.
	$X7.2$	$p_{7.2}$	Вероятность неприменения персоналом средств защиты при вредном воздействии удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП.
Конечное событие	$F-H, D_{\text{по}}$	$p(F-H, D_{\text{по}})$	Вероятность повреждения здоровья персонала, основанная на удельной суточной дозе потенциальной поглощенной энергии ЭМП, является «недопустимой» ($F-H$).
	$F-3, D_{\text{по}}$	$p(F-3, D_{\text{по}})$	Вероятность повреждения здоровья персонала, основанная на удельной суточной дозе потенциальной поглощенной энергии ЭМП, является «значительной» ($F-3$).

Полная условная вероятность повреждения здоровья персонала, основанная на удельной суточной дозе потенциальной поглощенной энергии ЭМП, превышающей ПБУ, определяется по формулам:

$$p(F-3, D_{\text{по}}) = 1 - ((1 - p(F-3, D_{\text{со}})) \cdot (1 - p(m)) \cdot (1 - p_{7.1})), \quad (5)$$

$$p(F-H, D_{\text{по}}) = 1 - ((1 - p(F-3, D_{\text{со}})) \cdot (1 - p(m)) \cdot (1 - p_{7.2})). \quad (6)$$

Вероятности событий $p(m)$ и $p_{7.2}$ описывают интенсивность энергии ЭМП, переданной персоналу (тканям организма) за определенный период (сутки), с учетом индивидуальных антропометрических данных человека (массы тела) и применения или неприменения им средств защиты.

В соответствии с деревом логико-вероятностной модели (рисунок 3) определяются категории вероятности повреждения здоровья персонала в зависимости от удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП (таблица 8).

Таблица 8

Категории вероятности повреждения здоровья персонала, которые учитывают удельную суточную дозу потенциальной поглощенной энергии ЭМП

Наименование	Критерий	Категория вероятности	Критерий	Категория вероятности
Удельная суточная доза потенциальной поглощенной энергии ЭМП.	$\leq$ ПБУ	Значительная.	$\geq$ ПБУ	Недопустимая

При категории вероятности повреждения здоровья персонала, основанной на удельной суточной дозе потенциальной поглощенной энергии ЭМП, «значительная», определение дополнительных параметров ЭМП не требуется. В соответствии с разработанной системой защиты, нужны контроль ЭМП (способы и устройства контроля ЭМП) и направление работников на медицинский осмотр и мониторинг здоровья персонала.

При использовании персоналом средств защиты вероятность повреждения здоровья персонала будет «значительная» ($F-3$), а при неиспользовании «недопустимая» ($F-H$), необходимы неотложные меры по снижению вероятности повреждения здоровья персонала. Это могут быть, например, средства индивидуальной и коллективной защиты (устройства контроля ЭМП), экранирование полей, рациональное чередование режимов труда и отдыха, направление работников на периодические медицинские осмотры.

Вероятностью управляют руководители структурного подразделения (операционный) и высшее руководство (стратегический).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер

Свердловской дирекции капитального
ремонта и реконструкции объектов
электрификации и электроснабжения

Е.В. Мясников

«17» октября 2019 года



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Настоящим актом, подтверждаем, что устройство контроля и измерения магнитного поля ИМП УрГУПС-1 (авторы д.т.н.. профессор, Кузнецов К.Б., к.т.н.. доцент, Закирова А.Р.), разработанное в рамках выполнения докторской диссертационной работы Закировой А.Р. «Закономерности изменения энергии ЭМП от параметров электрооборудования и разработка методов оценки аддитивного дозового воздействия на электротехнический персонал» для контроля магнитных полей 50 Гц на рабочих местах персонала объектов электрических железных дорог, принят для использования персоналом в нашей дирекции.

Использование устройства для контроля магнитного поля 50 Гц позволяет минимизировать вредное влияния напряженности магнитного поля на рабочих местах электротехнического персонала. При разработке устройства учтена специфика работы персонала в электроустановках, поэтому его можно использовать на объектах электрических железных дорог в электроподвижном составе и устройствах электроснабжения.

Специалист по охране труда

В.В. Речкин

ПРИЛОЖЕНИЕ В

УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер Свердловской
дирекции капитального ремонта и
реконструкции объектов электрификации
и электроснабжения – структурное
подразделение Дирекции капитального
ремонта и реконструкции объектов
электрификации и электроснабжения
железных дорог – филиала ОАО «РЖД»

Шистеров М.С.



2023

Методика определения вероятности повреждения здоровья
электротехнического персонала

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Утверждаю
Заместитель председателя Дорпрофжел
на Свердловской железной дороге
Южаков И.И.
«09» _____ 2019 г

**Заключение**

о возможности применения Методических указаний «Аддитивное дозовое воздействие энергии ЭМП разного рода и частоты переменного тока до 1кГц на персонал в производственных условиях»

Представленные методические указания «Аддитивное дозовое воздействие энергии ЭМП разного рода и частоты переменного тока до 1кГц на персонал в производственных условиях» (разработчики д.т.н., профессор Кузнецов К.Б. и к.т.н., доцент Закирова А.Р.) согласуются с основными направлениями в работе профсоюзов по созданию для работников железнодорожного транспорта комфортной и благоприятной среды в процессе трудовой деятельности, осуществлению социально-экономической защиты работников, соблюдению работодателем безопасных условий труда.

Методические указания выполнены на основе исследования работы локомотивных бригад магистрального электрического транспорта и работы электрических тяговых агрегатов горных обогатительных комбинатов. Актуальность повышения безопасности труда локомотивных бригад, работа которых связана с тяжелыми условиями труда, не вызывает сомнений.

Отсутствие нормативной базы по нормированию, оценке и контролю ЭМП низкой частоты и постоянного тока, при аддитивном воздействии на персонал, не позволяет работодателю в полной мере создать безопасные условия труда по данному вредному фактору. Представленные методические указания позволяют решить эту проблему.

С целью контроля и оценки на рабочих местах вредных производственных факторов (суммарного вредного воздействия электромагнитных полей разного рода тока и частоты переменного тока),

оказывающих вредное воздействие на здоровье персонала и проведения работодателем своевременных технических и организационных мероприятий для защиты персонала рекомендуем органам Роспотребнадзора РФ рассмотреть и внедрить на законодательном уровне применение методических указаний, разработанных в УрГУПС (г. Екатеринбург).

Утверждаю
Председатель Северо-Осетинской республиканской
организации Общероссийского Профсоюза образования,
к.т.н., доцент, академик МАНЭБ, академик ЕАЕН

Тезиев Т.М.

«2» декабря 2019 г.

Заключение

о возможности применения Методических указаний «Аддитивное дозовое воздействие энергии ЭМП разного рода и частоты переменного тока до 1кГц на персонал в производственных условиях»

Профсоюзам нашей страны принадлежит особая роль в создании здоровых и безопасных условий труда на производстве. Они принимают непосредственное участие в разработке законов и нормативных документов по охране труда, осуществляют постоянный контроль и государственный надзор за их выполнением. Без оценки всех факторов производственной среды, оказывающих вредное воздействие на персонал, не может быть допущено до эксплуатации ни одно новое промышленное предприятие, техническое средство или производство.

Представленные УрГУПС (г. Екатеринбург) методические указания «Аддитивное дозовое воздействие энергии ЭМП разного рода и частоты переменного тока до 1кГц на персонал в производственных условиях» (д.т.н., профессор Кузнецов К.Б., к.т.н., доцент Закирова А.Р.) заполняют пробел в области оценки, контроля и нормирования ЭМП разного рода тока и частоты переменного тока, что позволит достичь безопасных условий труда по данному вредному фактору, а это для профсоюзов всегда было и остается одной из главных задач. Методические указания написаны понятным и профессиональным языком и рекомендуются к использованию на производстве.

Уходя на работу, человек, его родные и близкие, должны быть всегда уверены, что домой, он вернется живым и здоровым.

Рекомендуем органам Роспотребнадзора РФ внедрить указанные методические указания для оценки вредного совместного воздействия электромагнитных полей разного рода тока и частоты переменного тока на персонал с целью контроля вредных факторов производства на здоровье персонала и организации своевременных защитных средств и средств реабилитации.

Утверждаю:

Директор Челябинского филиала
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института горного дела Уральского
отделения Российской академии
наук, докт. техн. наук, с.н.с.



И.Л. Кравчук
2019 г.

Заключение

о возможности применения Методических указаний «Аддитивное дозовое воздействие энергии ЭМП разного рода и частоты переменного тока до 1кГц на персонал в производственных условиях»

Методические указания, разработанные ФГБОУ ВО УрГУПС (профессор, д.т.н., Кузнецов К.Б., к.т.н., доцент Закирова А.Р.), основываются на действующих нормативно-правовых документах, осуществляющих нормирование предельно допустимых уровней напряженностей магнитного и электрического полей электроустановок: Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза 2013/35/ЕС и СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах», что согласуется с основами реализации государственной политики в области улучшения условий и охраны труда и концепцией по снижению профессиональных заболеваний на производстве.

Методические указания разработаны на основе исследований воздействия электромагнитных полей на персонал электровозов магистрального транспорта и персонал тяговых агрегатов электрического транспорта горных обогатительных комбинатов. Впервые приводится метод оценки вредного совместного аддитивного воздействия на персонал электрической и магнитной составляющих напряженностей неионизирующих электромагнитных полей и гармоник переменного тока, отличных от 50 Гц, в диапазоне частот до 1000 Гц.

Применение данных методических указаний при оценке на рабочих местах электрических и магнитных полей разного рода тока и частоты переменного тока (при их аддитивном воздействии на персонал), позволяет организациям:

- осуществлять работу в области безопасности и охраны труда с учетом требований государственных стандартов (СГОТ), правил и руководящих документов по стандартизации, санитарных норм и правил (СанПиН), а также международных требований и стандартов в области профессионального здоровья и безопасности;

- привести систему управления безопасностью при эксплуатации электроустановок в соответствие с современными требованиями законодательства в области охраны труда;

– повысить уровень защиты работников от совместного вредного воздействия электромагнитных полей разного рода тока, частоты переменного тока и продолжительности экспозиции, что позволит снизить внеплановые экономические потери, возникающие в результате профессиональных заболеваний работников.

Таким образом, методические указания «Аддитивное дозовое воздействие энергии ЭМП разного рода и частоты переменного тока до 1кГц на персонал в производственных условиях» представляют собой нормативный документ, необходимый для оценки вредного характера неионизирующих электромагнитных полей на персонал электроустановок, и могут быть рекомендованы для внедрения на предприятиях.

Старший научный сотрудник,
канд. техн. наук (спец. 05.26.01 – «Охрана труда»)  Е.М. Неволлина

Челябинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ЧФ ИГД УрО РАН)
454048, г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 30, офис 718, тел. 8(351) 216-17-98,
e-mail: nevolina-elena@yandex.ru

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

СОГЛАСОВАНО:

Ректор ФГБОУ ВПО «УрГУПС»

УТВЕРЖДАЮ:
Ректор ФГБОУ ВПО ИнГу

ПРОГРАММА

ПРОВЕДЕНИЯ СОВМЕСТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙПроректор по научной работе и
международным связям «УрГУПС»

С.В. Бушуев

« ____ »

Проректор по научной работе
ИнГу

З.Х. Султыгова

« ____ »

Зав. кафедрой (НОЦ)
«Техносферная безопасность»
«УрГУПС»

И.И. Гаврилин

« 1 »

октябрь 2014

Зав. каф. «Биологии»

М.К. Дакиева

« ____ »

Екатеринбург 2014, Магас, 2014

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНГУШСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТГІАЛГІАЙ
ПАЧЧАХЪАЛКХА
УНИВЕРСИТЕТ386102, Республика Ингушетия,
г. Магас, ул. Х-Б. Муталиева, 6

Тел/факс: (8732) 22-38-54

Http://www.inggu.ru

E-mail: ing_gu@mail.ru№ 265 от 24.03.2016
на № _____ от _____

Акт о внедрении результатов диссертационного исследования

Настоящий Акт свидетельствует, что установка, предназначенная для создания переменного магнитного и электрического полей, внедрена в ФГБОУ ВПО «Ингушский государственный университет» для проведения экспериментальных исследований воздействия электромагнитного поля в частотном диапазоне до 1 кГц на биологические объекты в зависимости от частоты и времени воздействия данного фактора. Процесс внедрения проходил с 24 августа по 28 августа 2015 г.

Данная установка разработана к.т.н., Закировой А.Р. под руководством д.т.н., Кузнецова К.Б. в рамках написания диссертационного исследования в области защиты персонала тягового электроснабжения от вредного воздействия электромагнитных полей и передана для проведения экспериментальных исследований на животных кафедре «Биология».

Установка состоит из следующих основных частей:

1. Соленоид со встроенными пластинами;
2. Генератор переменного напряжения;
3. Усилитель переменного напряжения;
4. Реостат регулировки тока (встроен в усилитель);
5. Мультиметр переменного тока до 1кГц;
6. Высоковольтный источник переменного напряжения;
7. Автотрансформатор;
8. Мультиметр переменного напряжения.

Экспериментальные исследования на биологических объектах позволяют определить степень воздействия ЭМП различного уровня на живые организмы в зависимости от частоты и продолжительности воздействия и в дальнейшем интерпретировать эти исследования на человеке. Это позволит предложить допустимые дозы и уровни воздействия ЭМП на человека, что в свою очередь создаст условия сохранения жизни и здоровья персонала, подверженного воздействию электромагнитных полей.

С уважением,
ректор



А.М. Мартазанов

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе и
связям с производством
Малыгин Е.А.

« 03 » 04 2017 года.

АКТ внедрения в учебный процесс кафедры «Техносферная безопасность»
результатов учебных изданий и научных трудов
Закировой Альфии Резавановны

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе председателя: председателя УМК ФУПП, к.т.н., Кириллова М.В. и членов: заведующего кафедрой «Техносферная безопасность» к.б.н., Гаврилина И.И. и главного научного сотрудника, д.т.н., профессора Кузнецова К.Б. удостоверяем, что результаты научных исследований, оформленных в учебно-методическом пособие «Вредные и опасные производственные факторы в электроустановках», практикуме «Электробезопасность» и статьях Закировой А.Р. в области охраны труда внедрены в учебный процесс кафедры «Техносферная безопасность» и используются при чтении лекции и проведении лабораторных и практических занятий по дисциплинам: «Безопасность жизнедеятельности», «Электробезопасность» и «Электробезопасность на железнодорожном транспорте».

Председатель:

Председатель УМК ФУПП, к.т.н.

Кириллов М.В.

Члены комиссии:

Заведующий кафедрой

«Техносферная безопасность», к.б.н.

Гаврилин И.И.

Главный научный сотрудник,
профессор, д.т.н.

Кузнецов К.Б.

Подписи членов комиссии заверяю,
начальник отдела кадров

Апостолова Л.Н.

УТВЕРЖДАЮ:



Проректор по учебной работе и
связям с производством,
д.т.н., профессор
Сирина Н.Ф.

«25» июля 2019 года.

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы Закировой А.Р.
«Закономерности изменения энергии ЭМП от параметров
электрооборудования и разработка методов оценки аддитивного дозового
воздействия на электротехнический персонал»

Результаты диссертационной работы Закировой А.Р. «Закономерности изменения энергии ЭМП от параметров электрооборудования и разработка методов оценки аддитивного дозового воздействия на электротехнический персонал» внедрены в учебный процесс кафедры «Техносферная безопасность» Уральского государственного университета путей сообщения и используются при чтении студентам лекции, в частности:

- специалитет, 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог», (Высокоскоростной наземный транспорт) и «Электрический транспорт железных дорог»), дисциплина Б1.В.19 «Электробезопасность», читаемая в восьмом семестре в объеме 12 часов. В курсе рассмотрены: проблемы оценки энергии ЭМП от параметров электрооборудования электроподвижного состава; теоретические исследования энергетических характеристик ЭМП электроустановок электроподвижного состава тяговой сети; результаты экспериментальных исследований электрических и магнитных полей разного рода на электроподвижном составе; способы и устройства для защиты электротехнического персонала от вредного влияния энергии ЭМП.

- магистратура, 20.04.01 «Техносферная безопасность», дисциплина ФТД.В.02 «Электромагнитная безопасность на транспорте», читаемая во втором семестре в объеме 6 часов. Использована разработанная автором концепция аддитивного дозового воздействия энергии ЭМП на человека (персонал), зависимости предельно безопасных доз энергетических уровней ЭМП электротехнического персонала при фактических пределах изменения

величин среднесменной энергетической нагрузки, суточной дозы потенциальной энергии облучения, удельной суточной дозы потенциальной поглощенной энергии ЭМП.

Руководитель ОП ВО

23.05.03 «Высокоскоростной наземный транспорт»
и «Электрический транспорт железных дорог»



Фролов Н.О.

Руководитель ОП ВО

20.04.01 «Техносферная безопасность»



Гаврилин И.И.

Иванов М.А.

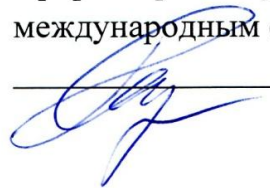
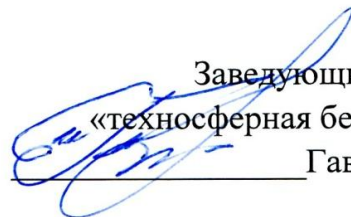
2024 г



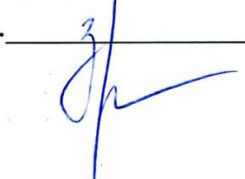
И.С. Окраинская

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
международным связям УрГУПС Бушуев С.В.ПРОГРАММА ПРОВЕДЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА
ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ Заведующий кафедрой
«техносферная безопасность»
Гаврилин И. И. Начальник отдела
докторантуры и аспирантуры
Сирина Н.Ф.

Руководитель: доцент, к.т.н.

Закирова А. Р. 

Разработал:

 магистрант гр. ТБмо-125
Арсланов А. Р.

ПРИЛОЖЕНИЕ И

СОГЛАСОВАНО

ТЧЗЭ-16

станции Красноуфимск

А. В. Ведиянцев



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
международным связям УрГУПС

Буцуев С. В.

ПРОГРАММА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА
ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОМ СОСТАВЕЗаведующий кафедрой
«техносферная безопасность»

Гаврилин И. И.

Начальник отдела
докторантуры и аспирантуры

Сирина Н. Ф.

Руководитель: доцент, к.т.н.

Закирова А. Р.

Разработал:

магистрант гр. ТБмо-125

Арсланов А. Р.

Екатеринбург
2016

ПРИЛОЖЕНИЕ К

*Заявка № 1/Организация
исследования магнитных
полей на подвижном
составе для проведения тех.
испытаний*

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный
университет путей сообщения»
Факультет управления
процессами перевозок

Кафедра
«Техносферная безопасность»

Дата 31.01.2014 № 47

на № _____ от _____

О проведении испытаний индикатора
магнитного поля «ИМП УрГУПС-1»

Управляющему директору
ОАО «ЕВРАЗ - КГОК»

В.П. Боброву

Уважаемый Владимир Павлович!

Прошу Вас дать разрешение и оказать содействие в проведении исследований электромагнитных полей на электроподвижном составе и испытании индикатора магнитного поля «ИМП УрГУПС-1» (далее – прибор) на предприятии ОАО «ЕВРАЗ - КГОК».

В процессе исследования магнитных полей в тяговых сетях, проведенных в диссертационных работах сотрудников УрГУПС, показано, что в ряде случаев (при больших тяговых токах) возникают уровни напряженности магнитных полей, превышающие существующие предельно-допустимые уровни.

Данный прибор создан для сигнализации о превышении уровня напряженности магнитного поля, с целью предупреждения персонала от вредного воздействия магнитных полей, осуществляя защиту «временем».

Результаты исследований и предложения о возможном дальнейшем сотрудничестве по изготовлению и внедрению образцов прибора будут направлены на Ваше имя.

ЗАВЕДУЮЩИЙ КАФЕДРОЙ

«ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

ГАЗРИЛИН Н.И.

Исполнитель:
Закирова А.Р.
8-922-189-77-19

Габрилин Н.И.

в работу

З

*Бх 482
04.02.14
Бх 66
04.02.14*

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 436 111** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
G01R 33/02 (2006.01)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2010125789/28, 23.06.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
23.06.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.06.2010

(45) Опубликовано: 10.12.2011 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2310875 C1, 20.11.2007. SU 1725173 A1,
07.04.1992. SU 1345149 A1, 15.10.1987. US
6434491 B1, 13.08.2002.

Адрес для переписки:

620034, г.Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,
УрГУПС, ОНТИ, Л.Б. Никулиной

(72) Автор(ы):

Закирова Альфия Резавановна (RU),
Кузнецов Константин Борисович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования "Уральский государственный
университет путей сообщения" (УрГУПС)
(RU)**(54) СПОСОБ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерению электрических и магнитных величин, а именно к устройствам и способам измерения напряженности магнитных полей. Сущность изобретения заключается в том, что измеряют напряженность магнитного поля электроустановок, при этом измерения его производят непрерывно, результаты измерений автоматически сравниваются с максимальным предельно допустимым уровнем напряженности магнитного поля, при превышении которого срабатывает сигнальное устройство, которое автоматически выключается при снижении напряженности магнитного поля ниже максимального предельно допустимого уровня. Устройство включает антенный датчик с двумя выходами, усилитель, звено частотной коррекции,

пороговый элемент и сигнальное устройство, причем для измерения напряженности магнитного поля используют антенный датчик, подключенный двумя выходами к входам усилителя, а выход которого подключен к входу звена частотной коррекции, выходом соединенный с входом амплитудного детектора, выход которого подключен к входу порогового элемента, содержащего электронное реле, а выходы порогового элемента присоединены при помощи логического элемента ИЛИ к входу сигнального устройства. Технический результат - непрерывный контроль напряженности магнитного поля электроустановок переменного тока, упрощение конструкции устройства. 2 н.п. ф-лы, 1 ил.

RU 2 436 111 C1

RU 2 436 111 C1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 441 248** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК
G01R 29/08 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010130964/28, 23.07.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
23.07.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.07.2010

(45) Опубликовано: 27.01.2012 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2353942 C1, 27.04.2009. SU 883802 A1,
23.11.1981. SU 457933 A1, 25.01.1975. RU
2126975 C1, 27.02.1999.

Адрес для переписки:

620034, г.Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,
УрГУПС, ОНТИ, Л.Б. Никулиной

(72) Автор(ы):

Закирова Альфия Резавановна (RU),
Кузнецов Константин Борисович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования "Уральский государственный
университет путей сообщения" (УрГУПС)
(RU)**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к устройствам для измерения или индикации электрических величин. Сущность изобретения заключается в том, что устройство включает две измерительных антенны, одна из которых выполнена в виде спиралевидной рамки, а другая - выполнена в виде двух плоских проводящих пластин, расположенных параллельно друг другу, разделенных слоем диэлектрика, при этом каждая антенна имеет по два выхода, которыми соединена с входами соответствующих усилителей сигналов,

являющихся приемными устройствами, выходы приемных устройств присоединены к входам соответствующего звена частотной коррекции, которые выходом соединены с входами соответствующих амплитудных детекторов, выходами амплитудные детекторы соединены с входом цифроаналогового преобразователя, выходом подключенного к входу процессора с множительным логическим элементом И, выход процессора присоединен к входу жидкокристаллического алфавитно-цифрового дисплея. Технический результат заключается в повышении точности. 1 ил.

RU 2 441 248 C1

RU 2 441 248 C1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 457 500** ⁽¹³⁾ **C1**
 (51) МПК
 G01R 33/02 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010151331/28, 14.12.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 14.12.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.12.2010

(45) Опубликовано: 27.07.2012 Бюл. № 21

(56) Список документов, цитированных в отчете о
 поиске: **ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ
 ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНЫХ
 ПОЛЕЙ ВЕ-МЕТР-АТ-002//
 РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ.**
 МГФК 411173.004РЭ. - М.: ООО «НТМ-
 ЗАЩИТА», 2001, С.3-6. RU 2310875 C1,
 20.11.2007. RU 2017166 C1, 30.07.1994. US
 5621649 A, 15.04.1997. JP 9281166 A,
 31.10.1997.

Адрес для переписки:

620034, г.Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,
 УрГУПС, ОНТИ, Л.Б. Никулиной

(72) Автор(ы):

Закирова Альфия Резавановна (RU).

Кузнецов Константин Борисович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

**Государственное образовательное
 учреждение высшего профессионального
 образования "Уральский государственный
 университет путей сообщения" (УрГУПС)
 (RU)**

**(54) СПОСОБ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО
 ПРИВЕДЕННЫМ УРОВНЯМ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ
 ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерению электрических и магнитных величин, а именно к устройствам и способам измерения напряженности магнитных полей. Сущность изобретения заключается в том, что используют процессор с логическим элементом И, при этом непрерывно измеряют напряженность магнитного поля электроустановок в диапазоне частот 0 Гц - 10 кГц, полученные значения напряженности магнитного поля в процессоре умножаются на коэффициент приведения α , соответствующий определенной частоте в диапазоне 0 Гц - 10 кГц, который рассчитан по экспоненциальному закону распределения и получен аппроксимацией численными методами предельно допустимых значений

напряженности магнитного поля в зависимости от частоты, полученные значения произведений суммируются, результаты суммирования автоматически сравниваются с максимальным предельно допустимым уровнем напряженности магнитного поля по приведенным уровням высших гармонических составляющих переменного тока, при превышении которого срабатывает сигнальное устройство, которое автоматически выключается при снижении напряженности магнитного поля ниже максимального предельно допустимого уровня. Технический результат - непрерывный контроль напряженности магнитного поля электроустановок переменного тока в диапазоне частот 0 Гц - 10 кГц, расширение области применения предлагаемого

Стр.: 1

RU 2 457 500 C1

RU 2 457 500 C1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **2 572 294** (13) **C1**
(51) МПК
G01R 33/07 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014135128/28, 27.08.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.08.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.08.2014

(45) Опубликовано: 10.01.2016 Бюл. № 1

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2436111 C1, 10.12.2011. Измеритель
напряжённости магнитного поля ИМП 6 /
Руководство по эксплуатации РЭ 422289-002-
20872624.2003; НПО "Интротест";
Екатеринбург, 2003. SU 943908 A1, 15.07.1982.
SU 1042067 A1, 15.09.1983.

Адрес для переписки:

620034, г.Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,
УрГУПС, ОДиА, Л.Б. Никулиной

(72) Автор(ы):

Закирова Альфия Резавановна (RU),
Буканов Жомарт Магатович (RU)

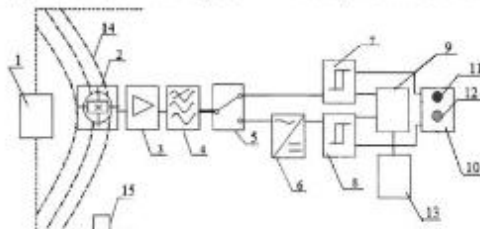
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Уральский
государственный университет путей
сообщения" (УрГУПС) (RU)(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО
И ПОСТОЯННОГО ТОКОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике, представляет собой устройство для контроля напряженности постоянного и переменного магнитных полей и позволяет упростить предупреждение о превышении допустимого уровня напряженности поля. Устройство содержит датчик Холла, сигнал с которого через усилитель поступает на вход звена частотной коррекции, соединенного с двухпозиционным переключателем. Выход положения I соединен с пороговым элементом постоянного поля, а выход положения II через

амплитудный детектор - с пороговым элементом переменного поля. Пороговые элементы соединены с сигнальным устройством и жидкокристаллическим алфавитно-цифровым дисплеем. К дисплею также подключен элемент контроля уровня заряда батарей внешнего питания устройства. Техническим результатом является непрерывный контроль напряженности переменного и постоянного магнитных полей и упрощение своевременного предупреждения персонала о превышении допустимого уровня напряженности поля. 1 ил.



Фиг. 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **2 589 497** (13) **C1**
 (51) МПК
G01R 29/08 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015112986/28, 08.04.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.04.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 08.04.2015

(45) Опубликовано: 10.07.2016 Бюл. № 19

(56) Список документов, цитированных в отчете о
 поиске: RU 2454675 C2, 27.06.2012. RU 129258
 U1, 20.06.2013. PL 214069 B1, 28.06.2013. SU
 742907 A1, 25.06.1980. М.М. АВДЕЕВ И ДР.
 "Электропоезда переменного тока". М.:
 Транспорт, 1985, 368 страниц.

Адрес для переписки:

620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,
 УрГУПС, ОДиА, Л.Б. Никулиной

(72) Автор(ы):

Кузнецов Константин Борисович (RU),
 Закирова Альфия Резавановна (RU),
 Миронов Игорь Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 образования "Уральский государственный
 университет путей сообщения" (ФГБОУ ВО
 УрГУПС) (RU)

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЕЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к генерированию электромагнитных полей для исследований их воздействия на биоорганизмы. Предложенное устройство содержит две электрические цепи, первая из которых включает генератор переменного напряжения, который входом подключен к сети напряжением 220 В и выходом соединен с одним из входов усилителя переменного напряжения, снабженного встроенным реостатом, при этом усилитель переменного напряжения вторым входом подключен через выключатель к сети напряжением 220 В и выходом соединен через амперметр с обмоткой соленоида, вторая электрическая цепь включает высоковольтный источник переменного напряжения, который входом подключен через выключатель к выходу

лабораторного автотрансформатора, причем лабораторный автотрансформатор входом подключен к сети напряжением 220 В, при этом высоковольтный источник переменного напряжения имеет два выхода, одним из которых подключен к металлическим пластинам, встроенным в соленоид, причем клеммы подключения пластин снабжены резисторами, а другим выходом - к вольтметру переменного напряжения, причем максимальное напряжение на входе высоковольтного источника переменного напряжения может составлять 240 В. Техническим результатом является создание переносного устройства для генерирования электромагнитных полей с заданными параметрами этих полей для исследования их воздействия на биоорганизмы. 4 ил.

RU
2 589 497
C 1

RU
2 589 497
C 1

Приложение М

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024682706

**Имитационное моделирование энергетических
характеристик электромагнитных полей в кабине
электроподвижного состава**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный университет путей
сообщения» (RU)*

Автор(ы): *Закирова Альфия Резавановна (RU)*

Заявка № 2024667450

Дата поступления 19 июля 2024 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 26 сентября 2024 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

