

На правах рукописи



Пазуха Александр Александрович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ТРАВМИРОВАНИЯ РАЗВИТИЕМ И ВНЕДРЕНИЕМ
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

05.26.01 – Охрана труда (электроэнергетика)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2020

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

Научный руководитель – **Кузнецов Константин Борисович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО «УрГУПС»).

Официальные оппоненты:

Еремина Тамара Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры «Экология, недропользование и безопасность жизнедеятельности» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (ФГБОУ ВПО «ВСГУТУ»), г. Улан-Удэ;

Белинский Станислав Олегович, кандидат технических наук, доцент, заместитель технического директора по охране труда и промышленной безопасности ООО «СТМ-Сервис» холдинга АО «Синара - Транспортные Машины» группы СИНАРА, г. Екатеринбург.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ФГБОУ ВО «ПНИПУ»), г. Пермь.

Защита состоится « » 2020г., в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д212.298.05 при ФГАОУ «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по адресу: г. Челябинск, пр-т им. В.И. Ленина, 76, ауд. 1007.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» и на сайте ЮУрГУ:

<https://www.susu.ru>

Автореферат разослан « » 2020г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр-т им. В.И. Ленина, д.76, гл. корпус, Учёный совет ЮУрГУ, тел./факс: +7(351) 267-91-23, e-mail: grigorevma@susu.ru

Ученый секретарь диссертационного совета
Д212.298.05 д-р техн. наук, проф.

М.А. Григорьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Согласно статистике, ежегодно в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» при эксплуатации и ремонте устройств электрооборудования погибают работники энергетического комплекса от электрических травм. Только за восемь лет (2012-2019 г.) произошло 84 электротравмы из них 45 со смертельным исходом. На контактной сети, которая осуществляет непрерывный подвод энергии к движущимся электрическим локомотивам, произошло 36 электротравм из них 23 (41%) со смертельным исходом. Основными причинами случаев электрического травмирования работников энергетического комплекса, ежедневно обслуживающих устройства контактной сети, являются: неудовлетворительная организация работы, невыполнение технических мероприятий при работе в электроустановках (недостаточное или неполное количество отключений и числа установленных защитных переносных заземляющих устройств контактной сети, неправильное применение штанг для наложения переносного заземления и штанг для переноса и выравнивания потенциала).

Индивидуальный риск гибели работников при эксплуатации и ремонте устройств энергетического комплекса железнодорожного транспорта многократно превышает риск смертельного травмирования работников в электроустановках в целом по стране. Это говорит о чрезвычайной актуальности проблемы.

Актуальность проблемы подтверждается Политикой холдинга ОАО «РЖД» в области охраны труда и окружающей среды, промышленной и пожарной безопасности; программой реализации концепции «VizionZero» на период 2019-2021 г., а также стратегией научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга ОАО «РЖД») от 17.04.2018 г. Стратегия формирует основные мероприятия в области безопасности труда, предусматривает разработку и внедрение системы управления безопасностью труда и охраной здоровья на основе применения риск-менеджмента, направленного на предупреждение и сокращение производственного травматизма и профессиональных заболеваний, формирование корпоративной системы безопасности труда работников холдинга.

Одним из перспективных направлений снижения уровня электротравматизма электротехнического персонала электрифицированного транспорта является разработка и применение способов и технических средств контроля за процессом применения защитных переносных заземляющих устройств с изолирующими штангами для наложения заземления и штангами с устройствами для переноса и выравнивания потенциала на конструкциях высоковольтной контактной сети, а также создание методики их применения.

Развитие способов и технических средств защиты персонала железных дорог от электрического травмирования является актуальной задачей.

Степень разработанности темы исследования. Проблеме обеспечения безопасности при эксплуатации и ремонте устройств электрооборудования посвящено множество научных работ, таких ученых как: Б.А. Аржанников, В.Ф. Бухтояров, С.П. Власов, П.А. Долин, Т.В. Еремина, Я.А. Зельвянский, Р.Н. Карякин, Б.А. Князевский, А.В. Котельников, Е.С. Колечицкий,

А.Б. Косарев, Б.И. Косарев, А.А. Красных, К.Б. Кузнецов, В.П. Ларионов, Л.М. Макальский, В.Е. Манойлов, К.Г. Марквардт, В.Т. Медведев, А.В. Наумов, Л.О. Петри, А.И. Ревякин, Ю.Г. Сибаров, А.И. Сидоров, Е.Ф. Цапенко, Н.В. Шипунов, В.И. Шуцкий и другие.

Труды ученых направлены на совершенствование электробезопасности персонала при эксплуатации электроустановок, но при этом не рассматривались методики системы контроля заземляющих штанг с применением космического позиционирования, способы обеспечения электробезопасности при капитальном ремонте пути с заменой рельсошпальной решетки широким фронтом с использованием заземляющих контуров инфраструктуры.

Тема соответствует п.3 паспорта научной специальности 05.26.01 – Охрана труда (по отраслям): «Разработка методов контроля, оценки и нормирования опасных и вредных факторов производства, способов и средств защиты от них» и п.7 «Научное обоснование, конструирование, установление области рационального применения и оптимизация параметров способов, систем и средств коллективной и индивидуальной защиты работников от воздействия вредных и опасных факторов».

Целью диссертационной работы является совершенствование безопасности персонала от электрического травмирования при эксплуатации и ремонте электроустановок энергетического комплекса железнодорожного транспорта за счет развития и внедрения способов и технических средств защиты.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Выполнить оценку и анализ риска электрических травм электротехнического персонала при обслуживании электроустановок энергетического комплекса.

2. Применить логико-вероятностную модель защиты от индивидуального риска электрических травм персонала с использованием принципиально новых систем контроля при эксплуатации защитных заземляющих штанг и штанг для переноса и выравнивания потенциала, оценить уровень электрической безопасности персонала при использовании данных систем контроля.

3. Предложить методику системы контроля установки заземляющих штанг и штанг для переноса и выравнивания потенциала, обеспечивающую повышение уровня электрической безопасности при эксплуатации и ремонте электроустановок энергетического комплекса железнодорожного транспорта. Разработать способ и устройство защитного заземления контактной сети при капитальном ремонте пути с заменой рельсошпальной решетки широким фронтом, а также разработать методику обеспечения электробезопасности при появлении высокого напряжения на изолированной площадке железнодорожного транспортного средства.

4. Провести опытную эксплуатацию систем контроля применения переносных заземляющих штанг, обосновать выбор методики их применения по условиям минимизации риска травм электротехнического персонала. Определить социально-экономическую эффективность от внедрения разработанных методик и способов повышения уровня электробезопасности работников при

эксплуатации и ремонте электроустановок энергетического комплекса железнодорожного транспорта.

Область исследования – обеспечение электрической безопасности электротехнического персонала энергетического комплекса железных дорог.

Объект исследования – рабочие места персонала при эксплуатации и ремонте электроустановок энергетического комплекса железнодорожного транспорта.

Предмет исследования – закономерности оценки индивидуального риска электрического травмирования персонала на рабочем месте энергетического комплекса железнодорожного транспорта и разработка способов и технических средств защиты электротехнического персонала энергетического комплекса от электрического травмирования.

Научная новизна работы.

1. Произведено групповое исследование охраны труда по фактору электротравматизма с оценкой и анализом риска электрических травм электротехнического персонала энергетического комплекса железнодорожного транспорта при эксплуатации и ремонте электроустановок.

2. Реализовано построение модели полей опасных производственных факторов при анализе риска травмирования персонала на основе логико - вероятностного моделирования, что позволило представить совокупность событий, ведущих к электрическому травмированию работников при оценке принципиально новых методов контроля заземляющих штанг и штанг для переноса и выравнивания потенциала, определить степень повышения уровня безопасности и эффективность их применения.

3. Разработана и обоснована методика системы контроля заземляющих штанг и штанг для переноса и выравнивания потенциала, обеспечивающие высокий уровень электрической безопасности при эксплуатации и ремонте устройств электроснабжения энергетического комплекса железнодорожного транспорта. Обоснован и разработан защитный способ заземления контактной сети при капитальном ремонте пути с заменой рельсошпальной решетки широким фронтом.

4. Разработано и обосновано устройство, обеспечивающее электробезопасность персонала при появлении высокого напряжения на изолированной площадке железнодорожного транспортного средства.

5. Предложен метод оптимального выбора с использованием критерия Байеса - Лапласа при оценке варианта переносного заземляющего устройства контактной сети на основе использования критерия уровня электрической безопасности с учетом параметра вероятности возникновения электрической травмы.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Теоретическая значимость:

1. Осуществлены оценка, анализ, расчет риска электрических, включая смертельных, травм и индивидуального риска электротехнического персонала энергетического комплекса железнодорожного транспорта при эксплуатации и ремонте устройств электроснабжения.

2. Применена разработанная логико - вероятностная модель пространств воздействия опасных производственных факторов, на основе, которой осуществлена оценка степени риска травмирования персонала энергетического комплекса.

3. Использована на основе теории электрических цепей методика применения системы контроля при применении переносных заземляющих штанг и штанг для переноса и выравнивания потенциала, которая повышает уровень электрической безопасности персонала при эксплуатации и ремонте устройств электроснабжения железнодорожного транспорта.

4. На основе электротехнических закономерностей разработан новый способ защитного заземления отключенной контактной сети с использованием стационарных заземляющих устройств при производстве работ капитального ремонта пути с заменой рельсошпальной решетки широким фронтом.

Практическая значимость:

1. Впервые разработана система контроля применения переносных заземляющих штанг и штанг для переноса и выравнивания потенциала (переносное заземляющее устройство), использующая системы космического позиционирования, позволяющая осуществлять постоянный контроль за эффективностью установленных защитных заземляющих устройств.

2. Разработано новое устройство, обеспечивающее электробезопасность персонала при появлении высокого напряжения на изолированной площадке железнодорожного транспортного средства, позволяющее предотвращать случаи возникновения электрического травматизма и повышающее уровень электробезопасности персонала при эксплуатации и ремонте устройств электроснабжения энергетического комплекса железнодорожного транспорта.

Практическая значимость и новизна решений подтверждается получением патентов на изобретения и актом внедрения результатов научно-исследовательской работы.

Методология и методы исследования. В основу работы положены теоретические и экспериментальные исследования в реальных условиях эксплуатации.

Для решения поставленных теоретических задач использованы методы: экспериментальный, анализа данных, математическая статистика, теория вероятности, теория нечетких множеств, основные законы электротехники, теория выбора решений и применение классического критерия Байеса – Лапласа.

Расчеты, математическое моделирование, графическое построение проводились на ПЭВМ: в программной среде MathCAD, MSWord, MSExcel, MSVisio. Экспериментальные исследования проведены на реальном опытном образце контролирующего устройства применения переносных заземляющих штанг контактной сети в полигонных условиях на путях общего пользования ОАО «РЖД».

Положения, выносимые на защиту:

1. Выводы по оценке риска на основе статистических исследований электрических травм электротехнического персонала энергетического комплекса железнодорожного транспорта при эксплуатации и ремонте электроустановок.

2. Логико - вероятностная модель полей опасных производственных факторов, на основе которой осуществлена оценка степени риска электротравмирования персонала при использовании переносных заземляющих штанг и штанг для переноса и выравнивания потенциала, использующая системы космического позиционирования и позволяющая осуществлять постоянный контроль за эффективностью работы защитных заземляющих устройств.

3. Методика системы контроля переносных заземляющих штанг и штанг для переноса и выравнивания потенциала.

4. Способ защитного заземления контактной сети при производстве работ по капитальному ремонту пути с заменой рельсошпальной решетки широким фронтом.

5. Методика обеспечения электробезопасности при появлении высокого напряжения на изолированной площадке железнодорожного транспортного средства.

Степень достоверности и апробация результатов.

Степень достоверности результатов определяется корректным применением методов: экспериментальных исследований, анализа данных, математической статистики, теории вероятностей, теории нечетких множеств, основных законов электротехники, теории выбора решений и применение классического критерия Байеса – Лапласа и проведение экспериментальных исследований.

Результаты работы с целью ее реализации переданы в **ОАО «РЖД» в Департамент охраны труда, промышленной безопасности и экологического контроля.**

Степень апробации результатов диссертационной работы подтверждается актом внедрения и опытом эксплуатации системы контроля применения изолирующих штанг с переносным заземляющим устройством, оборудованным системой позиционирования, на действующем полигоне Свердловской железной дороги.

Апробация результатов исследования. Основные положения диссертационной работы докладывались на Международной научно-технической конференции «Инновационный транспорт-2016: специализация железных дорог» (Екатеринбург, 2016), на IV-й Всероссийской студенческой конференции (с Международным участием) «Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи» (Челябинск 2017), на Региональной научно-практической конференции «Транспорт Урала –2018» (Екатеринбург, 2018); на V Всероссийской студенческой конференции (с международным участием) «Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи» (Челябинск 2019); на VII Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии» (Челябинск 2019); на Международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» (Севастополь 2019), на Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт Урала –2019» (Екатеринбург, 2019), на Международной научно-практической конференции «Инновации в транспорте. Управление, экономика, безопасность» (Екатеринбург, 2020), на семинаре аспирантов кафедры «Безопасность жизнедеятельности» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ» (Челябинск, 2020).

Результаты диссертационной работы в полном объеме заслушаны и одобрены на заседании кафедры «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «УрГУПС» (Екатеринбург, 2020).

Публикации. Основные положения диссертационной работы отражены в 15 печатных работах, в том числе 9 работах опубликованы в изданиях, входящих в «Перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций», 5 статей (из них 1 статья индексируемая Scopus) и 4 патента на изобретения.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа представлена на 220 страницах, содержит 167 страниц основного текста, 66 рисунков, 20 таблиц и 8 приложений на 53 страницах, 131 наименование библиографического списка, включая 11 наименований иностранных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена актуальность представленной диссертационной работы, определены цели и основные задачи, сформулированы объект и предмет исследования, а так же научная новизна и практическая ценность.

В первой главе проведено групповое исследование электротравматизма с оценкой и анализом риска электрических травм электротехнического персонала энергетического комплекса железнодорожного транспорта при эксплуатации и ремонте электроустановок.

Индивидуальный риск гибели работников энергетического комплекса ОАО «РЖД» во время трудовой деятельности на два порядка превышает риск смертельного природного воздействия на человека, который принимается в качестве предельно допустимого в настоящее время у нас в стране, так и за рубежом $1 \cdot 10^{-6}$ чел. / год. (Рисунок 1).

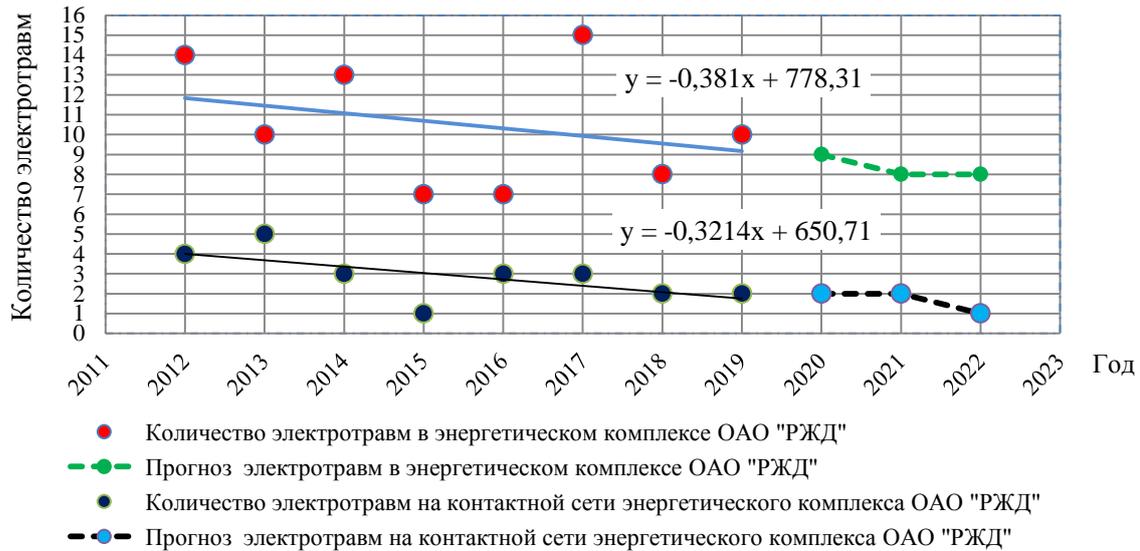


Рисунок 1– Индивидуальный риск гибели работников энергетического комплекса ОАО «РЖД» во время трудовой деятельности 2012–2019 гг.

Среднее значение индивидуального риска гибели работников при обслуживании и ремонте устройств контактной сети во время трудовой деятельности составило $127 \cdot 10^{-6}$ чел./год, что многократно превышает риск смертельного природного воздействия на человека, принятого в качестве предельного для технических систем.

Статистический метод анализа травматизма показал, что в целом по энергетическому комплексу ОАО «РЖД», так и по отдельным отраслям, к примеру, контактная сеть, тяговые подстанции, отсутствует тенденция снижения коэффициентов частоты, тяжести и частоты смертельного травматизма за рассматриваемый период.

При применении методики краткосрочного прогнозирования электротравматизма, результаты которой так же не подтверждают значительного снижения случаев электрического травмирования электротехнического персонала (Рисунок 2).



Анализ распределения основных причин электротравматизма на устройствах контактной сети с 2012 по 2019 гг. подтвердил целесообразность совершенствования и разработки способов и технических средств защиты персонала от электрического травмирования.

Рисунок 2—Прогноз количества электрических травм в период с 2020 по 2022 гг.

Во второй главе разработана модель событий опасных производственных факторов на основе построения логико-вероятностной модели (Рисунок 3), расшифровка включенных в нее событий – таблице 1.

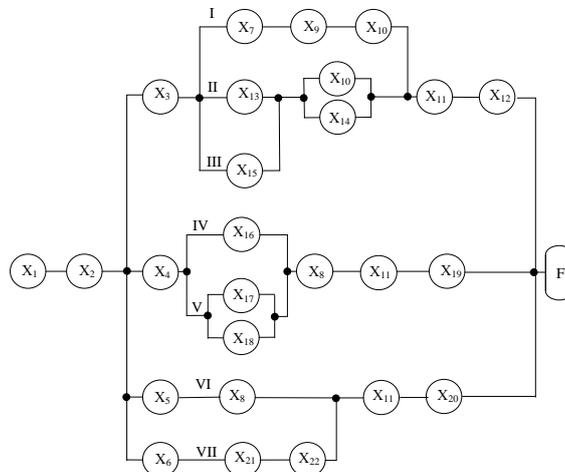


Рисунок 3 — Структурная схема логико - вероятностной модели возникновения электрической травмы при эксплуатации и ремонте контактной сети

Таблица 1 – Элементы логико - вероятностной модели возникновения электрической травмы при эксплуатации и ремонте контактной сети

Группы событий	Обозначения	Содержание события
Событие, связанное с эксплуатацией и ремонтом устройств электроснабжения контактной сети	X ₁	Эксплуатация и ремонт устройств контактной сети
	X ₃	Выполнение работ со снятием напряжения и заземлением
	X ₄	Выполнение работ под напряжением
	X ₅	Выполнение работ вблизи токоведущих частей
	X ₆	Выполнение работ вдали токоведущих частей
События, связанные с получением электрической травмы	X ₂	Невыполнение организационных мероприятий
	X ₇	Недостаточное количество отключений
	X ₈	Не применение электротехнических средств
	X ₉	Не применение переносных устройств заземления
	X ₁₀	Ошибочная подача напряжения
	X ₁₁	Не применение средств индивидуальной защиты
	X ₁₂	Прикосновение к токоведущим частям
	X ₁₃	Недостаточное количество переносных устройств заземления
	X ₁₄	Наведенное напряжение при работе на контактной сети переменного тока
	X ₁₅	Нарушение порядка заземления и снятия переносных устройств заземления
	X ₁₆	Расширение места работы
	X ₁₇	Не использование шунтирующих штанг
	X ₁₈	Не снятие шунтирующей штанги
	X ₁₉	Прикосновение к разно потенциальным элементам
	X ₂₀	Прикосновение к заведомо находящимся частям под напряжением
	X ₂₁	Не применение шунтирующих перемычек
	X ₂₂	Несоблюдение допустимого расстояния до токоведущих частей
Конечное событие	F	Получение электрической травмы при эксплуатации и ремонте контактной сети

В соответствии с логико-вероятностной моделью, вероятность получения электротравмы при работе на контактной сети по категории работ со снятием напряжением и заземлением рассчитывается по формуле:

$$\tilde{P}_1(F) = \tilde{p}_3 [1 - (1 - \tilde{p}_9) \cdot (1 - \tilde{p}_{13}) \cdot (1 - \tilde{p}_{15})] \times [1 - (1 - \tilde{p}_7) \cdot (1 - \tilde{p}_{10}) \cdot (1 - \tilde{p}_{14})] \tilde{p}_{11} \cdot \tilde{p}_{12}, \quad (1)$$

где $\tilde{P}_1(F)$ – вероятность возникновения электротравмы;

$\tilde{p}_3, \tilde{p}_7, \tilde{p}_9, \tilde{p}_{10}, \tilde{p}_{11}, \tilde{p}_{12}, \tilde{p}_{13}, \tilde{p}_{14}, \tilde{p}_{15}$ – нечеткие вероятности событий.

Вероятность возникновения электротравмы F представляет собой нечеткое число: $(0,3 \cdot 10^{-4}; 2,7 \cdot 10^{-4}; 6,0 \cdot 10^{-4})$.

Значения функции принадлежности в точках из интервала $(0,3 \cdot 10^{-4}; 6,0 \cdot 10^{-4})$ и ее график (Рисунок 4) позволяют утверждать, что вероятность

возникновения получения электрической травмы по категории работ со снятием напряжения и заземлением равна $\approx 2,7 \cdot 10^{-4}$ чел./год.

Разработанная логико-вероятностная модель соответствует реальным условиям, что проверено с использованием статистики травматизма.

Для повышения уровня электрической безопасности рассмотрим применение контролирующего устройства.

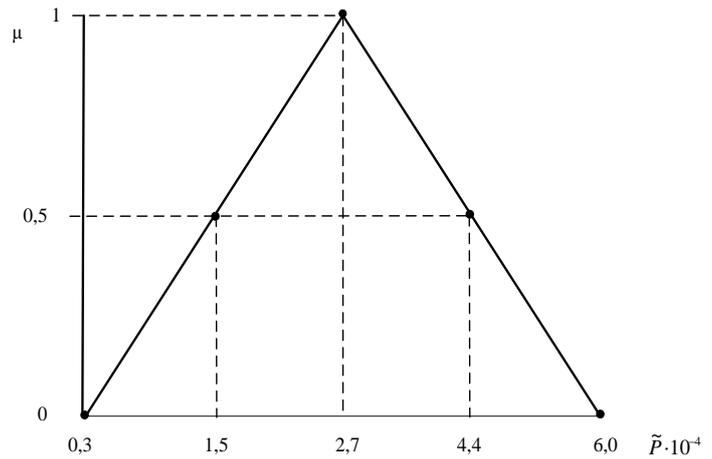


Рисунок 4 – Функция принадлежности вероятности $\tilde{P}_1(F)$

Элементы X_{23} , X_{24} , X_{25} (таблица 2) добавлены после установки заземляющих штанг, так как контролирующее устройство фиксирует и информирует об их применении причастных работников.

Таблица 2 – Элементы логико-вероятностной модели возникновения электрической травмы на контактной сети при снятии напряжения и заземлении

Событие	Содержание
X_{23}	Нет или неисправно контролирующее устройство
X_{24}	Не распознан сигнал о состоянии заземляющей штанги
X_{25}	Производитель работ не оснащен пультом контролирующего устройства (автоматизированное рабочее место энергодиспетчера не функционирует с GPS-трекером (или ГЛОНАСС-трекером))

Вероятность получения электрической травмы по категории работ со снятием напряжения и заземлением с применением контролирующего устройства рассчитывается по формуле:

$$\tilde{P}_2(F) = \tilde{p}_3 [1 - (1 - \tilde{p}_9) \cdot (1 - \tilde{p}_{13}) \cdot (1 - \tilde{p}_{15})] \cdot \{1 - (1 - \tilde{p}_{23}) \cdot (1 - \tilde{p}_{24} \cdot \tilde{p}_{25})\} \times [1 - (1 - \tilde{p}_7) \cdot (1 - \tilde{p}_{10}) \cdot (1 - \tilde{p}_{14})] \cdot \tilde{p}_{11} \cdot \tilde{p}_{12}, \quad (2)$$

где $\tilde{P}_2(F)$ – вероятность возникновения электрической травмы при эксплуатации контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением при использовании системы контроля;

$\tilde{p}_3, \tilde{p}_7, \tilde{p}_9, \tilde{p}_{10}, \tilde{p}_{11}, \tilde{p}_{12}, \tilde{p}_{13}, \tilde{p}_{14}, \tilde{p}_{15}, \tilde{p}_{23}, \tilde{p}_{24}, \tilde{p}_{25}$ – нечеткие вероятности событий.

Получена кратность нечеткой вероятности, которая характеризует уровень повышения электрической безопасности:

$$\tilde{K}_{пуэ} = (3; 13; 24).$$

Моделирование показало, что применение контролирующего устройства при эксплуатации контактной сети по категории работ со снятием напряжения

и заземлением снижает индивидуальный риск гибели работников в 13 раз (до $2,0 \cdot 10^{-5}$ чел./год).

Опыт работы, характеризуемый статистикой электрического травматизма, показал недостаточность применяемых технических мер в части заземления воздушных линий, контактной сети при капитальном ремонте пути с разрывом рельсовой сети со снятой рельсошпальной решеткой при подготовке рабочего места. В технических операциях этой технологии, также как и в ряде других случаев, допускается использовать специальный переносный искусственный заземлитель, погружаемый в грунт механическим способом.

Накладываемые на месте работ переносные заземления, присоединенные к этому специальному заземлителю, погруженному в грунт на глубину не менее 0,5м (при капитальном ремонте пути не менее 1м), в большинстве случаев не защищают работающих от поражения электрическим током. Это происходит из-за возникающего высокого потенциала заземлителя и большой разницы потенциалов удаленных от него точек, в частности при ошибочной либо самопроизвольной подаче напряжения.

Существенным недостатком специального (искусственного) заземлителя является то, что сопротивление растеканию тока не измеряется и, как правило, оно превышает нормируемое значение.

Предложен принципиально новый способ применения защитного заземления контактной подвески при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой, который защитит персонал от поражения электрическим током (Рисунок 5).

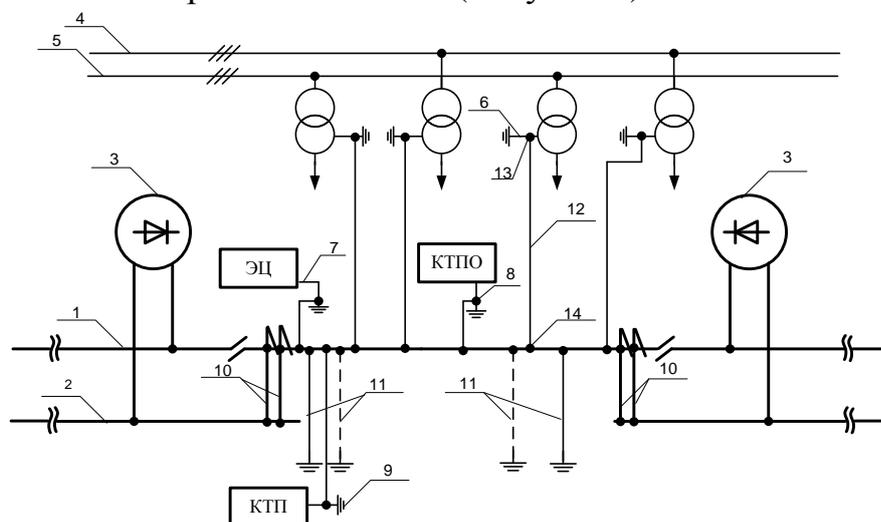


Рисунок 5 – Схема осуществления способа защитного заземления контактной сети при замене рельсошпальной решетки широким фронтом

На рисунке 5 представлено: 1 – контактная подвеска; 2 – рельсы; 3 – тяговая подстанция; 4 – воздушных линий продольного электроснабжения; 5 – воздушных линий автоблокировки; 6 – заземляющий контур сигнальной точки; 7 – заземляющий контур поста электрической сигнализации; 8 – заземляющий контур комплектной трансформаторной подстанции однофазной; 9 – заземляющий контур комплектной трансформаторной подстанции; 10 – заземляющие штанги контактной сети; 11 – искусственные заземлители; 12 – заземляющие провод-

ники; 13 – зажимы типа КС-054; 14 – зажимы типа КС-053.

Принцип способа заключается в дополнительном заземлении контактной подвески на стационарные заземляющие контуры: сигнальных точек, постов электрической централизации, комплектных трансформаторных подстанций, комплектных однофазных трансформаторных подстанций сигнальных точек и на естественные контуры искусственных сооружений.

В системе электроснабжения постоянного тока действующего перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш Свердловской железной дороги применен предложенный метод защитного заземления контактной подвески при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой, который показал снижение расчетного возможного тока, проходящего в аварийном режиме по телу человека с 0,183 А до 0,054 А.

В третьей главе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на создание систем контроля применения изолирующих штанг, способа защитного заземления контактной подвески при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой, способа защиты работника при попадании высокого потенциала на изолированную рабочую площадку железнодорожного транспортного средства.

Разработаны схемы, конструкции, методики эксплуатации, контролирующих устройств применения переносных заземляющих штанг контактной сети. Переносная заземляющая штанга оснащена контролирующим устройством с автономным пультом (Рисунок 6). На рисунке 6 показано: 1 – изолирующая часть; 2 – токопроводящая труба; 3 – крюк; 4 – усовик; 5 – фиксирующая пружина; 6 – контролирующее устройство; 7 – хомут крепления; 8 – кнопка включения; 9 – светодиод; 10 – заземляющий трос; 11 – контактный провод; 12 – крючки; 13 – автономный пульт; 14 – радиосигнал. Передача информации о применении переносного заземляющего устройства осуществляется по радиосигналу (дальностью до 1000 метров) от контролирующего устройства на автономный пульт, который находится у производителя работ (Рисунок 7). Производитель работ получает также световую сигнализацию о применении переносного заземляющего устройства. Далее по усмотрению руководителя дистанции электроснабжения ежедневно или ежемесячно с нарядами - допусками сдается отчет о применении переносных заземляющих штанг контактной сети специалисту по охране труда или инженеру - диспетчеру. Отчет содержит информацию о дате, времени снятия и установки переносной заземляющей штанги и ее порядковом номере.

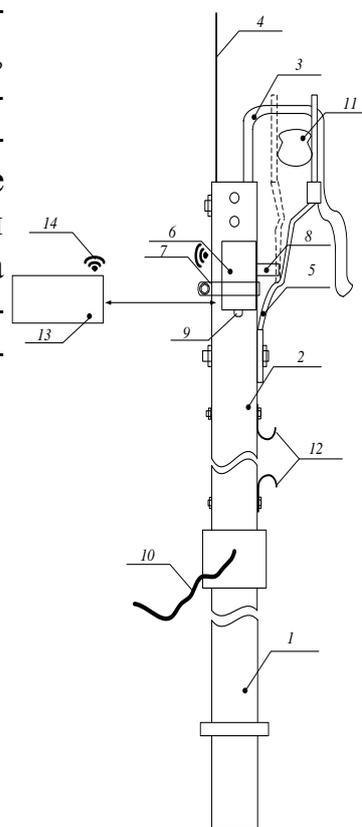


Рисунок 6 – Переносная заземляющая штанга, оснащенная контролирующим устройством с автономным пультом

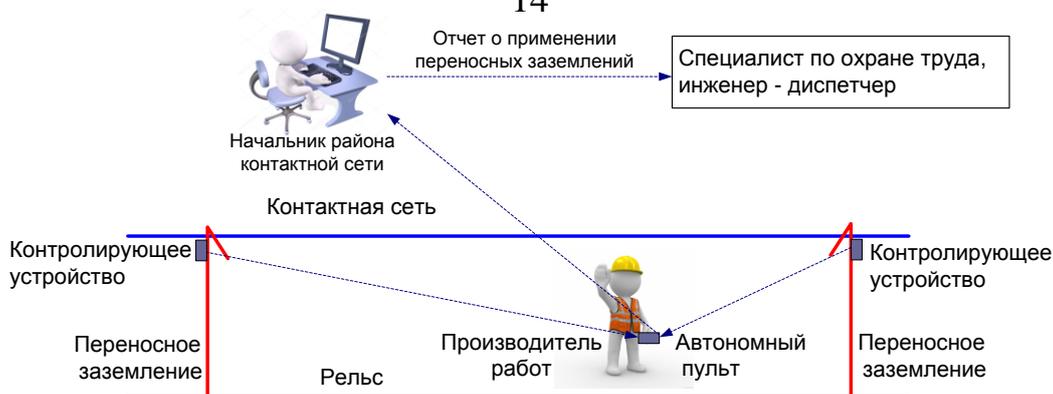


Рисунок 7 – Схема передачи информации о применении переносного заземляющего устройства с помощью контролирующего устройства с автономным пультом

Передача информации о применении переносного заземляющего устройства осуществляется в режиме реального времени при космическом позиционировании с помощью контролирующего устройства с GPS-трекером (или ГЛОНАСС-трекером) (Рисунок 8). GPS-трекер (или ГЛОНАСС-трекер) передает информацию о времени и координатах местонахождения с точностью до 2-5 метров применения переносного заземляющего устройства в энергодиспетчерский пункт в режиме реального времени. Переданные данные преобразовываются, контролируются и записываются в энергодиспетчерском пункте.



Рисунок 8 – Схема передачи информации о применении переносного заземляющего устройства с помощью контролирующего устройства с GPS-трекера (или ГЛОНАСС-трекера)

Разработаны схема, конструкция, методика применения устройства обеспечения электрической безопасности при непредвиденном появлении высокого напряжения на изолированной площадке железнодорожного транспортного средства и при наличии там работающего персонала (Рисунок 9). На рисунке 9 показано: 1 – железнодорожное транспортное средство; 2 – рабочая площадка; 3 – опорная рама; 4 – механизмы подъема; 5 – механизмы поворота; 6 – опорные изоляторы; 7 – нейтральная переходная площадка; 8 – лестница; 9,13 – модуль; 14 – кабина железнодорожного транспортного средства; 18 – звуковая информационная сигнализация; 19 – заземляющий токоприемник; 20 – контактный провод.

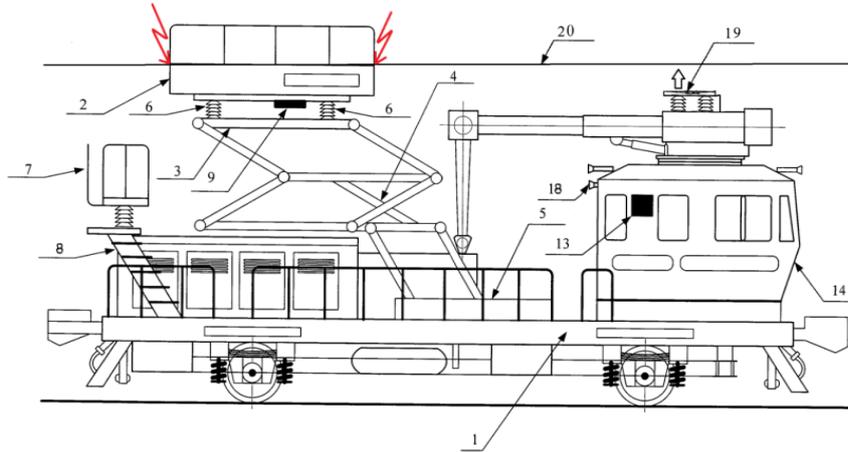


Рисунок 9 – Подъемное устройство для обслуживания и ремонта контактной сети

Принцип работы заключается в следующем: при непредвиденном появлении на изолированной рабочей площадке потенциала высокого напряжения срабатывает датчик наличия высокого напряжения, сигнал от которого передается в блок преобразования и передачи информации по радиочастоте, на основе полученной информации в блоке формируется кодированный сигнал на радиочастоте для передачи его в блок приема информации и ее преобразования. В случае приема сигнала блоком приема информации о наличии потенциала высокого напряжения на изолированной рабочей площадке в блоке информация преобразуется и происходит замыкание контактов, которые управляют контактной группой блока коммутации. Вследствие этого происходит срабатывание сигнализаций на световом табло и звуковой информационной сигнализации на палубе железнодорожного транспортного средства. Срабатывание контактов в блоке коммутации вызывает срабатывание короткозамыкателя заземляющего токоприемника, который, через определенное время, поднимается и электрически соединяется с контактным проводом, тем самым выравнивая опасную разность потенциалов. Блок преобразования и передачи информации в стандарте GSM формирует сигнал вызова на сотовый телефон заданного абонента. Входящий вызов на сотовый телефон заданного абонента идентифицируется как факт возникновения потенциала высокого напряжения на изолированной рабочей площадке железнодорожного транспортного средства.

В четвертой главе разработаны методики оценки эффективности, разработанных способов и систем контроля обеспечения безопасных условий труда при производстве работ на устройствах контактной сети энергетического комплекса.

Обоснованы требования к числу защитных переносных заземляющих штанг контактной сети при производстве работ на контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением, а также к максимально допустимому расстоянию между ними.

Доказана техническая и экономическая эффективность от внедрения разработанного способа защитного заземления контактной сети при капитальном ремонте пути с заменой рельсошпальной решетки широким фронтом. Приведенные затраты при заземлении контактной подвески перегона ст. Комарихин-

ская – ст. Кутамыш при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» на контуры сигнальных точек балансодержателями которых являются дистанция электроснабжения и дистанция сигнализации, централизации и блокировки по предлагаемому способу составили 353 730,3 руб., а при заземлении контактной подвески на искусственные заземлители по существующим технологиям составили 504 441,7 руб.

Предложен метод оптимизации с использования критерия Байеса - Лапласа при выборе оптимального варианта переносного заземляющего устройства контактной сети, включающий выбор оптимального варианта с учетом уровня электрической безопасности и введением параметра вероятности возникновения электрической травмы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе представлено новое решение актуальной научно-технической задачи по снижению индивидуального риска электрического травмирования электротехнического персонала при обслуживании устройств энергетического комплекса железной дороги разработкой и внедрением новых способов и систем контроля технических средств, обеспечивающих повышение уровня электробезопасности. Изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, способствующие к снижению индивидуального риска электрического травмирования работников энергетического комплекса. Выполненные исследования позволили получить следующие основные результаты и сделать выводы:

1. Проведено с помощью группового метода исследования электротравматизма с оценкой и анализом риска электрических травм электротехнического персонала при обслуживании устройств энергетического комплекса. Среднее значение индивидуального риска гибели работников при обслуживании и ремонте устройств контактной сети во время трудовой деятельности составило $127 \cdot 10^{-6}$ чел./год, что многократно превышает риск смертельного природного воздействия на человека. Выделены наиболее весомые причины электротравматизма на контактной сети, такие как сознательный отказ работников от установки изолирующих штанг на месте работ (14% от всех электрических травм на контактной сети), нарушения требований охраны труда при применении изолирующих штанг (5% от всех электрических травм на контактной сети).

2. Разработана логико-вероятностная модель возникновения электрической травмы при эксплуатации контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением. Логико-вероятностная модель соответствует реальным условиям, что основано на применении реальных статистических данных электротравматизма в энергетическом комплексе ОАО «РЖД». Проведен расчет вероятности возникновения электрической травмы с помощью теории нечетких множеств при применении контролирующего устройства, который показал, что уровень электробезопасности при работе на контактной сети электротехнического персонала по категории работ со снятием напряжения и заземлением можно снизить в 13 раз.

3. Разработана, обоснована и внедрена методика систем контроля переносных заземляющих устройств на изолирующих штангах, обеспечивающих

высокий уровень электробезопасности при эксплуатации и ремонте устройств энергетического комплекса железнодорожного транспорта.

4. Разработан и обоснован защитный способ обеспечения электробезопасности работников энергетического комплекса при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой.

5. Разработана схема, конструкция, методика применения устройства обеспечения электробезопасности при появлении высокого напряжения на изолированной площадке железнодорожного транспортного средства.

6. Создан опытный образец контролирующего устройства применения переносной заземляющей штанги контактной сети. Выполнены исследования и испытания на действующем полигоне Свердловской железной дороги. Теоретически и практически подтверждена возможность применения контролирующего устройства. Контролирующее устройство применения переносной заземляющей штанги контактной сети внедрено в Чусовской дистанции электроснабжения Свердловской железной дороги.

7. Разработана методика оценки эффективности разработанных способов и систем контроля обеспечения безопасных условий труда при производстве работ на устройствах контактной сети.

8. Выполнено моделирование реализации способа защитного заземления контактной сети при капитальном ремонте пути с заменой рельсошпальной решетки широким фронтом на действующем перегоне ст. Комарихинская – ст. Кутамыш Свердловской железной дороги. Доказана техническая и экономическая эффективность применение способа защитного заземления контактной сети при замене рельсошпальной решетки широким фронтом.

9. Реализован метод критерия Байеса – Лапласа при выборе оптимального варианта переносного заземляющего устройства контактной сети на основе оценки уровня электробезопасности с введением параметра вероятности возникновения электрической травмы.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные публикации по теме диссертации в журналах, рекомендованных ВАК (для спец. 05.26.01):

1. Кузнецов, К.Б. Обеспечение функциональной надежности заземляющих штанг и шунтирующих перемычек контактной сети / К.Б. Кузнецов, А.А. Пазуха // Вестник УрГУПС.– №3(39). – 2018. – С 98- 105.

2. Кузнецов, К.Б. Оценка на основе теории нечетких множеств эффективности защитных заземляющих устройств при эксплуатации контактной сети / К.Б. Кузнецов, А.А. Пазуха // Вестник УрГУПС.– №4(44). – 2019. – С 101 – 111.

3. Пазуха, А.А. Повышение уровня электробезопасности на контактной сети за счет создания новых знаков безопасности труда // Вестник УрГУПС.– №2(46). – 2020. – С 103 – 109. DOI: 10.20291/2079-0392-2020-2-103-109.

Статьи, индексируемые Scopus (для спец. 05.26.01):

4. Kuznetsov, K.B. Optimal Choice of the Portable Grounding Device for the Contact Network based on the Bayes – Laplace Criterion / K.B. Kuznetsov,

А.А. Pazukha// «BezopasnostTruda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2020, № 3, pp. 71–76. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-3-71-76.

Патенты на изобретения:

5. Пат. 2672041 Российская Федерация, МПК G01R19/155 Переносная заземляющая штанга/ Кузнецов К.Б., **Пазуха А.А.**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «УрГУПС». - №2017138888; заявл. 08.11.2017; опубл. 08.11.2018, Бил.№31. – 10 с. : ил.

6. Пат. 2714276 Российская Федерация, МПК В60М1/28 Способ защитного заземления контактной сети при замене рельсо-шпальной решетки широким фронтом / Кузнецов К.Б., **Пазуха А.А.**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «УрГУПС». - № 201911693; заявл. 31.05.2019; опубл. 13.02.2020, Бил.№5. – 8 с. : ил.

7. Пат. 2714282 Российская Федерация, МПК H01R 4/66 Переносное заземляющее устройство / Кузнецов К.Б., **Пазуха А.А.**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «УрГУПС». – №2019107627; заявл. 18.03.2019; опубл. 13.02.2020, Бил.№5. – 8 с. : ил.

8. Пат. 2729096 Российская Федерация, МПК В61D 15/12 Подъемное устройство для обслуживания и ремонта контактной сети / Кузнецов К.Б., **Пазуха А.А.**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «УрГУПС». – № 2019118693; заявл. 14.06.2019; опубл. 04.08.2020, Бил.№22. – 10 с. : ил.

Публикации в периодических изданиях:

9. **Пазуха, А.А.** Влияние периодов суток на безопасность труда при обслуживании и ремонте устройств контактной сети // Транспорт Урала.– №1 (64). – 2020. – С 110 – 113. DOI: 10.20291/1815-9400-2020-1-110-113.

10. Кузнецов, К.Б. Повышение уровня электробезопасности персонала усилением контроля процесса завешивания и снятия заземляющих штанг и шунтирующих перемычек контактной сети / Кузнецов К.Б., **Пазуха А.А.** // Безопасность и охрана труда на железнодорожном транспорте №1/2018. – с 15- 21.

Материалы конференций:

11. Кузнецов, К.Б. Защита персонала при капитальном ремонте железнодорожного пути от поражения электрическим током / К.Б. Кузнецов, В.А. Вербицкий, **А.А. Пазуха** // Инновационный транспорт – 2016: специализация железных дорог: м-лыМеждународ. Науч.-практ. Конф. – Екатеринбург: УрГУПС, 2017. – Вып.8 (227). – С 512-520.

12. Кузнецов, К.Б. Защита персонала при капитальном ремонте железнодорожного пути со снятой рельсо – шпальной решеткой от поражения электрическим током / К.Б. Кузнецов, В.А. Вербицкий, **А.А. Пазуха** // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: сборник материалов IV-й Всероссийской студенческой конференции (с международным участием) Челябинск, 18-19 апр. 2017г./: Издательский центр ЮУрГУ. – Челябинск, 2017. С 81-85.

13. Кузнецов, К.Б. Оценка и анализ риска электротравматизма на энергетическом комплексе ОАО «РЖД» / К.Б. Кузнецов, **А.А. Пазуха** // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: сборник материалов V Всероссийской студенческой конференции (с международным участием): в 2 т. / под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2019. – Т. 1. С 125-131.

14. Кузнецов, К.Б. Логико - вероятностная модель возникновения электротравмы при эксплуатации контактной сети / К.Б. Кузнецов, **А.А. Пазуха**// Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019 : сборник статей по материалам международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» (23 – 26 сентября 2019 г.) / под ред. Л. И. Лукиной, Н. В. Ляминой. – Севастополь: СевГУ, 2019. – С 892-896.

15. **Пазуха, А.А.** Оценка и сравнительный анализ изолирующих штанг для наложения заземления на контактную сеть // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии : сборник материалов VII Международной студенческой конференции / под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2019. – С 124-130.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРА

Состоит в постановке задач исследования, доказательстве научных положений, разработке модели полей опасных производственных факторов, совершенствовании и разработке способов и технических средств защиты персонала от электрических травм при эксплуатации и ремонте устройств энергетического комплекса. Статьи [3, 9, 16] подготовлены единолично. Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем: [1] – оценен индивидуальный риск гибели работников во время трудовой деятельности в энергетическом комплексе ОАО «РЖД», предложено техническое решение автоматизации контроля за процессом завешивания, снятия и состоянием контакта заземляющей штанги контактной сети; [2] – разработана логико-вероятностная модель, позволяющая оценить вероятность электрической травмы при производстве работ на контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением, выполнен расчет вероятности электрического травмирования электротехнического персонала при работах на контактной сети со снятием напряжения и заземлением без применения и с применением системы контроля функциональных свойств защитных заземляющих устройств с помощью теории нечетких множеств; [4] – предложен метод использования критерия Байеса – Лапласа при выборе оптимального варианта переносного заземляющего устройства контактной сети, проведена оценка переносных заземляющих устройств по уровню электробезопасности, обосновано определение наилучших вариантов; [5] – предложено контролирующее устройство с автономным пультом; [6] – предложен способ защитного заземления контактной сети при замене рельсошпальной решетки широким фронтом; [7] – предложено контролирующее устройство с GPS-трекером (или ГЛОНАСС-трекером); [8] – предложено устройство обеспечения электробезопасности при появлении высокого напряжения на изолированной площадке железнодорожного транспортного средства.

Пазуха Александр Александрович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ТРАВМИРОВАНИЯ РАЗВИТИЕМ И ВНЕДРЕНИЕМ
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

05.26.01 – Охрана труда (электроэнергетика)

Подписано в печать « »

2020

Формат 60 x 84 1/16.
Тираж 100 экз.

Усл. печ. л. 1,2.

Заказ .

УрГУПС, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66