

На правах рукописи



Закирова Альфия Резавановна

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

Специальность 2.10.3. – «Безопасность труда»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Челябинск – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО «УрГУПС»)

Научные консультанты:

доктор технических наук, профессор **Кузнецов Константин Борисович**
доктор технических наук, профессор **Сидоров Александр Иванович**

Официальные оппоненты:

Крюков Андрей Васильевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Электроэнергетика транспорта» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск

Титов Евгений Владимирович, д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», г. Барнаул

Бирюков Сергей Владимирович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Физика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет», г. Омск

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск

Защита состоится 3 октября 2025 г. в 10.00 в ауд. 1007 на заседании диссертационного совета 24.2.437.14, созданного на базе ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по адресу: 454080, г. Челябинск, просп. им. В. И. Ленина, 76, ауд. 909.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» и на сайте <https://www.susu.ru/ru/dissertation/24243714/zakirova-alfiya-rezavanovna>.

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, просп. им. В.И. Ленина, д. 76, гл. корпус, ученый совет ЮУрГУ.

E-mail: grigorevma@susu.ru; тел. для справок: +7(351)267-94-49.

Учёный секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, профессор

М. А. Григорьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 контролируются. Основные принципы обеспечения безопасности труда не выполняются, возможно повреждение здоровья работников. Для выполнения требований охраны труда следует разработать 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, В. Robert 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. Vodger и др.

Работы этих учёных составляют теоретическую и методологическую базу настоящего исследования. Однако оценка, контроль и нормирование ЭМП до 1кГц, кроме 50 Гц, и 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 аддитивном воздействии электрических и магнитных полей.

Объект исследования: тяговая сеть и электрооборудование электроподвижного состава.

Предмет исследования: закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП 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.

4. Разработать систему защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей и обосновать предложенные способы защиты и технические решения.

Научная новизна

1. 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.

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 «Определение вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей».

4. Впервые разработана и обоснована система защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей, базирующаяся на энергетических характеристиках ЭМП.

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;
- 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, 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, включающей закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП, математические модели и способы защиты персонала:

1) разработан метод определения вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала и опробован относительно ЭПС переменного тока;

2) установлены закономерности изменения параметров ЭМП, позволяющие обеспечить создание системы защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей;

3) создана математическая модель оценки среднесменной энергетической нагрузки ЭМП, которая позволяет учитывать аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на электротехнический персонал, обслуживающий ЭПС;

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

5) подготовлен проект ГОСТ Р «Определение вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей»;

б) 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 электроподвижном составе тяговой сети (электровозах постоянного и переменного токов, промышленных электровозах), которые можно использовать при исследовании энергетических характеристик ЭМП на аналогичных рабочих местах;

7) разработаны и обоснованы способы и устройства защиты от вредного воздействия электрических и магнитных полей персонала, защищённые патентами РФ;

8) 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.

Экспериментальные методы включали проведение инструментальных измерений и анализ полученных уровней напряжённости электрических и магнитных полей 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.

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.

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 учёными в области изучения вредного действия ЭМП на биологические объекты, статистических материалах, авторских разработках и обобщении собственного практического опыта. Обеспечивается также совпадением результатов моделирования ЭМП с данными, полученными в программе ELCUT.

Основные материалы и результаты диссертационной работы изложены и одобрены на 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 «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» (Санкт-Петербург, 2015), Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности» (г. Воронеж, 2015), Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг» (г. Новочеркасск, 2015), Международной научно-технической конференции «Инновационный транспорт-2016: специализация железных дорог» (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 «Интеграция образовательной, научной и воспитательной деятельности в организациях общего и профессионального образования» (Екатеринбург, 2017), Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг» (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» (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» (г. Иркутск, 2023), Международной научно-практической конференции «Исследование и развитие рельсового и автомобильного транспорта» (Екатеринбург, 2024), а также на семинарах докторантов УрГУПС (Екатеринбург, 2017 и 2019 гг.) и аналогичных семинарах ЮУрГУ (г. Челябинск, 2019, 2022–2024 гг.).

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

Внедрение результатов исследования

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.

¹ Тираж более 127 тыс. экз., 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 магистраль. 2014. № 157(25592). С. 7; Закирова А.Р., Арсланов А.А. В поле научного внимания / Беседовал Е. Невольниченко // Гудок, Уральская магистраль. 2017. № 8(9681). С. 2.

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, приведённые в диссертации, соответствуют паспорту специальности 2.10.3. «Безопасность труда», а именно:

– первое, второе и четвёртое 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»).

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

Публикации. По теме диссертации опубликовано 62 научные работы, включая 20 статей в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ (из них 17 – по научной специальности: 2 статьи – в квартале К1, 5 – в К2; 7 публикаций, индексируемых в базе Scopus, из которых одна – в квартале Q3, одна – в Q4). Также зарегистрировано пять патентов РФ на изобретения, одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, две монографии и 27 публикаций (в том числе 20 – по теме диссертации) в иных изданиях.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении исследуется проблема обеспечения безопасности труда электротехнического персонала при воздействии электрических и магнитных полей с частотой до 1 кГц. Обоснована актуальность задач диссертационного исследования, уделено внимание отсутствию методов оценки, контроля и нормирования электромагнитных полей до 1 кГц, за исключением частоты 50 Гц. Это создаёт вероятность повреждения здоровья работников, что подчёркивает необходимость дальнейшего исследования и разработки системы защиты.

Сформулированы цель, научные положения, выносимые на защиту; отмечены научная значимость, теоретическая и практическая ценность работы, методология и методы исследования, степень достоверности и апробация результатов, а также внедрение результатов исследования.

В первой главе рассмотрены вопросы безопасности труда электротехнического персонала, связанные с электромагнитными полями до 1 кГц, и практика исследования условий труда по электрическим и магнитным полям, а также представлена статистика публикаций, рассматривающих вредное воздействие ЭМП на электротехнический персонал. Для электротехнического персонала, обслуживающего ЭПС, актуально аддитивное воздействие рассматриваемых полей, которое в настоящее время не подлежит оценке, контролю и нормированию. Учёные (предшественники) в результате экспериментальных исследований установили, что ЭМП в электровозах переменного тока ВЛ80к, ВЛ80р и ЧС4т превышают предельно допустимые уровни. Статистические данные по производственно обусловленной заболеваемости электротехнического персонала подтвердили необходимость разработки и применения системы защиты электротехнического персонала. Проанализирована система защиты электротехнического персонала при воздействии электрических и магнитных полей с частотой 50 Гц и предложена структура системы защиты персонала при аддитивном воздействии ЭМП до 1кГц. Эта система включает новые подходы в методическом, организационном, лечебно-профилактическом и техническом обеспечении, учитывающие аддитивное воздействие на электротехнический персонал электрических и магнитных полей. Наполняемость данной системы зависит от технических характеристик источников ЭМП, которые подлежат дальнейшему исследованию, а также от аспектов безопасности труда электротехнического персонала при воздействии электрических и магнитных полей.

Во второй главе исследуются вопросы безопасности труда электротехнического персонала в условиях воздействия электрических и магнитных полей. С этой целью определена энергетическая нагрузка ЭМП на рабочих местах электротехнического персонала и приведено обоснование применения предельно безопасных уровней. В сотрудничестве с биологами ФГБОУ ВО «ИнГУ» проведены экспериментальные исследования на биологических объектах. На специально разработанной нами установке изучалось влияние энергетической нагрузки ЭМП на биологические объекты. Биологи подтвердили необходимость нераздельной оценки электрической и магнитной составляющих ЭМП на рабочих местах, а учёта их аддитивного воздействия с помощью энергетической нагрузки ЭМП. На основе полученных данных были выполнены теоретические исследования по определению проникающих низкочастотных электромагнитных полей в тело человека.

Подготовлена методика «Аддитивная дозовая оценка параметров ЭМП на рабочих местах», которая позволяет заполнить пробелы в области оценки, контроля и нормирования ЭМП до 1 кГц, а также учитывает аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на электротехнический персонал.

Согласно этой методике, разработаны деревья логико-вероятностных моделей, предназначенные для оценки вероятности повреждения здоровья

персонала. Нами впервые создано дерево логико-вероятностной модели (рисунок 1, таблица 1), которое позволяет анализировать аддитивное воздействие факторов производственной среды (электрических и магнитных полей частотой до 1 кГц) на персонал, рассматривать возможные сценарии развития событий и определять последствия каждого сценария.

Логико-вероятностная модель в виде дерева событий предназначена для оценки вероятности повреждения здоровья персонала, подверженного воздействию факторов производственной среды, таких как электрические и магнитные поля с частотой до 1 кГц.

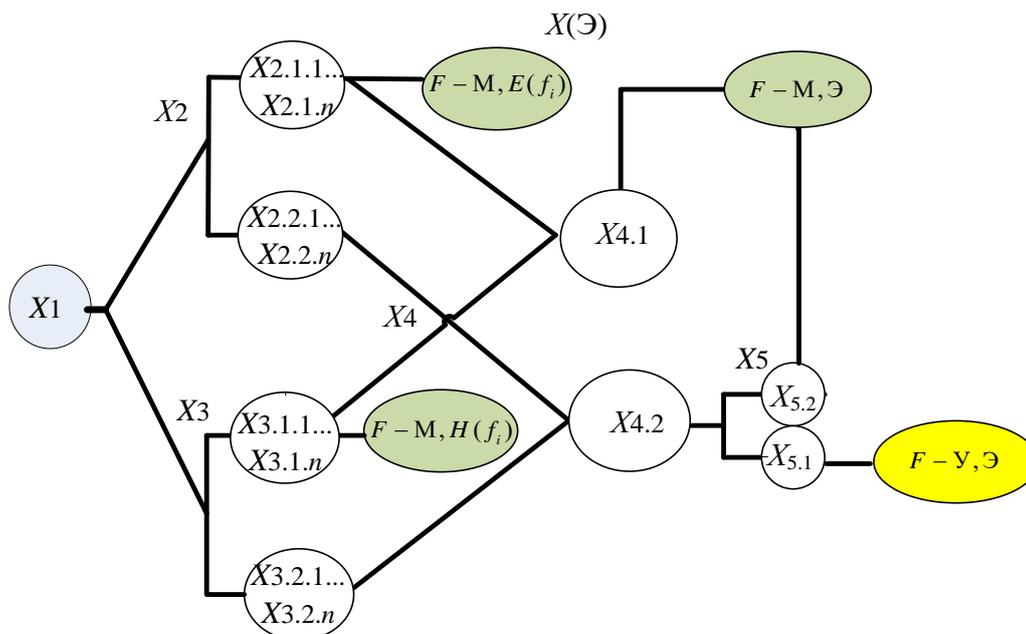


Рисунок 1 – Дерево логико-вероятностной модели для определения вероятности повреждения здоровья персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей

Её универсальность заключается в рассмотрении изменяющихся уровней напряжений и токов в электроустановках (событие X_1), которые формируют электрические (событие X_2) и магнитные (событие X_3) поля.

На рабочих местах рассматриваемого электротехнического персонала присутствуют 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 $X_{4.2}$). 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 повреждения здоровья персонала не требуются.

Пояснения к элементам логико-вероятностной модели приведены в таблице 1.

Таблица 1

Пояснения к элементам логико-вероятностной модели (рисунок 1)

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 $X(\Theta)$		
	$X_{4.1}$	$p(\Theta)$	Не превышающая безопасные уровни
	$X_{4.2}$	$p(\bar{\Theta})$	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
	$F-M, \Theta$	$P(F-M, \Theta)$	По среднесменной энергетической нагрузке ЭМП
	Вероятность повреждения здоровья персонала «умеренная» ($F-Y$)		
	$F-Y, \Theta$	$P(F-Y, \Theta)$	По энергетической нагрузке ЭМП

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.

Если на рабочих местах одновременно присутствуют ЭМП со спектром высших гармонических составляющих (от двух и более частот до 1кГц), то необходимо использовать категории вероятности, приведённые в таблице 2.

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	

Требуется оценить полную условную вероятность воздействия на персонал среднесменной энергетической нагрузки ЭМП от 25 Гц до 1 кГц, которая рассчитывается 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.

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:

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

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^n p_i(E_i) &= p(E_{50}) + p(E_{100}) + \dots + p(E_n), & \sum_{i=1}^n p_i(H_i) &= p(H_{50}) + p(H_{100}) + \dots + p(H_n), \\
 \prod_{i=1}^n p_i(E_i) &= p(E_{50}) \cdot p(E_{100}) \cdot \dots \cdot p(E_n), & \prod_{i=1}^n p_i(H_i) &= p(H_{50}) \cdot p(H_{100}) \cdot \dots \cdot p(H_n),
 \end{aligned}$$

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 оценки 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, $\sum \mathcal{E}(f_i)$, ВА/м ²	\leq ПБУ	Малозначимая	\geq ПБУ	Умеренная

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

Если же наблюдается превышение ПБУ ($F-Y, \mathcal{E}$), то категория вероятности классифицируется как «умеренная», и необходимо определить категории вероятности повреждения здоровья персонала исходя из 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.

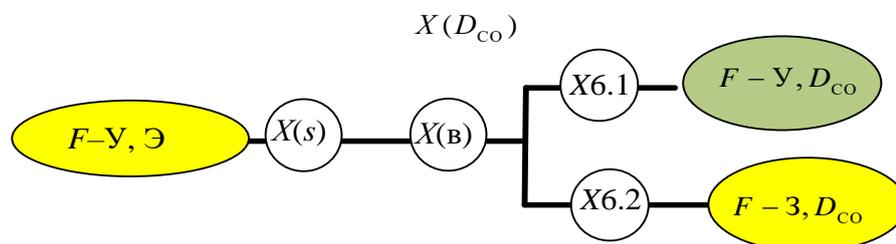


Рисунок 2 – Дерево логико-вероятностной модели для оценки вероятности повреждения здоровья персонала в зависимости от суточной дозы потенциальной энергии облучения ЭМП

В связи с событиями, указанными в таблице 4, рассчитываются 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 событий	Содержание
События, связанные с воздействием на персонал среднесменной энергетической нагрузки ЭМП, превышающей ПБУ .	$F-Y, \text{Э}$	$P(F-Y, \text{Э})$	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 $X(D_{co})$.	$X(v)$	$p(v)$	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	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 рассмотрен порядок организации труда и отдыха локомотивных бригад.

Расчётные значения статистической вероятности воздействия среднесменной энергетической нагрузки ЭМП на персонал представлены в

таблице 5, предоставляя 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:

$$p(F - Y, D_{co}) = 1 - ((1 - p(F - Y, \text{Э}))(1 - p(S))(1 - p(\text{в}))(1 - p(Z))) \quad (2)$$

$$p(F - 3, D_{co}) = 1 - ((1 - p(F - Y, \text{Э}))(1 - p(S))(1 - p(\text{в}))(1 - p(\bar{Z}))). \quad (3)$$

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	\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 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 поглощённой энергии ЭМП.

Согласно впервые разработанному дереву логико-вероятностной модели (рисунок 3), устанавливаются категории вероятности повреждения здоровья персонала, которые учитывают удельную суточную дозу потенциальной поглощённой энергии ЭМП.

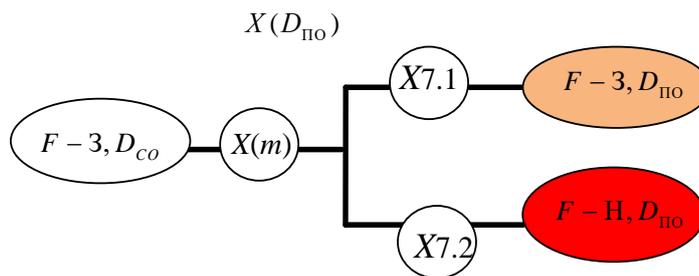


Рисунок 3 – Дерево логико-вероятностной модели для определения вероятности повреждения здоровья персонала, основанное на удельной суточной дозе потенциальной поглощённой энергии ЭМП

Модель структурирована в виде дерева (рисунок 3), что позволяет наглядно продемонстрировать взаимосвязи и зависимости, влияющие на вероятность воздействия на персонал удельной суточной дозы потенциальной поглощённой энергии ЭМП.

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

$$p(F - 3, D_{по}) = 1 - ((1 - p(F - 3, D_{co})) \cdot (1 - p(m)) \cdot (1 - p_{7.1})) \quad (4)$$

$$p(F - H, D_{по}) = 1 - ((1 - p(F - 3, D_{co})) \cdot (1 - p(m)) \cdot (1 - p_{7.2})). \quad (5)$$

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

В таблице 7 приведены пояснения к элементам данной логико-вероятностной модели, которые помогут лучше понять её конструкцию и применение на практике.

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 $X(D_{\text{по}})$.	$F-3, \text{Э}$	$P(F-Y, \text{Э})$	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	$X7.1$	$p7.1$	Вероятность применения персоналом средств защиты при вредном воздействии удельной суточной дозы потенциальной поглощённой энергии ЭМП.
	$X7.2$	$p7.2$	Вероятность неприменения персоналом средств защиты при вредном воздействии удельной суточной дозы потенциальной поглощённой 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 поглощённой 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 поглощённой энергии ЭМП, является «значительной» ($F-3$).

В соответствии с деревом логико-вероятностной модели (рисунок 3) определяются категории вероятности повреждения здоровья персонала по удельной суточной дозе потенциальной поглощённой энергии ЭМП (таблица 8). При категории вероятности повреждения здоровья персонала, основанной на удельной суточной дозе потенциальной поглощённой энергии ЭМП, «значительная», оценка дополнительных параметров ЭМП не требуется.

Категории вероятности повреждения здоровья персонала,
учитывающие удельную суточную дозу
потенциальной поглощённой энергии ЭМП

Наименование	Критерий	Категория вероятности	Критерий	Категория вероятности
Удельная суточная доза потенциальной поглощённой энергии ЭМП.	\leq ПБУ	Значительная.	\geq ПБУ	Недопустимая

При этом в рамках разработанной системы защиты необходимы следующие меры: контроль ЭМП (способы и устройства контроля ЭМП), направление работников на медицинские осмотры и мониторинг здоровья персонала.

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 поглощённой энергии ЭМП, требуется учитывать технические характеристики и специфику работы электроустановок. Важно понимать, как вблизи электроустановок изменяются рассматриваемые параметры, для этого требуется разработка математических моделей энергетических характеристик ЭМП.

Для расчёта электрических и магнитных полей в настоящее время применяются разные программные продукты, а вот программ, позволяющих исследовать закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП в ЭПС, пока нет. Поэтому возникла необходимость разработки программы для ЭВМ, включающей математические модели энергетических характеристик ЭМП в ЭПС. Используя полученные данные, можно анализировать изменения рассматриваемых параметров и строить уравнения регрессионных моделей.

Третья глава посвящена теоретическим исследованиям безопасности труда персонала по энергетическим характеристикам ЭМП в ЭПС. Она содержит описание разработанной программы, включающей математические модели, с помощью которых определяются закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП в ЭПС. Структура программы, написанная на языке программирования Python, показана на рисунке 4.

В системе электроснабжения железных дорог токораспределение для однопутной и двухпутной линий различно, поэтому при вводе параметров контактной сети (КС) необходимо учитывать схемы питания электрифицированных участков, полное сопротивление тягой сети и требования правил её технического содержания.

Математическая модель для расчёта энергетических характеристик ЭМП в ЭПС разработана относительно одно-, двух- и трёхпутной линий.

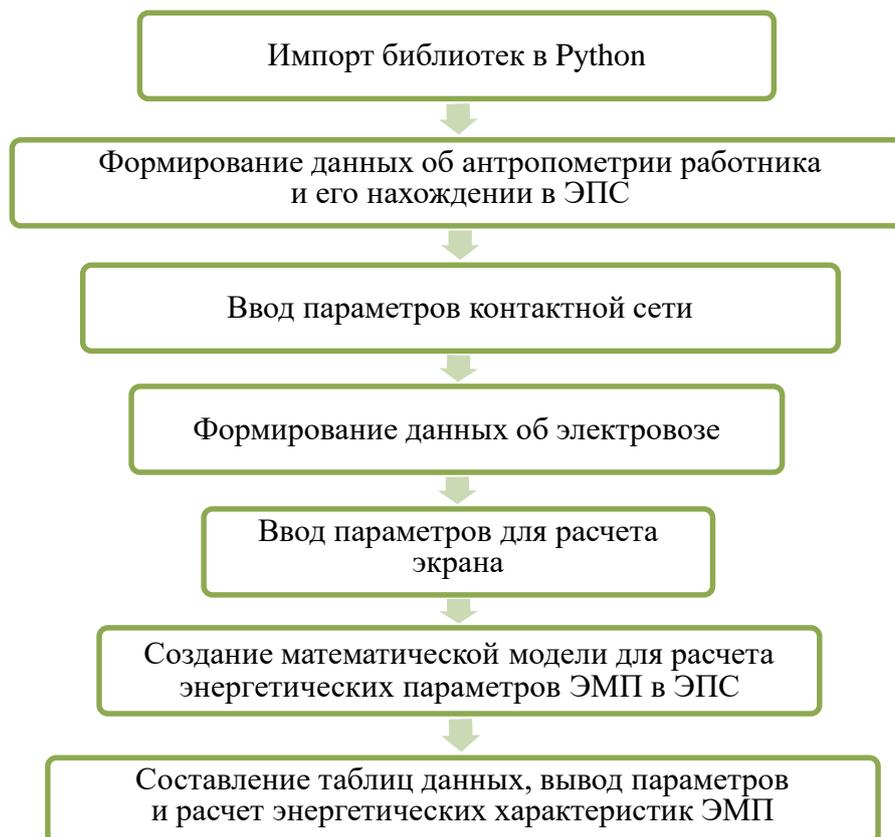


Рисунок 4 – Структура программы для исследования изменения энергетических характеристик ЭМП в ЭПС

В соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» от 18.08.2021 №1812/р «О совершенствовании системы содержания объектов энергетического комплекса», 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, усиливающему проводу (АС-185) – 590 А; величина зигзага контактного провода (от ± 100 до ± 400 мм) выбирается в зависимости от радиуса кривой и длины пролета.

Использованы следующие схемы линий: контактный провод, несущий трос и два рельса (модель № 1); контактный провод, несущий трос, два рельса и усиливающий провод (модель № 2); контактный провод, несущий трос, два рельса, усиливающий и экранирующий провода (модель № 3).

Нами рассмотрено 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 5).

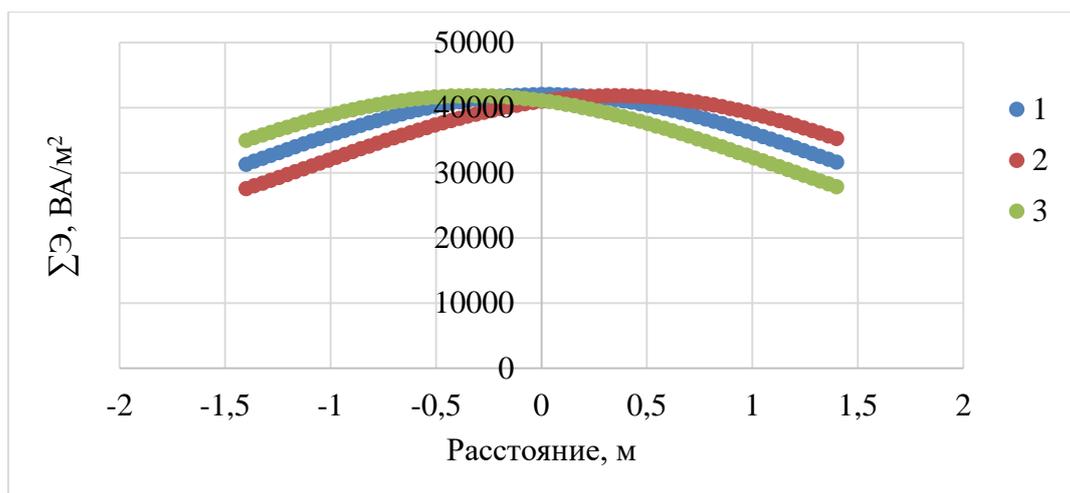


Рисунок 5 – Изменение суммарной среднесменной энергетической нагрузки ЭМП в кабине ЭПС в зависимости от величины зигзага контактного провода: 1 – КП без смещения; 2 – со смещением КП (+0,4); 3 – со смещением КП (-0,4)

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).

Уравнения регрессионных моделей, учитывающих суммарную энергетическую нагрузку ЭМП со спектром высших гармонических составляющих в кабинах ЭПС на двухпутных участках (модель №1), приведены в таблице 9.

Таблица 9

Уравнения регрессионных моделей суммарной энергетической нагрузки ЭМП в кабинах 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 смещён, а КП 2 пути на +400 мм		
$y = -6014,1x^2 + 3718,4x + 51243$	$R^2 = 0,98$	Да
КП 1 пути смещён на + 400 мм, КП 2 – без смещения		
$y = -5508,8x^2 + 7538,6x + 51514$	$R^2 = 0,99$	Да
КП 1 пути смещён 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 смещён на - 400 мм, КП 2 пути на -400 мм		
$y = -5606,1x^2 + 1758,2x + 53127$	$R^2 = 0,94$	Да
КП 1 пути смещён на + 400 мм, а КП 2 пути на +400 мм		
$y = -5492,6x^2 + 6953x + 50289$	$R^2 = 0,98$	Да
КП 1 пути смещён на - 400 мм, КП 2 пути на +400 мм		
$y = -5556,3x^2 + 462,83x + 50402$	$R^2 = 0,95$	Да

Согласно данным таблицы 9, суммарная среднесменная энергетическая нагрузка ЭМП в кабинах 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 даёт основание использовать приведённые зависимости для формирования требований к разработке технических мероприятий. Полученные данные в последующем будут применены при обосновании использования средств защиты.

Рассмотрим удельную суточную дозу поглощённой энергии ЭМП в ЭПС относительно схем расположения контактных проводов (рисунок 6).

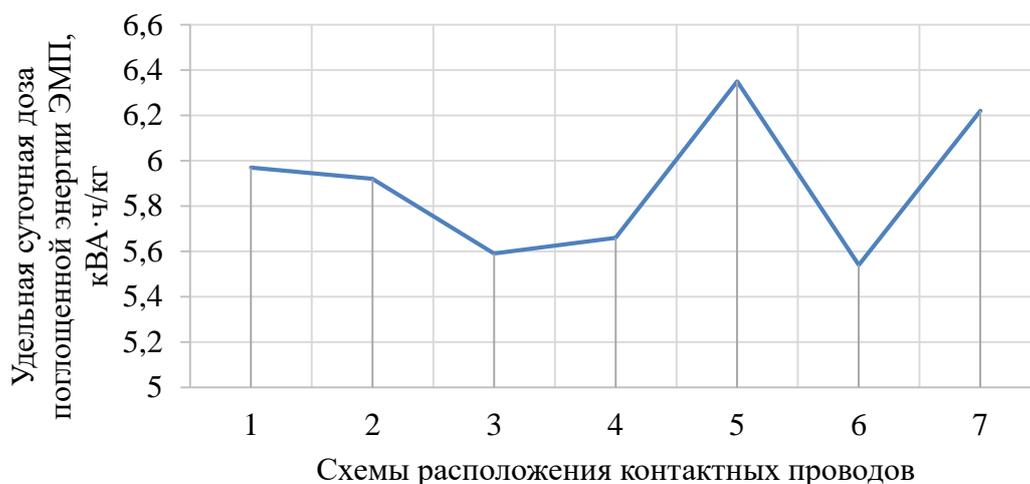


Рисунок 6 – Уровни удельной суточной дозы потенциальной поглощённой энергии ЭМП в кабинах ЭПС при массе тела человека 80 кг

Исследование уровней удельной суточной дозы потенциальной поглощённой энергии ЭМП в кабинах 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 - смещён на +400 мм; 3 – КП 1 пути смещён на +400 мм, КП 2 - без смещения; 4 – КП 1 пути смещён на +400 мм, КП 2 - смещён на -400 мм; 5 – КП 1 пути смещён на -400 мм, а КП 2 пути на -400 мм; 6 – КП 1 пути смещён на +400 мм, КП 2 пути на +400 мм; 7 – КП 1 пути смещён на -400 мм, а КП 2 пути на +400 мм.

Зигзаги КП1 и КП2 для двухпутной линии могут быть однонаправленными или разнонаправленными. Согласно рисунку 6, минимальные значения удельной суточной дозы потенциально поглощённой энергии ЭМП при массе тела человека 80 кг отмечаются на схеме расположения контактных проводов под № 6, а максимальные – под № 5. Полученные результаты в дальнейшем будут использованы при

обосновании применения технических средств защиты.

Полученные закономерности, например, ещё на стадии проектирования контактной сети переменного тока, позволяют спрогнозировать, какие уровни среднесменной энергетической нагрузки ЭМП будут воздействовать на машиниста и его помощника, какими будут суточная доза потенциальной энергии облучения ЭМП и удельная суточная доза поглощённой энергии ЭМП.

Впервые с помощью созданной математической модели определены закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП в ЭПС, которые позволяют учитывать специфику движения ЭПС и аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на электротехнический персонал.

В четвертой главе проведён анализ безопасности труда электротехнического персонала на основе экспериментальных исследований электрических и магнитных полей в ЭПС.

Для изучения энергетических характеристик ЭМП в ЭПС и подтверждения достоверности полученных теоретических исследований осуществлены эксперименты в производственных условиях, связанных с обслуживанием ЭПС.

Впервые нами получены зависимости изменения напряжённости магнитных полей со спектром высших гармонических составляющих от величины тока как в кабинах электропоездов ВЛ11 и 2ЭС10, так и в машинных отделениях.

Уравнения регрессионных моделей $y(x) = \sum H(I)$ приведены в таблице 10.

Таблица 10

Уравнения регрессионных моделей $y(x) = \sum H(I)$

Наименование	Тип функции	Уравнения регрессионных моделей	Коэффициент детерминации	Возможность использования зависимости
ВЛ11, кабина электропоезда				
$y(x) = \sum(I)H_{ВЛ11,к}$	линейная	$y = 0,0125x - 0,40$	$R^2 = 0,82$	Да
ВЛ11, машинное отделение электропоезда				
$y(x) = \sum(I)H_{ВЛ11,м}$	линейная	$y = 0,0321x - 2,42$	$R^2 = 0,95$	Да
2ЭС10, кабина электропоезда				
$y(x) = \sum(I)H_{2ЭС10,к}$	линейная	$y = 0,009x + 0,25$	$R^2 = 0,94$	Да
2ЭС10, машинное отделение электропоезда				
$y(x) = \sum(I)H_{2ЭС10,м}$	линейная	$y = 0,0141x - 0,65$	$R^2 = 0,95$	Да

Коэффициенты детерминации линейных зависимостей изменения напряжённости магнитных полей с учётом спектра высших гармонических составляющих от величины тока в электроподвижном составе варьируют в диапазоне от 0,82 до 0,96, что подтверждает наличие сильной корреляционной связи между указанными факторами.

Приведённые модели можно использовать для определения энергетической нагрузки в ЭПС при различных режимах его работы. С помощью полученных моделей анализируются магнитные поля в разных режимах работы ЭПС и подбирается система защиты персонала.

Построенные уравнения регрессионных моделей $y(x) = \sum E(U)$ приведены в таблице 11.

Таблица 11

Уравнения регрессионных моделей $y(x) = \sum E(U)$

Наименование	Тип функции	Уравнения регрессионных моделей	Коэффициент детерминации	Возможность использования зависимости
ВЛ11, кабина электровоза				
$y(x) = \sum (U)E_{ВЛ11, к}$	линейная	$y = 0,0012x + 2,11$	$R^2 = 0,98$	Да
ВЛ11, машинное отделение электровоза				
$y(x) = \sum E(U)_{ВЛ11, м}$	линейная	$y = 0,0035x - 2,56$	$R^2 = 0,89$	Да
2ЭС10, кабина электровоза				
$y(x) = \sum (U)E_{2ЭС10, к}$	линейная	$y = 0,0027x - 3,13$	$R^2 = 0,96$	Да
2ЭС10, машинное отделение электровоза				
$y(x) = \sum (U)E_{2ЭС10, м}$	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 напряжённостью электрического поля со спектром высших гармонических составляющих будут использованы при разработке системы защиты.

По результатам экспериментальных исследований показано, что уровни электрических и магнитных полей 50 Гц не превышают ПБУ, как и ЭМП со спектром высших гармонических составляющих.

Зависимости изменения уровней напряжённости магнитных полей со спектром высших гармонических составляющих от величины тока $y(x) = \sum H(I)$ в электровозах ВЛ80^с приведены в таблице 12.

Таблица 12

Уравнения регрессионных моделей $y(x) = \sum H(I)$

Наименование	Уравнения регрессионных моделей	Коэффициент детерминации	Возможность использования зависимости
ВЛ80 ^с , кабина электровоза			
$y(x) = \sum H_{ВЛ80^с, к}(I)$	$y = 0,0299x + 0,51$	$R^2 = 0,98$	Да
ВЛ80 ^с , машинное отделение электровоза			
$y(x) = \sum H_{ВЛ80^с, м}(I)$	$y = 0,3997x - 82,70$	$R^2 = 0,97$	Да

Приведённые коэффициенты детерминации (0,97 и 0,98) свидетельствуют о наличии высокой корреляции. Регрессионные модели, характеризуемые этими коэффициентами, могут использоваться для прогнозирования изменений уровней магнитных полей с учётом спектра высших гармонических составляющих в рассмотренных видах электроподвижного состава.

Уравнения регрессионных моделей $y(x) = \sum E(U)$ в электровозах ВЛ80^с приведены в таблице 13.

Таблица 13

Уравнения регрессионных моделей $y(x) = E(U)$

Наименование	Уравнения регрессионных моделей	Коэффициент детерминации	Возможность использования зависимости
ВЛ80^с, кабина			
$y(x) = \sum E(U)_{\text{ВЛ80}^{\text{с}}, \text{к}}$	$y = 0,498x + 1261$	$R^2 = 0,90$	Да
ВЛ80^с, машинное отделение			
$y(x) = E(U)_{\text{ВЛ80}^{\text{с}}, \text{м}}$	$y = 0,075x + 1059$	$R^2 = 0,95$	Да

Коэффициенты детерминации (0,90 и 0,95) указывают на наличие высокой корреляции уравнений регрессионных моделей. Полученные модели позволяют эффективно применить систему защиты электротехнического персонала. Экспериментально установленные данные хорошо согласуются с результатами теоретических исследований в кабине электроподвижного состава, причём погрешность составляет не более 5%.

Уравнения регрессионных моделей, отражающие зависимость напряжённости магнитных полей с учётом спектра высших гармонических составляющих от величины тока $y(x) = \sum H(I)$ в тяговых агрегатах ОПЭ-1АМ, ЕЛ-20 и НП-1 указаны в таблице 14.

Таблица 14

Уравнения регрессионных моделей $y(x) = \sum H(I)$

Наименование	Тип функции	Уравнения регрессионных моделей	Коэффициент детерминации	Возможность использования зависимости
ОПЭ-1АМ				
Кабина				
$y(x) = \sum H(I)_{\text{ОПЭ-1АМ}, \text{к}}$	линейная	$y = 0,779x + 4,7641$	$R^2 = 0,95$	Да
Машинное отделение				
$y(x) = \sum H(I)_{\text{ОПЭ-1АМ}, \text{м}}$	линейная	$y = 0,182x - 6,1915$	$R^2 = 0,93$	Да
ЕЛ-20				
Кабина				
$y(x) = \sum H(I)_{\text{ЕЛ-20}, \text{к}}$	линейная	$y = 0,0821x + 8,7321$	$R^2 = 0,92$	Да
Машинное отделение				
$y(x) = \sum H(I)_{\text{ЕЛ-20}, \text{м}}$	линейная	$y = 0,1690x - 5,3385$	$R^2 = 0,97$	Да
НП-1				
Кабина				
$y(x) = \sum H(I)_{\text{НП-1}, \text{к}}$	линейная	$y = 0,0811x - 7,8634$	$R^2 = 0,94$	Да
Машинное отделение				
$y(x) = \sum H(I)_{\text{НП-1}, \text{м}}$	линейная	$y = 0,131x - 3,9923$	$R^2 = 0,96$	Да

Коэффициенты детерминации находятся в интервале от 0,92 до 0,97, что свидетельствует о высоком уровне корреляции. Следовательно, полученные результаты исследований могут служить основанием для

обоснования системы защиты персонала. Уравнения регрессионных моделей напряжённости электрических полей со спектром высших гармонических составляющих относительно уровня напряжения приведены в таблице 15.

Таблица 15

Уравнения регрессионных моделей $y(x) = \sum E(U)$

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 0,90 до 0,98) имеют высокую значимость. Используя полученные зависимости, можно определять напряжённости электрических и магнитных полей задавая необходимые уровни напряжений и токов.

Выполненные экспериментальные исследования электрических и магнитных полей переменного тока показали, что:

- уровни электрических и магнитных полей в ЭПС постоянного тока являются допустимыми; вероятность повреждения здоровья персонала подпадает под категорию «малозначимая», в этом случае оценка дополнительных параметров не требуется;

- в ЭПС переменного тока требуются дальнейшие исследования, возникают события, создающие вероятность повреждения здоровья персонала.

- в электроподвижном составе переменного тока, в том числе и грузовом (тяговые агрегаты) присутствуют электрические и магнитные поля, не оцениваемые и не нормируемые в России, что подтверждается и экспериментальными исследованиями;

- расхождения между результатами экспериментальных и теоретических исследований составляют не более 5 %.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований подтвердили и обосновали необходимость доработки существующей системы защиты электротехнического персонала от ЭМП 50 Гц.

Пятая глава посвящена системе защиты электротехнического персонала, учитывающей установленные нами закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП от параметров тяговой сети, а также новым подходам в методическом, организационном, лечебно-профилактическом и техническом обеспечении, учитывающим аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на электротехнический персонал. 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;

– в машинных отделениях тяговых агрегатов ОПЭ1-АМ, НП-1 и электровазов ВЛ80^с суммарные уровни энергетической нагрузки ЭМП превышают ПБУ, необходимо использовать систему защиты;

Также все рассмотренные энергетические характеристики ЭМП в тяговых агрегатах ОПЭ1-АМ превышают ПБУ, поэтому необходимо использовать систему защиты.

Требуется разработка и внедрение системы защиты электротехнического персонала, которая учитывает аддитивное воздействие электрических и магнитных полей. Исследовав закономерности изменения энергетических характеристик ЭМП в ЭПС, мы усовершенствовали систему защиты персонала (рисунок 7). Структура системы защиты включает методическое, организационное, лечебно-профилактическое и техническое обеспечение.

Методическое обеспечение содержит разработанные нами проект ГОСТ Р «Определение вероятности повреждения здоровья электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей», основанный на логико-вероятностном моделировании и методике «Аддитивное дозовое воздействие энергии ЭМП разного рода и частоты переменного тока до 1 кГц на персонал в производственных условиях».

В соответствии с методикой «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.

Организационное обеспечение включает:

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



Рисунок 7 – Модель системы защиты электротехнического персонала при аддитивном воздействии электрических и магнитных полей

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

Лечебно-профилактическое обеспечение нацелено на сохранение здоровья людей (персонала). В настоящее время работники проходят медицинские осмотры 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, но и по производственно обусловленной заболеваемости персонала.

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; потребовалась разработка технических решений — их применение позволит своевременно информировать электротехнический персонал о нахождении в зоне превышения безопасных уровней ЭМП и реализовать «защиту временем», тем самым снизить вероятность повреждения здоровья персонала.

Способ и устройство контроля уровня напряжённости магнитного поля электроустановок переменного тока

Способ и устройство для его осуществления разработаны для персонала, который длительное время находится под вредным воздействием магнитного поля 50 Гц. Схема устройства контроля уровня напряжённости магнитного поля электроустановок переменного тока приведена на рисунке 8.

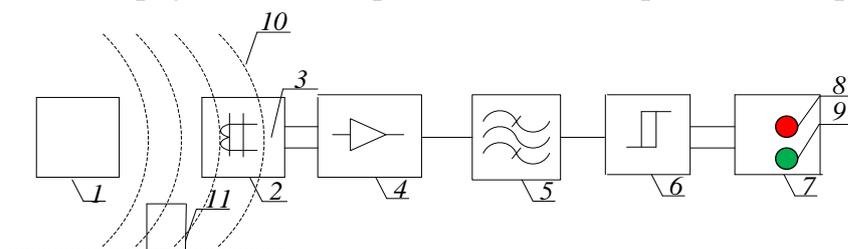


Рисунок 8 – Схема устройства контроля уровня напряжённости магнитного поля электроустановок переменного тока

Схема устройства включает электроустановку переменного тока 1, антенный датчик 2, спиралевидную рамку 3, усилитель 4, звено частотной коррекции 5, пороговый элемент 6, сигнальное устройство 7, зелёную лампу 8, красную лампу 9, магнитное поле 10.

Прибор устанавливают в машинном отделении электроподвижного состава с выводом сигнала о превышении нормируемого ПДУ МП в кабину машиниста. При превышении ПДУ загорается красный светодиод, персонал информируется о вероятности повреждения здоровья, в это время помощник машиниста не должен покидать кабину ЭПС — осуществляется защита временем.

Мы протестировали индикатор МП 50 Гц, чтобы оценить разработанное нами устройство и определить точность его показаний в электровозах ВЛ80с (таблица 16) и тяговых агрегатах (см. текст диссертации). Результаты исследований показали, что индикатор магнитного поля 50 Гц

своевременно сигнализировал машинисту и его помощнику о превышении ПДУ МП 50 Гц (100 мкТл), при этом загорался красный светодиод, а о непревышении ПДУ МП 50 Гц – зелёный.

Таблица 16

Данные о срабатывании сигнального элемента индикатора магнитного поля 50 Гц в электровозах ВЛ80^с

Измеряемый параметр	Точка измерения	Ток на тяговых двигателях $I_{тд}$,	Показания сигнализатора, мкТл	Срабатывание устройства (цвет светодиода)
Напряжённость магнитного поля (50 Гц), мкТл	I	500	3,5	Зеленый
	II	500	3,6	Зеленый
	III	500	20,1	Зеленый
	IV	400	143	Красный
	V	550	236	Красный
	VI	800	150	Красный

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.

Индикатор магнитного поля 50 Гц успешно прошёл 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, его можно включить в качестве технического решения в систему защиты электротехнического персонала от магнитных полей 50 Гц.

Способ и устройство контроля напряжённости магнитного поля по приведённым уровням высших гармонических составляющих переменного тока

Схема устройства для контроля уровня напряжённости магнитного поля по приведённым уровням высших гармонических составляющих переменного тока представлена на рисунке 9. Она включает 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.

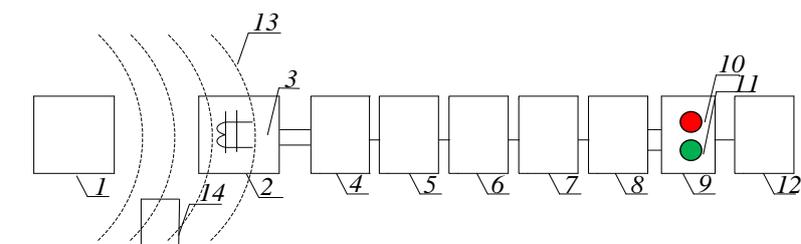


Рисунок 9 – Устройство для осуществления способа контроля уровня напряжённости магнитного поля по приведённым уровням высших гармонических составляющих переменного тока

Разработано устройство, учитывающее суммарное воздействие на персонал магнитного поля со спектром высших гармонических составляющих выпрямленного напряжения и тока в частотном диапазоне от 0 до 1 кГц. Устройство предупреждает о превышении безопасного уровня напряжённости магнитного поля в электроустановках, что позволяет осуществить защиту временем и снизить вероятность повреждения здоровья персонала.

Устройство для контроля напряжённости магнитных полей переменного и постоянного токов

Устройство предназначено для непрерывного контроля напряжённости магнитных полей переменного и постоянного токов и информирования персонала о превышении ПДУ (рисунок 10).

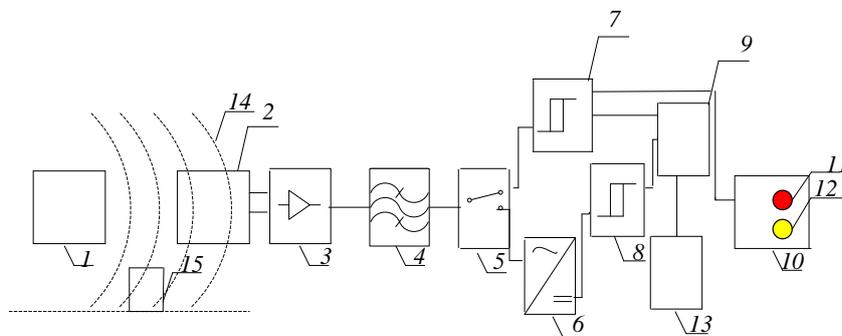


Рисунок 10 – Устройство для контроля напряжённости магнитных полей переменного и постоянного токов

Схема устройства содержит электроустановку переменного тока 1, датчик Холла 2, усилитель сигнала 3, звено частотной коррекции 4, двухпозиционный I и II переключатель 5, детектор 6, пороговый элемент постоянного магнитного поля 7, пороговый элемент переменного магнитного поля 8, жидкокристаллический алфавитно-цифровой дисплей 9, сигнальное устройство 10, красную лампу 11, желтую лампу 12, элемент контроля уровня заряда 13 батареи питания (на схеме не представлен), магнитное поле 14.

Предлагаемое устройство для контроля напряжённости магнитных

полей переменного и постоянного токов позволяет измерять напряжённость как постоянного, так и переменного магнитного поля и сигнализировать персоналу о превышении ПДУ. Оно применяется для обеспечения электромагнитной безопасности локомотивных бригад при вредном воздействии на них МП разного рода (постоянного и переменного) тока. Устройство может использоваться не только локомотивными бригадами в электроподвижном составе, но и электромонтёрами при обслуживании КС.

*Устройство для измерения энергетической нагрузки
электромагнитного поля*

Находясь в машинном отделении, помощник машиниста попадает в зону влияния энергетических характеристик ЭМП. Для определения (измерения) энергетической нагрузки ЭМП предложено использовать устройство для измерения уровней плотности потока энергии (энергетической нагрузки) электромагнитного поля (рисунок 11).

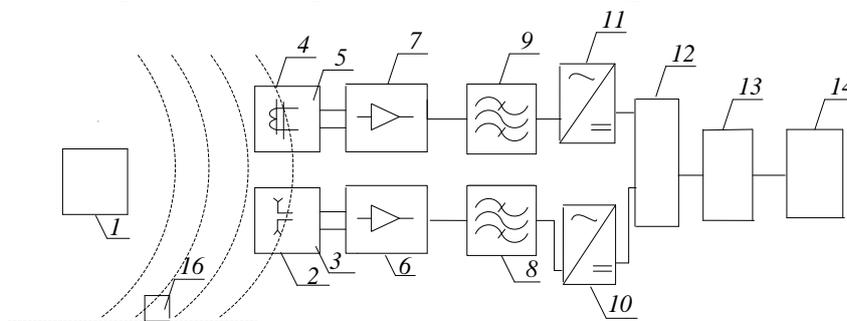


Рисунок 11 – Устройство для измерения энергетической нагрузки ЭМП

Схема устройства для измерения 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.

Устройство для измерения энергетической нагрузки ЭМП преобразует полученные значения напряжённости магнитного и электрического поля, и тем самым даёт возможность комплексно оценить их на рабочих местах электротехнического персонала. Система защиты электротехнического персонала разработана таким образом, что учтена специфика работы

электроустановок, поэтому устройства можно использовать как на подвижном составе, так и при работах вблизи контактной сети. Применение этих устройств позволит сохранить здоровье работников и снизить вероятность повреждения здоровья персонала, обусловленного вредным воздействием ЭМП, а также повысить уровень электробезопасности в организации.

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 1кГц.

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.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи в периодических научных изданиях, включённых в перечень ВАК Минобрнауки России по специальности 2.10.3. «Безопасность труда»:

1. Закирова, А.Р. Исследования электромагнитных полей на рабочих местах персонала, обслуживающего контактную сеть / А.Р. Закирова, Ж.М. Буканов // Вестник УрГУПС. – 2016. – № 2 (30). – С. 73–83.

2. 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 УрГУПС. – 2016. – № 4 (32). – С. 159–169.

3. Закирова, А.Р. Оценка аддитивного воздействия электрических и магнитных полей низкочастотного диапазона в производственных условиях / А.Р. Закирова // Вестник УрГУПС. – 2018. – № 3 (39). – С. 106–116.

4. 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.

5. Закирова, А.Р. Концепция оценки аддитивного воздействия на персонал электрических и магнитных полей до 1 кГц / А.Р. Закирова // Вестник УрГУПС. – 2019. – № 2 (42). – С. 87–93.

6. Закирова, А.Р. Развитие теории оценки магнитного поля вблизи контактной сети постоянного тока / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов, Г.А. Полуниин // Вестник УрГУПС. – 2019. – № 2 (42). – С. 94–99.

7. 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.

8. Закирова, А.Р. Аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на электротехнический персонал / К. Б. Кузнецов, А. Р. Закирова // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 4. – С. 27–31.

9. 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.

10. 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.

11. Закирова, А.Р. Исследование энергетической нагрузки ЭМП вблизи контактной сети / А.И. Сидоров, А.Н. Горожанкин, А.Р. Закирова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – Серия : Энергетика. – 2024. – Т. 24. – № 1. – С. 80–87.

12. Закирова, А.Р. Определение уравнений регрессионных моделей по энергетическим характеристикам электромагнитных полей в электроподвижном составе / А.Р. Закирова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 4(68). – С. 275–280.

Статьи в периодических научных изданиях, включённых в перечень ВАК Минобрнауки России по смежным специальностям:

13. Закирова, А.Р. Уровни напряжённостей магнитных полей от высших гармонических составляющих выпрямленного тока / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов, И.М. Кирпичникова, Ю.И. Аверьянов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – Серия : Энергетика. – 2017. – Т. 17. – № 3. – С. 55–59.

14. Закирова, А.Р. Оценка сочетанного воздействия на человека электрической и магнитной составляющих ЭМП / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов // Транспорт Урала. – 2018. – № 1 (56). – С. 54–57.

15. Закирова, А. Р. Методология оценки риска получения электротехническим персоналом профессиональных заболеваний, вызванных

воздействием магнитных полей / А. Р. Закирова // Вестник УрГУПС. – 2022. – № 3(55). – С. 114–122.

16. Закирова, А. Р. Вероятностный метод оценки воздействия энергии ЭМП на электротехнический персонал / А. Р. Закирова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11, № 3(59). – С. 199–203.

17. Закирова, А.Р. Исследование электромагнитных полей по энергетическим характеристикам / А. Р. Закирова // Наука и техника транспорта. – 2022. – № 4. – С. 87–91.

Патенты РФ

18. Закирова, А.Р. Способ контроля уровня напряжённости магнитного поля электроустановок переменного тока и устройство для его осуществления / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов : патент № 2436111 Российская Федерация ; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34.

19. Закирова, А.Р. Устройство для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов : патент № 2441248 Российская Федерация ; опубл. 27.01.2012, Бюл. № 3.

20. Закирова, А.Р. Способ контроля уровня напряжённости магнитного поля по приведённым уровням высших гармонических составляющих переменного тока и устройство для его осуществления / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов : патент № 2457500 Российская Федерация ; опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21.

21. Закирова, А.Р. Устройство для контроля напряженности магнитных полей переменного и постоянного токов / А.Р. Закирова, Ж.М. Буканов : патент № 2572294 Российская Федерация ; опубл. 10.01.2016, Бюл. № 1.

22. Закирова, А.Р. Устройство для создания переменного магнитного и электрического полей / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов, И.А. Миронов : патент № 2589497 Российская Федерация ; опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19.

Свидетельство о регистрации программы

23. Закирова А.Р. Имитационное моделирование энергетических характеристик электромагнитных полей в кабине электроподвижного состава. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024682706, 26.09.2024. Заявка № 2024667450 от 19.07.2024.

Статьи в изданиях, входящих в систему цитирования Scopus:

24. Zakirova, A.R. Higher Harmonic Components of Rectifiers Magnetic Fields and their Adverse Health Effects / K.B. Kuznetsov, A.R. Zakirova // Procedia Engineering. – 2015. – No. 129. – P. 415–419.

25. Zakirova, A.R. Assessment of Harmful Health Effects of AC Rectifier Converters Harmonic Components / K.B. Kuznetsov, A.R. Zakirova // Procedia Engineering. – 2015. – No. 129. – P. 420–426.

26. 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.

27. 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.

28. 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.

29. 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. – 2020. – 641 LNEE. – P. 444–451.

30. Zakirova, A.R. Electromagnetic safety in transport engineering/ K. Kuznetsov, A. Zakirova N. Lugaskova //AIP Conference Proceedings. 2023. – No. 2476. – Paper 020047.

31. Закирова, А.Р. Аддитивное воздействие электрических и магнитных полей на электротехнический персонал / К. Б. Кузнецов, А. Р. Закирова // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 4. – С. 27–31.

Монографии

32. Закирова, А.Р. Защита электротехнического персонала от вредного воздействия электромагнитных полей: монография / А.Р. Закирова. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2018. – 171 с.

33. Закирова, А.Р. Методология управления профессиональными рисками в энергетическом комплексе железнодорожного транспорта: монография / А.Р. Закирова. – Екатеринбург: УрГУПС, 2024. – 169 с.

Другие научные публикации, доклады

34. Закирова, А.Р. Приборы контроля параметров электромагнитных полей на железнодорожном транспорте / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте: м-лы Всеросс. научн.-техн. конф. с международным участием. – Омск: Изд-во ОмГУПС, 2013. – С. 398–401.

35. Закирова, А.Р. Методы защиты персонала от электромагнитных полей / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов, Ж.М. Буканов // Электробезопасность. – 2014. – № 4. – С. 37–41.

36. Закирова, А.Р. Оценка электромагнитных полей на рабочих местах персонала тягового электроснабжения как проблема техносферной безопасности / А.Р. Закирова // Актуальные проблемы защиты окружающей среды и техносферной безопасности в меняющихся антропогенных условиях – «Белые ночи-2014»: м-лы Международн. заочной научн.-практ. конф. – Грозный: Профобриздат, 2014. – С. 61–71.

37. Закирова, А.Р. Вероятность возникновения профессионально обусловленного заболевания работников / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов // Электробезопасность. – 2015. – № 2. – С. 26–33.

38. Закирова, А.Р. Исследование энергетической нагрузки вблизи контактной сети / А.Р. Закирова, Ж.М. Буканов // Электробезопасность. – 2015. – № 2. – С. 33–37.

39. Закирова, А.Р. Электромагнитная безопасность на производстве / А.Р. Закирова, К.Б. Кузнецов, А.А. Матафонов // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии : сб. м-лов IV Международн. научн.-практ. конф. : в 2 т. / под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – Т. 1. – С. 143–149.

40. Закирова, А.Р. Электромагнитная безопасность на подвижном составе / А.Р. Закирова, А.Р. Арсланов // Комплексные проблемы техносферной безопасности : м-лы Международн. научн.-практ. конф. / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж, 2015. – Ч. V. – С. 62–66.

41. Закирова, А.Р. Электромагнитная безопасность процесса перевозок на тяговых агрегатах переменного тока / А.Р. Закирова // Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование : доклады Международн. научн.-практ. конф., посв. 110-летию горного факультета. – СПб, 2015. – С. 86.

42. Закирова, А.Р. Электробезопасность : практикум / К.Б. Кузнецов, А.Р. Закирова. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2017. – 86 с.

43. Закирова, А.Р. Моделирование магнитных полей на электроподвижном составе / А.Р. Закирова, А.Р. Арсланов // Актуальные проблемы, современное состояние, инновации в области техносферной безопасности : м-лы Международн. научн.-техн. конфе. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2017. – С. 412–418.

44. Закирова, А.Р. Оценка магнитных полей на электроподвижном составе / А.Р. Закирова, А.Р. Арсланов // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи : м-лы Всеросс. студ. конф. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2017. – С. 41–44.

45. Закирова, А.Р. Приборы контроля электромагнитных полей / А.Р. Закирова, Ж.М. Буканов // Интеграция образовательной, научной и воспитательной деятельности в организациях общего и профессионального образования : м-лы Международн. научн.-практ. конф. – Екатеринбург, 2017. – С. 54–57.

46. Закирова, А.Р. Доза низкочастотного электромагнитного поля и ее контроль / К.Б. Кузнецов, А.Р. Закирова, А.Р. Арсланов // Интеграция образовательной, научной и воспитательной деятельности в организациях общего и профессионального образования : м-лы Международн. научн.-практ. конф. – Екатеринбург, 2017. – С. 84–90.

47. Закирова, А.Р. Использование энергетических свойств электромагнитных полей для оценки их вредного воздействия на персонал / К.Б. Кузнецов, А.Р. Закирова, // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии : м-лы VII Международн. научн.-практ. конф. – Челябинск, 2019. – С. 87–93.

48. Закирова, А.Р. Новый метод оценки электромагнитных полей в электроподвижном составе / Закирова, А.Р. // Новые импульсы развития : вопросы научных исследований : м-лы II Международн. научн.-практ. конф. – Саратов, 2020. – С.146–150.

49. Закирова, А.Р. Метод оценки условной вероятности вредного воздействия на персонал энергетических характеристик ЭМП / Закирова, А.Р. // Результаты современных научных исследований и разработок : сб. ст. X Всеросси. научн.-практ. конф. – Пенза, 2020. – С. 43–46.

50. Закирова, А.Р. Метод нормирования электрических и магнитных полей до 1кГц / А.Р. Закирова // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности : сб. научн. ст. 8 Международн. научн. конф. – Казань, 2020. – С. 52–55.

51. Закирова, А.Р. Электробезопасность / А.Р. Закирова // Конспект лекций по дисциплине «Электробезопасность» для обучающихся по специальности 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог» всех форм обучения. – Екатеринбург : УрГУПС, 2021. – 96 с.

52. Закирова, А.Р. Анализ методов оценки уровней профессиональных рисков / А.Р. Закирова, И.Ф. Надыршин // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи : сб. м-лов VII Всеросси. студ. конф. с международным участием. – Челябинск, 2023. – С. 51–54.

53. Закирова, А.Р. Организация безопасной эксплуатации электроустановок / А.Р. Закирова // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии : м-лы VIII Международн. научн.-практ. конф. – Челябинск, 2024. – С. 35–40.

Работы [3–5, 9, 12, 15–17, 32–33, 36, 41, 48–50, 53] выполнены автором единолично. В работах, написанных в соавторстве, автору принадлежит 50 % от общего объёма научных публикаций. Имеются: практикум [42] и конспект лекций [51].

Перспективное направление деятельности работы.

Дальнейшие исследования будут посвящены усовершенствованию системы защиты персонала в соответствии с проектируемыми мощными электровозами переменного тока, развитию имитационного моделирования энергетических характеристик электромагнитных полей в кабине электроподвижного состава относительно разрабатываемых систем электроснабжения на железнодорожном транспорте, корректировке методического обеспечения.

Закирова Альфия Резавановна

**Система защиты
электротехнического персонала
при аддитивном воздействии
электрических и магнитных полей**

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

Специальность 2.10.3 – «Безопасность труда»

Подписано в печать 06.06.2025. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 2,0. Заказ 18. Тираж 100 экз.
УрГУПС, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66