

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный университет путей сообщения»

На правах рукописи

Пазуха Александр Александрович

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

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук,
профессор Кузнецов К.Б.

Екатеринбург – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА ОТ РИСКА ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАВМ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ УСТРОЙСТВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	15
1.1 Оценка и анализ риска электрических травм электротехнического персонала при обслуживании устройств энергетического комплекса	16
1.2 Статистические показатели электротравматизма в энергетическом комплексе ОАО «РЖД».....	31
1.3 Опасные и вредные факторы, связанные с эксплуатацией устройств энергетического комплекса.....	41
1.4 Анализ переносных защитных заземлений, применяемых на контактной сети электротехническим персоналом энергетического комплекса, пути развития эффективности.....	46
1.4.1 Отечественные переносные защитные заземления, применяемые при эксплуатации контактной сети энергетического комплекса	47
1.4.2 Зарубежные переносные защитные заземления, применяемые при эксплуатации контактной сети.....	50
1.5 Пути развития эффективности переносных защитных заземлений	54
Выводы по первой главе.....	56
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РИСКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАВМ ПЕРСОНАЛА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ ОАО «РЖД»	58
2.1 Прогнозирование параметров состояния опасных ситуаций и опасных зон при эксплуатации и ремонте контактной сети	59

2.2 Применение теории нечетких множеств с целью прогнозирования электроопасных ситуаций	64
2.3 Разработка математической модели возникновения несчастного случая при работах на контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением	68
2.4 Выявление способов снижения риска электрических травм персонала применением системы контроля переносных заземляющих штанг	71
2.5 Расчет уровня электробезопасности персонала за счет внедрения системы контроля применения переносных заземляющих штанг	74
2.6 Теоретические исследования электрических процессов на участке контактной сети со снятой рельсошпальной решеткой	75
2.6.1 Анализ существующих способов заземления рельсовой сети при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона»	84
2.6.2 Расчет параметров рельсовой сети с использованием защитного способа заземления контактной подвески на заземляющие контуры инфраструктуры	93
Выводы по второй главе	98
3 РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСЛОВИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ И СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ	99
3.1 Основные этапы по созданию систем контроля для повышения эффективности применения переносных защитных заземляющих устройств с изолирующими штангами	100
3.2 Методика проведения экспериментальных исследований работоспособности и эффективности системы контроля применения защитных заземляющих штанг	104
3.3 Разработка методики обеспечения электробезопасности при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона»	111

3.4 Методика обеспечения электробезопасности при появлении высокого напряжения на изолированной площадке железнодорожного транспортного средства	113
3.5 Опытная эксплуатация систем контроля применения переносных защитных заземляющих штанг	117
3.6 Поиск путей повышения эксплуатационных характеристик и расширения функциональных возможностей систем контроля	119
Выводы по третьей главе.....	128
4 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ, РАЗРАБОТАННЫХ СПОСОБОВ И СИСТЕМ КОНТРОЛЯ, ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ БЕЗОПАСНОСТИ	129
4.1 Выбор методики применения, разработанных способов и систем контроля, по условиям минимизации риска травм электротехнического персонала.....	130
4.2 Оценка показателей методики по фактору электробезопасности.....	131
4.3 Оценка показателя оптимального выбора по фактору надежности технических средств	139
4.4 Оценка экономических показателей системы.....	141
4.5 Методика оптимального выбора переносного заземляющего устройства по методу Байеса – Лапласа с учетом риска.....	146
Выводы по четвертой главе.....	151
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	156
Приложение А Анализ случаев электрического травмирования работников энергетического комплекса ОАО «РЖД» с 2012 по 2020 г. ..	171
Приложение Б Каталог изолирующих и шунтирующих штанг, применяемых на контактной сети железных дорог.....	189
Приложение В Результаты расчетов вероятности возникновения электрической травмы при эксплуатации контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением без использования и при	

	использовании контролирующего устройства применения переносных заземляющих штанг	199
Приложение Г	Протокол измерения сопротивления заземляющих устройств на перегоне Комарихинская – Кутамыш Свердловской железной дороги.....	203
Приложение Д	Патенты на изобретения	205
Приложение Е	Результаты опытной эксплуатации	220
Приложение Ж	Акт о внедрении контролирующего устройства применения переносной заземляющей штанги контактной сети.....	223
Приложение З	Справка о практическом использовании научных результатов диссертационной работы	225

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшую роль в транспортном комплексе Российской Федерации продолжают играть железные дороги, основной грузопоток и пассажиропоток осуществляется по электрифицированным участкам железнодорожной магистрали, не малую роль в организации транспортного процесса играет охрана труда персонала с мероприятиями по сохранению жизни и здоровья работников.

При высоком уровне функционирования компании ОАО «РЖД» не всегда обеспечивается соответствующий уровень безопасности труда в электроустановках, допускаются случаи электрического травмирования электротехнического персонала. Обеспечение электробезопасности работников при эксплуатации и ремонте устройств электроснабжения железных дорог является актуальной задачей.

Актуальность проблемы. Согласно статистике, ежегодно в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» при эксплуатации и ремонте устройств электроснабжения погибают работники энергетического комплекса от электрических травм. Только за девять лет (2012-2020 гг.) произошло 97 электротравм, из них 50 со смертельным исходом. На контактной сети, которая осуществляет непрерывный подвод энергии к движущимся электрическим локомотивам и требует постоянного обслуживания и ремонта произошло 44 электротравмы, из них 25 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, что свидетельствует о чрезвычайной актуальности проблемы.

Актуальность проблемы основана на задачах Политики холдинга ОАО «РЖД» в области охраны труда и окружающей среды, промышленной и пожарной безопасности; программы реализации концепции «*VizionZero*» на период 2019-2021 гг., 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 электроснабжения 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 научные 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. Впервые 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.

4. Впервые обоснован и разработан защитный способ заземления контактной сети при капитальном ремонте пути с заменой рельсошпальной решетки широким фронтом с использованием заземляющих контуров инфраструктуры.

5. Разработан и обоснован способ, обеспечивающий электробезопасность персонала при появлении высокого напряжения на изолированной площадке железнодорожного транспортного средства.

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.

3. 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.

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*, *MSExcels*, *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. Адекватность логико - вероятностной модели полей опасных производственных факторов условиям труда, 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. Применение разработанной методики системы контроля переносных заземляющих штанг и штанг для переноса и выравнивания потенциала повышает уровень электробезопасности при работе на устройствах контактной сети энергетического комплекса по категории работ со снятием напряжения и заземлением не менее чем в 13 раз.

4. Способ защитного заземления контактной сети при производстве работ

по капитальному ремонту пути с заменой рельсошпальной решетки широким фронтом, который оценивается эффективностью снижением расчетного возможного тока, проходящего в аварийном режиме по телу человека в 3 раза.

5. Методика обеспечения электробезопасности персонала железнодорожного транспортного средства осуществлением способа защиты при появлении высокого напряжения на изолированной площадке.

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.

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.

Испытания и разработка контролирующего устройства применения переносных заземляющих штанг контактной сети освещены в газете «Уральская магистраль» № 059, 119, 204, 240.

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 XIII Международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту» (Самара, 2020), на Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт Урала – 2020» (Екатеринбург, 2020), на XX Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» (Москва, 2020), на VI Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности» (Воронеж, 2020), на семинаре аспирантов кафедры «Безопасность жизнедеятельности» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ» (Челябинск, 2020), VI Всероссийской студенческой конференции (с международным участием) «Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи» (Челябинск, 2021).

Результаты диссертационной работы в полном объеме заслушаны и одобрены на расширенном заседании кафедры «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «УрГУПС» (Екатеринбург, 24.09.2020).

Публикации. Основные положения диссертационной работы отражены в 21 печатной работе, в том числе 13 работ опубликованы в изданиях, входящих в «Перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций», 8 статей (из них 1 статья индексируемая *Scopus*) и 5 патентов на изобретения.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа представлена на 226 страницах, содержит 170 страниц основного текста, 67 рисунков, 20 таблиц и 8 приложений на 56 страницах, 138 наименований библиографического списка, включая 11 наименований иностранных источников.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА ОТ РИСКА ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАВМ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ УСТРОЙСТВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Поражение электрическим током персонала в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» занимает 45% от общего числа травматических случаев связанных с производством. Динамика электрического травматизма имеет пилообразный характер и в целом тенденции снижения не наблюдается.

Проведенная оценка и анализ риска электрического травмирования персонала дает возможность определить наиболее травмоопасные устройства энергетического комплекса, не эффективные способы обеспечения электрической безопасности электротехнического персонала, а также причины, ведущие к возникновению электрических травм персонала электроустановок.

Одним из перспективных направлений снижения риска возникновения электрических травм является разработка и внедрение систем контроля, за применением электрозащитных средств, что ведет за собой гарантированное соблюдение основного правила электрической безопасности в виде защиты персонала от ситуации случайного прикосновения к электрическим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

Анализ существующих электрозащитных средств и способов обеспечения электрической безопасности работающего на контактной сети персонала железнодорожного транспорта показал ряд недостатков, которые ограничивают повышение уровня его электрической безопасности, а также позволил изложить требования к новым разработкам, определить направления дальнейших исследований.

1.1 Оценка и анализ риска электрических травм электротехнического персонала при обслуживании устройств энергетического комплекса

В последней четверти 18 века стало очевидным, что электрический разряд определенным образом действует на организм человека. Первые обстоятельные описания этого действия принадлежит Ж. Марату. Англичанин А. Уориш, итальянцы Л. Гальвани, А. Вольты и ряд других ученых установили, что на человека действует разряд, полученный не только от источника статического электричества, но и от электрохимического элемента. Однако никто из названных исследователей не указывал на опасность этого действия на человека. Впервые установил эту опасность В.В. Петров изобретатель первого в мире электрохимического высоковольтного источника напряжением 1000 В. Петров В.В. изучал действия электрического тока на организм животного и человека, разработал первые мероприятия по защите человека от тока [66].

Широкомасштабная электрификация России связана с реализацией плана Государственной электрификации России (ГОЭЛРО), который был принят 22 декабря 1920 года [37]. 29 августа 1929 году в России прошёл первый электропоезд по участку Москва – Мытищи, протяженностью 17,5 км. Этот участок положил начало переводу отечественных железных дорог на электрическую тягу [127].

В годы первых пятилеток были электрифицированы лишь отдельные участки между станциями с большими грузопотоками и тяжелым горным профилем: Сомтредиа – Зестафони, Хашури – Тбилиси, Кизел – Чусовская – Гороблагодатская – Свердловск, Кандалакша – Мурманск, Белово – Новокузнецк и др. [127].

К началу 1941 году общая длина электрифицированных линий в СССР составляла 1877 км, из них с пригородным движением – 463 км. [127].

На 10 августа 1947 году длина электрифицированных линий железных

дорог СССР, находящихся в эксплуатации, составила 2210 км. [36].

В 1956 году принято постановление правительства «О генеральном плане электрификации железных дорог», а в 1970 году длина электрифицированных линий железных дорог составила 33,9 тыс. км. [127].

С вводом в эксплуатацию первых электрифицированных участков железнодорожных линии требовалась разработка правил и инструкций по безопасности при обслуживании объектов электрификации и электроснабжения.

Огромную роль в создании новых и совершенствовании существующих принципов и устройств защиты от поражения электрического тока, а также в разработке правил, норм и стандартов в области электробезопасности сыграли ученые П.Д. Войнаровский, П.А. Долин, Я.А. Зельвянский, Б.А. Князевский, В.И. Корольков, В.Е. Манойлов, П.С. Осадчий, Л.О. Петри, Ю.Г. Сибаров, А.А. Смунов, В.И. Шуцкий и другие.

Необходимо отметить, что много внимания проблемам электробезопасности уделял известный ученый изобретатель трехфазного переменного тока М.О. Доливо - Добровольский. В 1891 году, несмотря на занятость, он специально выезжал на фабрику, где произошла электрическая травма со смертельным исходом, для обследования и выработки соответствующих рекомендаций [40].

В 1915 году отдельным изданием были выпущены первые Правила техники безопасности в электроустановках [40].

В 1957 году утверждаются Правила техники безопасности при эксплуатации контактной сети постоянного тока электрифицированных железных дорог.

С 1960 году ведется активная электрификация железных дорог по системе переменного тока.

В 1965 году Зельвянский Я. А. [39] рассматривает основные положения техники безопасности при эксплуатации контактной сети постоянного и переменного тока, приводит основные организационные и технические мероприятия и порядок безопасного выполнения сложных работ на контактной

сети.

Со временем Правила техники безопасности при эксплуатации контактной сети дополнялись, изменялись и на сегодняшний день изложены в [41, 104,108].

Высокая насыщенность электрооборудованием технологических процессов и производств является одной из основных обстоятельств, создающих возможность электротравматизма на электрифицированном железнодорожном транспорте.

При эксплуатации и ремонте устройств электроснабжения электрическая травма может быть получена по следующим причинам:

- недостатков технологии и организации работ: недостаточное наблюдение и контроль осуществляемой работы; низкое качество технической учебы; отсутствие средств дистанционного контроля и диагностики элементов и узлов контактной сети; отсутствие на рабочих местах или несовершенство технологических карт; некачественный инструктаж и неточность нарядов и указаний; отсутствие устойчивых навыков безопасной работы; недостаточный опыт и квалификация; нарушение технологической последовательности операций.

- трудных условий работы: резких перепадов температур; особенностей весенне-осеннего периода года; работы зимой при низких температурах наружного воздуха; проходящие по соседним путям поезда; потеря ориентации на высоте; шум; работа в ночное время; стрессовые ситуации.

- недостатков технологических средств обеспечения безопасности и конструктивных решений: возможность касания работником элементов, находящихся под разными потенциалами напряжения, отступление от типовых решений; недостатки конструктивного исполнения передвижных изолирующих защитных устройств; недостатки средств индивидуальной защиты; неудобство доступа к местам проверки и регулировки; недостатки средств сигнализации о приближении к элементам, находящимся под высоким напряжением; отсутствие сигнальных знаков с предупреждающей окраской, несовершенство конструкций заземляющих штанг, шунтирующих перемычек и блокировок безопасности; недостатки изоляционных свойств и конструктивного исполнения изоляторов

контактной сети.

– нарушений правил и инструкций: нарушение порядка обеспечения равенства потенциальных условий при работе под напряжением; неиспользование защитных средств; неправильный порядок установки заземляющих штанг; потеря внимания в процессе устранения неисправности в сложных условиях; умышленное приближение к частям, находящимся под напряжением ближе 0,8 – 1,0 метра; неправильное действие персонала, несогласованность операций, несоответствие квалификации или работа не по специальности [50,61].

В [12] Е.А. Баранов и Я.А. Зельвянский в 1975 г. утверждали: «Разбор случаев травмирования за длительный период показал, что более 51% случаев травмирования при обслуживании контактной сети произошли из-за неправильно установленных переносных заземлений, шунтирующих штанг и перемычек, не проверки отсутствия напряжения».

Анализ распределения основных причин электротравматизма на контактной сети за период 01.2012–08.2019 гг. показал, что 24% случаев произошли из-за неправильно установленных переносных заземлений, шунтирующих штанг и перемычек или их не применение [63].

В [2] проведен анализ случаев травматизма со смертельным исходом в хозяйстве электрификации и электроснабжения МПС СССР, МПС России, ОАО «РЖД» за период 1969– 2012 гг. Всего было допущено 1108 случаев смертельного травматизма, связанного с производством. Случаи смертельного травматизма произошли: на контактной сети постоянного тока – 181 случай; на контактной сети переменного тока – 156 случаев; на отдельно стоящих линиях электропередач – 169 случаев; на линиях электропередач на опорах контактной сети – 58 случаев; на тяговых подстанциях – 121 случай; на трансформаторных подстанциях – 84 случая; на низковольтных сетях – 57 случаев; при падении с высоты – 90 случаев; на АТП, ПОВ, ПСК и ППС – 22 случая; при дорожно-транспортных происшествиях – 28 случаев; при наезде подвижного состава – 73 случая; при прочих причинах – 69 случаев.

Следует отметить, что 531 случай произошел с работниками, имеющими V

группу по электробезопасности, 323 – с IV группой, 162 – III группой, 123 случая со II группой, 22 случая – I группой. В летний период зафиксировано большее количество травматизма 123 случая в июне, 151 случай в июле, 129 случаев в августе.

Основными причинами электрического травмирования на контактной сети были следующие: поражение от наведенного напряжения от соседних линий электроснабжения – 97 случаев из них 55 случаев произошли при отсутствии заземляющих штанг, либо кратковременной потери контакта штангой и одновременным шунтированием изоляции рабочей площадки специального самоходного подвижного состава, 20 случаев при работе на воздушных промежутках и нейтральных вставках при заземлении только одной ветви, 10 случаев при подаче рабочего напряжения на место работ из-за ошибочных действий или перекрытия электроподвижным составом воздушного промежутка и секционного изолятора. Заземление на месте работ отсутствовало, 26 случаев при работе с изолирующей съемной вышки под напряжением из-за касания пострадавшими заземляющих частей, либо по причине шунтирования изоляции вышки различными проводами, 73 случая при работе под напряжением с вышки специального самоходного подвижного состава из-за шунтирования изоляции площадки, либо самими пострадавшими, либо посторонними предметами.

Основными причинами электрического травмирования на линиях электропередач явились: 131 случай произошел при отсутствии заземлений на месте работ, 12 случаев произошли из-за ошибочного подъема на рядом идущую или концевую опору, 17 случаев допущено из-за установки на ДПР (два провода - рельс) недостаточного количества заземляющих штанг.

Основной причиной электрического травмирования на низковольтных сетях явилось не оформление работы, отсутствие организационно - технических мероприятий (снятие напряжения, проверка его отсутствия, заземление на месте работ) 31 случай.

Проведен подробный анализ всех электрических травм в энергетическом комплексе (подразделения ОАО «РЖД»: Трансэнерго – филиал ОАО «РЖД» и

Дирекции капитального ремонта и реконструкции объектов электрификации и электроснабжения железных дорог – филиал ОАО «РЖД») в период 2012-2020 гг. показан в приложение А. Имеются случаи электрического травмирования работников подрядных организаций при проведении капитального ремонта на устройствах контактной сети. Данные случаи расследуются на низком уровне и имеющихся данных не достаточно для подробного статистического анализа.

Электрический травматизм в период 2012-2020 гг. занимает 45% от всех травм и 83% от травм со смертельным исходом. В этот период произошло 97 электрические травмы из них 52% или 50 случаев со смертельным исходом. Травмировано 12 работников с III группой по электробезопасности, 27 работников с IV группой по электробезопасности, 58 работников с V группой по электробезопасности [92-100].

Увеличенное количество электрических травм наблюдается в летний период, в июле 14 работников получили электрические травмы. Это связано с увеличением объемов работ, а число работников на местах сокращается в связи с очередными летними отпусками. Эта закономерность прослеживалась и при анализе электрического травматизма при электрификации железных дорог в 60-годах [20-21].

В зависимости от времени суток то с 10:00 до 12:00 и с 13:00 до 16:00 происходит 77% электрических травм. В [80] исследовано влияние периодов суток на безопасность труда работников, занимающихся обслуживанием и ремонтом устройств контактной сети. Рассмотрены травматические случаи, произошедшие на контактной сети за 2012 – 2019 гг. Выполнена проверка существенности различия значений коэффициентов частоты электрического травматизма в светлое время и в период вечерних природных сумерек, а также в темное время суток. Для выбора принципов сравнения средних значений вычислена дисперсия указанных величин и по критерию Фишера сделана оценка существенности различий этих дисперсий.

Для оценки влияния условий природной освещенности на безопасность труда работников контактной сети время суток было разделено на следующие

периоды: светлое время (СВ), вечерние гражданские сумерки (ВГС), вечерние навигационные сумерки (ВНС), темное время (ТВ), утренние навигационные сумерки (УНС), утренние гражданские сумерки (УГС). Определение времени начала и окончания дня и сумерек на широте полигона железнодорожных сетей производилось по графикам (рисунок 1.1). Цветными точками в зависимости от года происшествия отмечены несчастные случаи с летальным исходом.

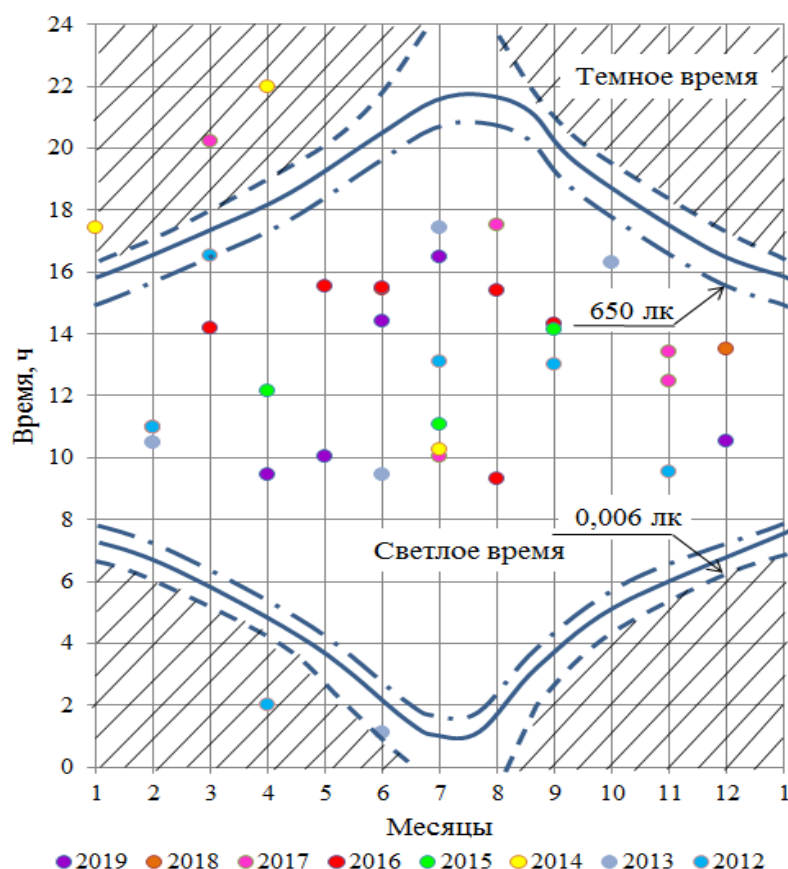


Рисунок 1.1 – График определения периода суток, когда произошли несчастные случаи с работниками контактной сети за 2012–2019 гг.

По результатам проведенного исследования взвешенные коэффициенты частоты травматизма в светлое время в 5 раз выше, чем в темное время суток, что обусловлено трудовым распорядком дня; подтверждена гипотеза о равенстве средних значений коэффициентов частоты травматизма в светлое время $\bar{K}_{\text{СВ}}$, в период вечерних гражданских сумерек $\bar{K}_{\text{ВГС}}$ и в период темного времени $\bar{K}_{\text{ТВ}}$, т. е. $\bar{K}_{\text{ВГС}} = \bar{K}_{\text{СВ}} = \bar{K}_{\text{ТВ}}$.

В зависимости от дня недели большее число электрических травм

приходится на четверг 23 случая травм, вторник – 21, понедельник – 20.

В возрасте 26 - 28 лет и 34 года больше травмируются, чем в остальном возрасте и со стажем работы в электроустановках 3-4 года.

В районе контактной сети 50 работников были травмированы электрическим током (из них 45- электромонтеров, 1-начальник, 3-старших электромехаников, 1- водитель). В районе электроснабжения 25 работников были травмированы (из них 19- электромонтеров, 4- электромеханика, 2-начальника). На тяговых подстанциях 15 работников были травмированы (из них 5-начальников, 3-старших электромехаников, 2 - электромонтера, 5 - электромехаников). В ремонтно-ревизионном участке 7 работников были травмированы (из них 3- электромеханика, 3-старших электромеханика, 1-начальник).

На контактной сети переменного тока произошло 30 случаев электрических травм из них 17 со смертельным исходом, а на контактной сети постоянного тока 14 случаев из них 8 со смертельным исходом.

Наибольшее количество электрических травм на контактной сети энергетического комплекса ОАО «РЖД» происходит при работе со снятием напряжения и заземлением (таблица 1.1). Основные причины травматизма на контактной сети с 2012 по 2020 гг. приведены в таблице 1.2 [92-100].

Таблица 1.1 – Распределение электрических травм по категориям работ на контактной сети энергетического комплекса с 2012 по 2020 гг.

Категория работ	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Итого
Со снятием напряжения и заземлением	5	5	3	3	5	4	2	1	5	33
Под напряжением	1					1	1	2	2	7
Вблизи частей, находящихся под напряжением								2		2
Вдали частей, находящихся под напряжением					1				1	2

Таблица 1.2 – Анализ распределения основных причин электротравматизма на устройствах контактной сети с 2012 по 2020 гг.

Причины	Проявление, %
Недостаточное количество переносных устройств заземления	12
Нарушение порядка завешивания и снятия переносных устройств заземления	5
Нарушение технологии работ	5
Работа без оформления наряда-допуска, приказа энергодиспетчера	1
Неприменение электрозащитных средств и средства индивидуальной защиты	14
Расширение места работы	8
Нарушение в применении защитных средств	6
Недостаточный состав бригады	7
Отсутствие контроля со стороны производителя работ	16
Не использование шунтирующих штанг	2
Не проведение целевого инструктажа	1
Недостаточное количество отключений	8
Работа с изолирующей рабочей площадки автодрезины или автомотрисы под напряжением	2
Не снятие шунтирующей штанги с контактной сети, закрепленной к изолирующей съёмной вышке	1
Недостаточная освещенность	1
Расширение зоны работы	8

Классификация причин электрических травм на контактной сети позволяет выделить наиболее весомые причины с целью использования их в дальнейших теоретических исследованиях.

Статистические исследования показывают, что 14% электрических травм на контактной сети произошли вследствие сознательного отказа работников от установки изолирующих штанг и штанг для переноса и выравнивания потенциала на месте работы, 5% вследствие нарушения требований охраны труда по их применению. Расширение зоны и места работы занимают 16% электрических травм, особенно при работе на сопряжении анкерных участков станционной и перегонной ветви контактной сети [82, 83].

В [85] разработан новый знак безопасности «Внимание! Опасная зона работ», который предназначен для информирования работников о присутствии опасного производственного фактора, позволит быстрее ориентироваться на месте производства работ на сопряжениях анкерных участков перегонной и станционной ветви и на границах различных секций контактной сети. Использование экспертного метода позволило выбрать оптимальный вариант знака [20,51]. Коэффициент конкордации 0,493 в этом исследовании подтвердил достаточную степень согласованности мнений экспертов при выборе оптимального знака безопасности. С помощью критерия Пирсона χ^2 принята гипотеза о неслучайной согласованности мнений экспертов.

Классификация причин электрических травм на контактной сети отображена в виде схемы причинно - следственных связей в структуре формирования травматического случая на контактной сети (рисунок 1.2).

Причины травматических случаев можно подразделить на три группы: основные, вспомогательные и связанные с действиями персонала (человеческим фактором) [119].



Рисунок 1.2 – Схема причинно - следственных связей в структуре формирования травматического случая на контактной сети энергетического комплекса

Группу основных причин можно подразделить на две подгруппы: опасные действия и опасные условия.

Под опасными действиями понимается:

защитные или предохранительные устройства присутствуют, но не используются (переносные заземляющие штанги, блокировки безопасности), неотключение напряжения или подача во время работ (работа с вышки автомотрисы под напряжением),

несоблюдение безопасного расстояния до токоведущих частей (для примера работа с съемной изолирующей вышки).

Под опасными условиями понимается:

неэффективность защитного или предохранительного оборудования, отсутствие защитного или предохранительного оборудования, нарушение правил, инструкций по безопасности.

Группу вспомогательных причин можно подразделить:

не информированность персонала (внесение изменений в схему питания и секционирования, появление опасных мест, отсутствие предупреждающих плакатов и т.п.),

слабо поставлена организационная работа по обеспечению безопасности, отсутствует координация в действиях, зависимость от компетентности руководителя работ (ответственного руководителя работ),

дискомфортные условия труда (высота, низкая температура, ветер и т.п.)

В группу причин, связанных с человеческим фактором входят, как правило, ошибочные действия персонала. Механизм, заставляющий человека к ошибочным действиям, базируется на врожденных или приобретенных особенностях, а также на временных состояниях человека [133].

Для минимизации причин ошибочных действий, связанных с человеческим фактором необходимо осуществлять профессиональный отбор, включающий в обязательном порядке проведение обследования и оценку профессионально важных качеств кандидата при приёме на работу на должность электромонтера контактной сети [79,118].

Профессиональное психофизиологическое обследование пригодности электромонтеров контактной сети проводится в ОАО «РЖД» (ранее МПС РФ) с 2001 года [118]. Оцениваемые профессионально важные качества приведены в табл. 1.3 [79,103].

Таблица 1.3 – Оценка профессионально важных качеств электромонтеров контактной сети

№	Профессионально важные качества	Возможные ошибочные действия
1	Стрессоустойчивость	При работе в условиях дефицита времени, возможно, ускорение темпа работы / замедление темпа работы, что приведет к допущению ошибок, срыву выполнения задания
2	Склонность к риску	При работе в условиях повышенной опасности возможен неадекватный выбор приемов безопасной работы и нарушение правил техники безопасности / излишняя осторожность, боязнь работы на высоте
3	Сенсомоторная координация	Трудности в освоении некоторых приемов работы, требующих точных действий
4	Переключение внимания	Непонимание заданий, неправильное переключение при снятии напряжения, требуется дополнительный контроль над действиями
5	Физическая сила и выносливость	Срывы и падение с шатких опор, затруднена работа в неудобных позах, дискоординированные действия при перемещении тяжелых предметов, рывки при передвижении съемной изолирующей вышки

Оценка профессионально важных качеств не способствует значительному снижению уровня электрического травматизма среди работников районов контактной сети.

Достаточно высокий уровень выделяемого финансирования компании ОАО «РЖД» на мероприятия по улучшению условий и охраны труда приходится на обеспечение работников специальной одеждой, приобретение средств защиты, улучшение санитарно - бытовых условий, не предусматривая финансирования внедрения технических средств, обеспечивающих безопасные методы работы,

замену травмоопасного оборудования. Затраты на мероприятия по улучшению условий и охраны труда в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» представлены на рисунке 1.3. [3-11].

Разработка способов и технических средств защиты персонала от электрических травм, которые не смогут заменить несовершенное и травмоопасное оборудование, но смогут усовершенствовать его и снизить риск получения электрических травм, повысить уровень электрической безопасности.



Рисунок 1.3 – Затраты на мероприятия по улучшению условий и охраны труда в энергетическом комплексе ОАО «РЖД»

Индивидуальный риск гибели работников во время трудовой деятельности в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» подчитывается на основании данных официальной статистики и численности работников отрасли железнодорожного транспорта как вероятность хотя бы одного смертельного несчастного случая в течение года из соотношения [56,62,65].

$$R_{\text{И}} = p_1 = \frac{N_{\text{сл}}}{N_p}, \quad (1.1)$$

где $R_{и}$ – индивидуальный риск гибели на железнодорожном транспорте в течение года хотя бы одного работника, равный статистической вероятности p_1 этого события;

$N_{сл}$ – число несчастных случаев с летальным исходом за год в отрасли;

N_p – средняя списочная численность работников отрасли в течение года.

Средняя списочная численность работников энергетического комплекса ОАО «РЖД» в 2012 году составила – 42 908 работников, тогда

$$R_{и} = \frac{8}{42\,908} = 186 \times 10^{-6}. \quad (1.2)$$

Аналогичные расчеты проведены с 2013 по 2020 гг., а также выполним расчет для районов контактной сети. Полученные значения отображены на рисунке 1.4

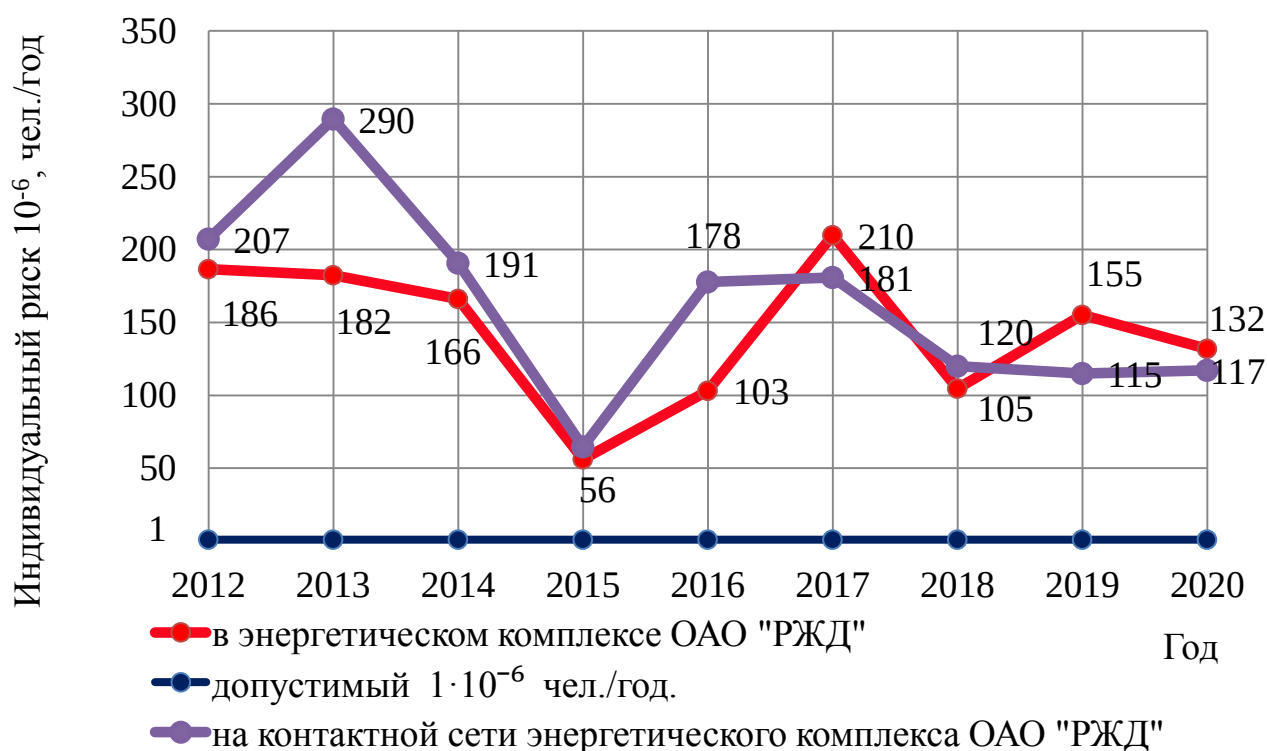


Рисунок 1.4 – Индивидуальный риск гибели работников энергетического комплекса ОАО «РЖД» во время трудовой деятельности с 2012 по 2020 гг.

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 [62, 64].

Анализ несчастных случаев, произошедших за 2002 – 2014 гг. на предприятиях Южно-Уральской железной дороги – филиале ОАО «РЖД», вызванных поражениями электротока, показал, что удельный вес смертельных электрических травм в общей структуре смертельного травматизма на магистральном железнодорожном транспорте составляет в среднем 21 %. Смертельный исход имеют, как правило, каждый второй-третий несчастный случай. Уровень риска смертельных случаев за последние 13 лет составил $125 \cdot 10^{-6}$ чел./год [16].

Среднее значение индивидуального риска гибели работников при обслуживании и ремонте устройств контактной сети во время трудовой деятельности составило $163 \cdot 10^{-6}$ чел./год, что многократно превышает риск смертельного природного воздействия на человека. В [15] допустимые значения частоты или вероятности возникновения летального исхода от поражающего действия электротока в России составляет $6 \cdot 10^{-6}$ чел./год. По данным [137] риск гибели от поражающего действия электротока в США составляет $23 \cdot 10^{-7}$ чел./год, а в 80-х годах по данным [136] составлял $40 \cdot 10^{-7}$ чел./год. За рубежом уровень допустимого риска применяется $1 \cdot 10^{-7}$ чел./год [62].

Высокий индивидуальный риск электротравмирования работников энергетического комплекса ОАО «РЖД» указывает на актуальность работы, направленной на повышение уровня электробезопасности и снижения вероятности получения электрической травмы при эксплуатации и ремонте устройств электроснабжения железнодорожного транспорта.

Уровень допустимого индивидуального риска $R_{\text{ди}}$ можно принять $10^{-8} < R_{\text{ди}} \leq 10^{-6}$.

1.2 Статистические показатели электротравматизма в энергетическом комплексе ОАО «РЖД»

Для оценки производственного электрического травматизма на железнодорожном транспорте применяется статистический метод анализа.

Статистический метод включает сбор сведений об электротравмах и их классификацию, накопление и систематизацию материала разделения несчастных случаев по характерным признакам [62,77,78].

Основными показателями статистического метода при оценке травматизма являются: коэффициент частоты, коэффициент тяжести и коэффициент частоты смертельного травматизма [62,63,77,78]:

$$k = \frac{T}{N_{CP}} \cdot 1000; \quad k_T = \frac{D}{N_{CP}} \cdot 1000; \quad k_{CM} = \frac{T_{CM}}{N_{CP}} \cdot 1000, \quad (1.3)$$

где k , k_T , k_{CM} – коэффициенты частоты, тяжести и частоты смертельного травматизма;

T , T_{CM} – общее число случаев травм работников и травм с летальным исходом за год;

D – число дней временной нетрудоспособности в связи со случаями травм людей на производстве за год;

N_{CP} – средняя списочная численность работников предприятия в течение года.

Статистический метод при анализе электрических травм позволяет выявлять закономерности и факторы, сопутствующие или способствующие росту несчастных случаев [62].

Проведем оценку электрического травматизма на предприятиях энергетического комплекса ОАО «РЖД» с помощью коэффициентов частоты,

тяжести и частоты смертельного травматизма частоты смертельного травматизма. Результаты расчетов представлены в таблице 1.4 и на рисунке 1.5.

Таблица 1.4 – Коэффициенты частоты, тяжести и частоты смертельного электрического травматизма в энергетическом комплексе ОАО «РЖД»

Год	Электротравматизм (с летальным исходом)	k	k_T	k_{CM}
2012	14 (8)	0,33	5,6	0,19
2013	10 (7)	0,26	3,0	0,18
2014	13 (6)	0,36	7,7	0,17
2015	7 (2)	0,20	5,6	0,06
2016	7 (4)	0,19	3,1	0,11
2017	15 (8)	0,39	7,3	0,21
2018	8 (4)	0,21	4,2	0,10
2019	10 (6)	0,26	4,1	0,16
2020	13 (5)	0,34	8,4	0,13
Итого	97 (50)	-	-	-



Рисунок 1.5 – Распределение коэффициентов частоты производственного электрического травматизма в энергетическом комплексе в период 2012–2020 гг.

Среднее значение коэффициентов частоты производственного электрического травматизма составило 0,28. Среднее значение коэффициентов частоты смертельного производственного электрического травматизма составило 0,15. Среднее значение коэффициентов тяжести производственного электрического травматизма составило 5,5.

Следует отметить, что тенденция снижения электрического травматизма в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» не наблюдается.

Проведем аналогичную оценку электрического травматизма в районах контактной сети энергетического комплекса ОАО «РЖД» с помощью коэффициентов частоты, тяжести и частоты смертельного травматизма. Результаты расчетов представлены в таблице 1.5 и на рисунке 1.6.

Таблица 1.5 – Коэффициенты частоты, тяжести и частоты смертельного электрического травматизма в районах контактной сети ОАО «РЖД»

Год	Электротравматизм (с летальным исходом)	k	k_T	k_{CM}
2012	6(4)	0,31	0,21	4,1
2013	5(5)	0,28	0,28	0,0
2014	3(3)	0,18	0,18	0,0
2015	3(1)	0,19	0,06	5,2
2016	6(3)	0,34	0,17	7,1
2017	5(3)	0,29	0,17	4,8
2018	3(2)	0,17	0,12	2,4
2019	4(2)	0,29	0,11	7,2
2020	8(2)	0,46	0,11	14,1
Итого	44 (25)	-	-	-

Среднее значение коэффициентов частоты производственного электрического травматизма составило 0,28. Среднее значение коэффициентов частоты смертельного производственного электрического травматизма составило 0,16. Среднее значение коэффициентов тяжести производственного электрического травматизма составило 5,0.



Рисунок 1.6 – Распределение коэффициентов частоты производственного электрического травматизма на контактной сети в период 2012–2020 гг.

Статистический метод анализа травматизма показал, как в целом по энергетическому комплексу ОАО «РЖД», так и по отдельным отраслям структурных подразделений, например, контактная сеть, тяговые подстанции, отсутствие тенденции снижения коэффициентов частоты, тяжести и частоты смертельного травматизма за рассматриваемый период.

Для повышения эффективности организационно - технических мероприятий по обеспечению электробезопасности и улучшению технического содержания электроустановок и формирования программы по улучшению условий труда рассмотрим методику прогнозирования электрического травматизма в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» [33,82].

Под прогнозом производственного травматизма понимается вероятностное суждение о его будущем состоянии. В зависимости от длительности прогнозного периода различают: краткосрочный (до 4-5 лет), среднесрочный (5-8 лет) и долгосрочный прогноз (до 8-15 лет) [70,82].

Рассмотрим методику, предназначенную для краткосрочного прогнозирования электрического травматизма, рассмотренную в [122].

Предположим, что имеем некоторый интервальный временной ряд, уровень которого N_x характеризуется количеством несчастных случаев за x промежутков времени.

В общем случае последовательность N_x может быть аппроксимирована функцией

$$f(x) = f(a, b, c \dots; x, x^2, x^3, \dots), \quad (1.4)$$

где $a, b, c \dots$ – некоторые постоянные коэффициенты.

Если отклонения известных N_x при $1 \leq x \leq n$ от одноименных значений $f(x)$ случайны, то $f(x)$ можно рассматривать как $M(x)$ – математическое ожидание величины N_x [122].

Статистика (таблица 1.4), позволяет получить приблизительное значение математического ожидания по фактическим данным наблюдений. Математическая статистика предоставляет несколько вариантов оценки математического ожидания. Основное среди них – среднее арифметическое, тогда определим математическое ожидание величины N_x

$$M(x) = \frac{\sum N_x}{n} = \frac{84}{8} = 10,5 \approx 11. \quad (1.5)$$

В большинстве случаев оказывается, что последовательность N_x может быть аппроксимирована линейной функцией

$$f(x) = a + bx, \quad (1.6)$$

где коэффициенты a и b могут быть вычислены, например, методом наименьших квадратов по формулам:

$$a = \frac{\sum_{x=1}^n N_x \sum_{x=1}^n x^2 - \sum_{x=1}^n x N_x \sum_{x=1}^n x}{n \sum_{x=1}^n x^2 - (n \sum_{x=1}^n x)^2}; \quad (1.7)$$

$$b = \frac{n \sum_{x=1}^n x N_x - \sum_{x=1}^n N_x \sum_{x=1}^n x}{n \sum_{x=1}^n x^2 - (n \sum_{x=1}^n x)^2}. \quad (1.8)$$

Для расчета коэффициентов a и b выполним промежуточные расчеты и сведем в таблицу 1.6.

Таблица 1.6 – Расчетная таблица по электрическому травмированию работников энергетического комплекса ОАО «РЖД»

Период времени, год (X)	Количество электротравм, шт. (Y)	X·Y	X ²
2012	14	28168	4048144
2013	10	20130	4052169
2014	13	26182	4056196
2015	7	14105	4060225
2016	7	14112	4064256
2017	15	30255	4068289
2018	8	16144	4072324
2019	10	20190	4076361
$\Sigma = 16124$	$\Sigma = 84$	$\Sigma = 169286$	$\Sigma = 32497964$

Определим средние значения $\bar{X}$ и $\bar{Y}$

$$\bar{X} = \frac{16124}{8} = 2016, \quad \bar{Y} = \frac{84}{8} = 11.$$

Коэффициенты a и b равны:

$$b = \frac{8 \cdot (169286) - (84) \cdot (16124)}{8 \cdot (3249796) - (16124)^2} = -0,381;$$

$$a = 11 - 0,381 \cdot 2016 = 778,31.$$

Тогда прогнозная функция имеет вид $f(x) = -0,381x + 778,31$. С помощью *MS. Excel* построим линию тренда, задав линейную функцию аппроксимации (рисунок 1.7) [68,82].

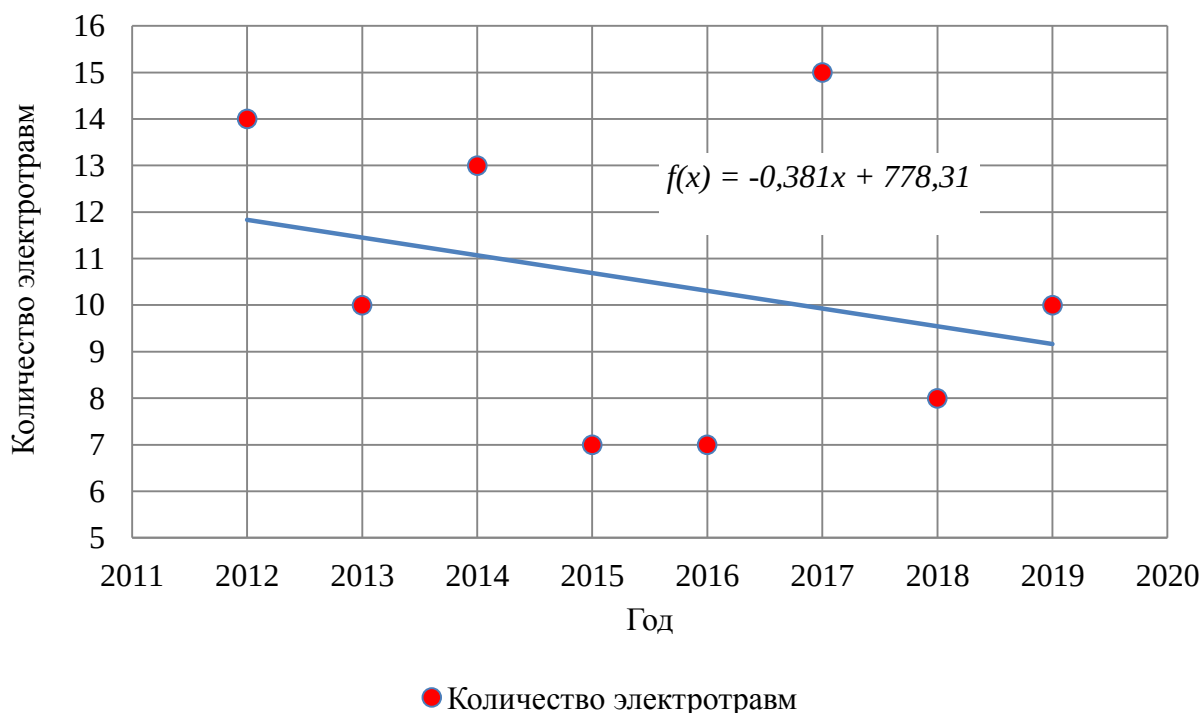


Рисунок 1.7 – Динамика электрического травматизма в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» с 2012 по 2019 гг.

Для расчета прогнозного значения количества травмированных электрическим током работников в 2020 г. определим значение функции

$$f(x) = -0,381 \cdot 2020 + 778,31 = 8,69.$$

На практике прогнозные значения показателей, как правило, получают не точечными оценками, а интервальными [123].

Определим границу доверительного интервала прогноза электротравмированных работников в 2020 г.

$$f(x) = \pm x_{\alpha} + \sigma_{f(x)}, \quad (1.9)$$

где x_α – коэффициент доверия;

$\sigma_{f(x)}$ – остаточное среднее квадратическое отклонение от тренда.

Коэффициент доверия определяется по таблице t -распределения Стьюдента, при уровне значимости $\alpha=0,05$ (т.е. с вероятностью $P=0,95$) и числе степеней свободы $k = n - m = 8 - 1 = 7$ значение $x_\alpha=2,37$ [110].

Остаточное среднее квадратическое отклонение от тренда определяется по формуле:

$$\sigma_{f(x)} = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - f(x))^2}{n - m}}, \quad (1.10)$$

где n – число уровней ряда динамики;

m – число параметров адекватной модели тренда (для уравнения прямой $m=2$) [31,77].

Определим остаточное среднее квадратическое отклонение от тренда

$$\sigma_{f(x)} = \sqrt{\frac{64}{8 - 2}} = 3,26.$$

Зная точечную оценку прогнозируемого значения количества случаев травм работников, определяем вероятностные границы интервала $8,69 \pm 3,26 \cdot 2,37$.

Ошибка прогноза увеличивается с ростом периода прогнозирования. Следовательно, период прогнозирования не должен превышать одной трети рассматриваемого временного отрезка статистических данных электрического травматизма [14]. В статье рассматривается временной отрезок в 8 лет, то прогнозируемое значение x не должно превышать 3 года.

Можно утверждать, что с вероятностью 0,95 количество травмированных от электрического тока в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» с 2020 по 2022 гг. составит не менее 1 работника и не более 17 [82].

Аналогичные расчеты проведем для прогноза электрических травм на устройствах контактной сети энергетического комплекса (рисунок 1.8).

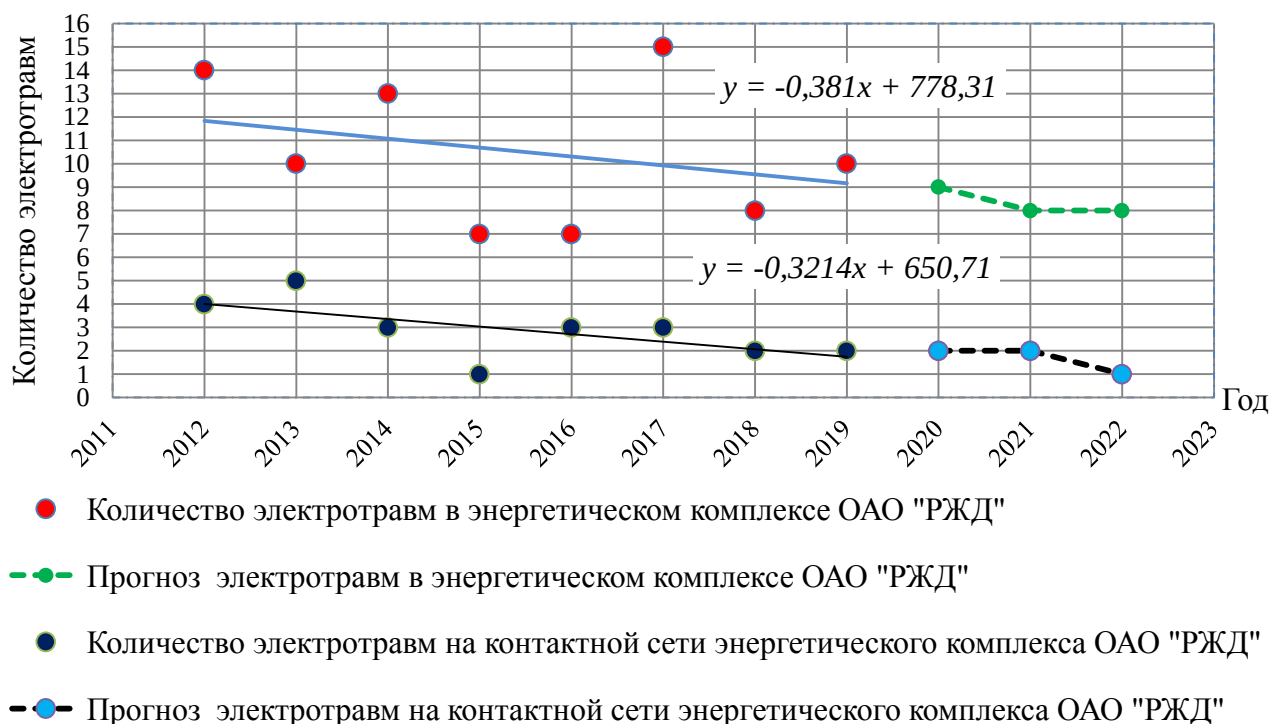


Рисунок 1.8 – Прогноз количества электрических травм в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» с 2020 по 2022 гг.

Для обоснованного отождествления $f(x)$ и $M(x)$ после выбора аппроксимирующей функции или любой другой следует выдвинуть и проверить статистическую гипотезу о случайности отклонений N_x от $f(x)$ [122].

Проверку этой гипотезы проще всего провести с помощью непараметрического критерия знаков. Для этого последовательность отклонений N_x от $f(x)$ представляется в виде последовательности чисел v , где $v=0$, если отклонение больше медианы значений $N_x - f(x)$ и $v=1$, если отклонение меньше медианы значений $N_x - f(x)$. Значения отклонений, равные медиане, опускаются. Подсчитывается число R непрерывных серий нулей и единиц и определяется длина L максимальной серии [122].

$$R = 8; L = 4.$$

Для уровня значимости 5% расхождение между $f(x)$ и $M(x)$ признается случайным, если выполняется следующее неравенства:

$$L < [3,3(\ln n + 1)]; \quad (1.11)$$

$$R > \left[\frac{1}{2} (n + 1 - 1,96\sqrt{n-1}) \right]. \quad (1.12)$$

При $n=8$ неравенство имеет вид:

$$4 < [3,3(\ln 8 + 1)] = 10,162;$$

$$8 > \left[\frac{1}{2} (8 + 1 - 1,96\sqrt{8-1}) \right] = 1,907.$$

Гипотеза о случайности отклонений N_x от $f(x)$ подтверждается.

Математическое ожидание числа электрических травм $M(x)$ при $1 \leq x \leq n$ может быть определено по аппроксимирующей функции, однако, при прогнозе $x > n$, это возможно лишь при условии, если процесс рассеивания фактических значений N_x относительно соответствующих значений $f(x)$ стационарен [122].

Проверим отклонение N_x от $f(x)$ на стационарность. Для анализа травматизма достаточно рассмотреть, такие случайные процессы, которые являются стационарными лишь в течение того промежутка времени, в котором производятся исследования и строится прогноз.

Убедившись, что процесс рассеивания N_x относительно $f(x)$ стационарен, можно утверждать, что в период 2020 по 2022 гг., величина математического ожидания несчастных случаев $M(x)$ может вычисляться по функции $f(x)$.

Для снижения случаев электротравмирования работников энергетического комплекса ОАО «РЖД» и повышения уровня электробезопасности, а так же культуры производства работ можно выделить, как минимум три направления действий:

1. Тотальная замена эксплуатирующего оборудования и технологий. Это направление требует наибольших затрат средств и ресурсов, в частности нужны огромные капиталовложения.

2. Коренной пересмотр подхода к человеческому фактору в системе «человек - машина», ориентированный на повышение надежности профессиональной деятельности персонала.

3. Внедрение новейших средств индивидуальной и коллективной защиты работающих [53,54,55,71].

Средства защиты не всегда могут заменить безопасные методы работы, но они снижают степень риска травмирования персонала, дают выигрыш времени для эвакуации при аварийной ситуации, грозящей несчастным случаем, снижают степень тяжести травмы и повышают шансы пострадавшего на выживание [71].

1.3 Опасные и вредные факторы, связанные с эксплуатацией устройств энергетического комплекса

На контактной сети системы электроснабжения устройств энергетического комплекса применяются, как правило, следующие виды технического обслуживания и ремонта: объезд с осмотром; обход с осмотром; объезд вагоном – лабораторией; объезд с повышенным статическим нажатием токоприемника; диагностические испытания и измерения; текущий ремонт; капитальный ремонт [66,106,120].

В отношении мер безопасности технического обслуживания и ремонта контактной сети подразделяются на выполнения в следующих условиях:

со снятием напряжения и заземлением,
 работа под напряжением,
 работа вблизи частей, находящихся под напряжением,
 работа вдали частей, находящихся под напряжением,
 на высоте [41, 104].

Электрические травмы и заболевания при обслуживании контактной сети происходят от воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля [62]. Опасность травматизма возрастает при расположении рабочего места в зоне движения поездов, на высоте, в зоне не огражденных движущихся (вращающихся) частей, при работе в «опасном» месте.

Основные опасные производственные факторы при эксплуатации контактной сети представлены на рисунке 1.9 [24,62].

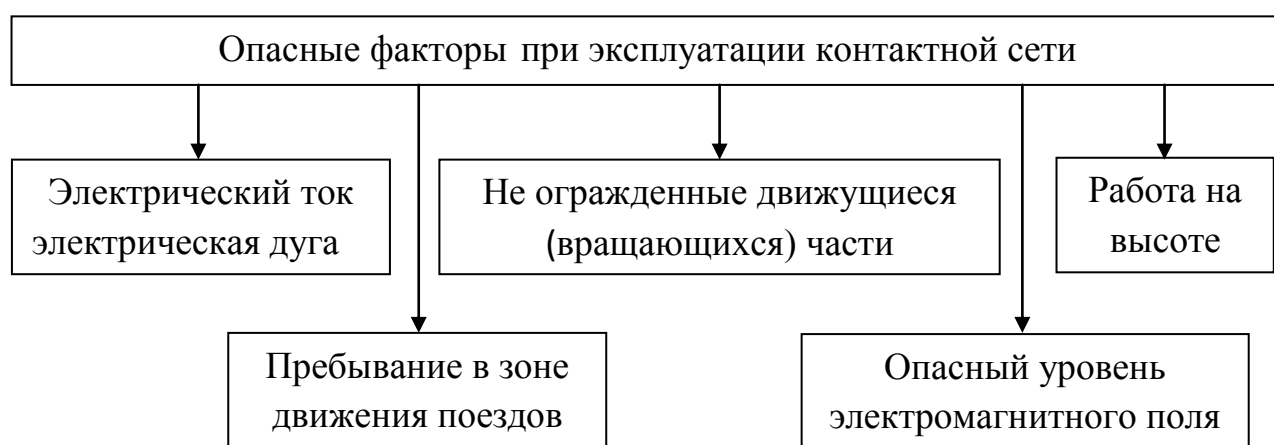


Рисунок 1.9 – Основные опасные факторы при эксплуатации контактной сети

Основные вредные производственные факторы при эксплуатации контактной сети представлены на рисунке 1.10 [24,61].

В процессе эксплуатации электроустановок возникают условия, при которых даже самое совершенное их использование не обеспечивает безопасности работающего и требуется применение специальных дополнительных защитных приспособлений [35,82].

Защитными приспособлениями, дополняющими стационарные конструктивные защитные устройства электроустановок, являются, так называемые защитные средства – переносные приборы и приспособления, служащие для защиты персонала, работающего в электроустановках, от поражения электрическим током, от возникновения электрической дуги, продуктов горения и пр. [35,82].



Рисунок 1.10 – Основные вредные производственные факторы при эксплуатации контактной сети

Согласно [42], к электрозащитным средствам относятся: изолирующие штанги всех видов; изолирующие клещи; указатели напряжения; сигнализаторы напряжения; устройства и приспособления для обеспечения безопасности работ при измерениях и испытаниях в электроустановках; диэлектрические перчатки, галоши, боты, ковры и подставки; защитные ограждения; изолирующие накладки

и колпачки.

При работе на устройствах контактной сети для обеспечения безопасности используются:

средства защиты от поражения электрическим током (электрозащитные средства);

средства индивидуальной защиты (средства защиты головы, глаз и лица, рук, ног, органов дыхания, защиты от падения с высоты; одежда специальная защитная) [42].

При производстве работ в электроустановках применяются Правила [104], которые регламентируют нормы комплектования средствами защиты районы контактной сети. Нормы комплектования районов контактной сети средствами защиты представлены в таблице 1.7. С учетом местных условий, нормы оснащённости районов контактной сети защитными средствами уточняются и утверждаются ответственным за электрохозяйство организации.

Таблица 1.7 – Нормы комплектования районов контактной сети средствами защиты

№	Наименование средств защиты	Ед. изм.	Количество	Примечание
1	Съёмная изолирующая вышка			Обязательное условие - обеспечение сохранности
	1.1 Сортировочная станция	шт.	1 на парк	
	1.2 Станции внеклассные первого и второго класса	шт.	2 по горловинам	
	1.3 Остальные станции	шт.	1 у поста ЭЦ	
	1.4 Перегон	шт.	1 на перегон	
	1.5 Депо района контактной сети	шт.	2	
2	Штанга заземляющая с блокировкой для контактной сети			
	2.1 Постоянный ток	шт.	14	
	в т.ч. автомотриса	шт.	5	
	автолётучка	шт.	2	

Продолжение таблицы 1.7

	2.2 Переменный ток	шт.	18	При наличии экранирующего усиливающего провода 20 шт.
	в т.ч. автомотриса	шт.	5	
	автолетучка	шт.	-	
3	Штанга заземляющая для ВЛ-6,10 кВ типа ЗПЛ	шт.	4	
4	Штанга изолирующая универсальная (ШЭУ)	шт.	2	
5	Изолирующая штанга (оперативная или универсальная)	шт.	2	
6	Указатель напряжения (УВНК-10Б)	шт.	3	
7	Указатель напряжения 0,4 кВ	шт.	2	
8	Изолирующие клещи до 1000 В	шт.	1	
9	Штанга заземляющая для ВЛ-0,4 кВ	шт.	2	
10	Переносная шунтирующая штанга $S \geq 50 \text{ мм}^2$	шт.	2	
11	Указатель напряжения для фазировки	шт.	1	
12	Набор инструмента с изолирующими рукоятками	компл.	2	
13	Изолирующая навесная стеклопластиковая лестница для выполнения работ под напряжением	шт.	1	

Рассмотрим более подробно отечественные и зарубежные переносные заземляющие устройства (защитные заземления), применяемые при эксплуатации устройств энергетического комплекса железных дорог.

1.4 Анализ переносных защитных заземлений, применяемых на контактной сети электротехническим персоналом энергетического комплекса, пути развития эффективности

При производстве работ на отключенных устройствах контактной сети энергетического комплекса, работающие подвергаются опасности поражению электрическим током, вследствие ошибочной или случайной подачи напряжения к месту работы.

Как показал опыт, существующие меры не могут полностью исключить возможность подачи напряжения на отключенный участок контактной сети, как по вине персонала, так и от влияния соседних линий, находящихся под рабочим напряжением, вследствие разряда молнии в контактную сеть или вблизи нее, падения провода, находящегося под напряжением, на отключенный участок и т.п.

Поэтому при работе на отключенном участке контактной сети всегда следует считаться с возможностью случайного появления напряжения на месте работ и принимать меры, которые исключили бы при этом опасность поражения работающих током.

Такой мерой является заземление участка контактной сети с помощью переносного защитного заземления. Благодаря этому, на таком участке в случае его включения напряжение токоведущих частей относительно друг друга (при работе под напряжением применяются штанги для переноса и выравнивания потенциала) и относительно земли, окажется незначительным и, как правило,

безопасным для человека. Вместе с тем, короткое замыкание вызовет быстрое отключение установки релейной защиты [35].

1.4.1 Отечественные переносные защитные заземления, применяемые при эксплуатации контактной сети энергетического комплекса

Заземление контактной сети на месте работ, является основным мероприятием, гарантирующим безопасность работающих в случае ошибочной или случайной подачи напряжения на отключенный для работ участок сети.

При правильно установленном заземлении, провода заземляющих штанг надежно защищают работающих. В случае подачи в контактную сеть напряжения, происходит короткое замыкание, вызывающее отключение соответствующих быстродействующих выключателей тяговых подстанций и постов секционирования.

Одна из первых заземляющих штанг на контактной сети была выполнена из деревянного сухого шеста длиной около 5 метров, снабженного в верхнем конце крюком из круглой меди (обычно из контактного провода). От крюка отходил медный заземляющий провод длиной около 10 метров, к нижнему концу его присоединен специальный башмак, с помощью которого провод присоединяется к тяговому рельсу [126].

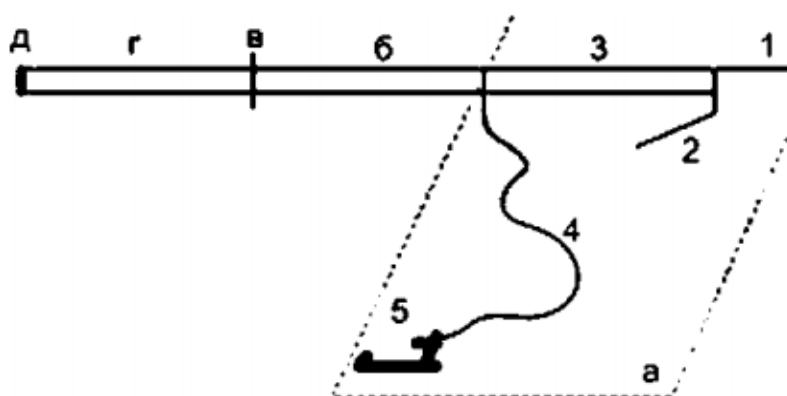
Рассмотрим более подробно изолирующие штанги и штанги для переноса и выравнивания потенциала, применяемые на контактной сети железных дорог в настоящее время.

К изолирующим штангам для заземления контактной сети предъявляются требования [28,29,30,31].

Переносное заземляющее устройство может выполнять свою защитную

роль только в том случае, если в течение всего времени протекания по нему тока короткого замыкания не будет нарушено соединение всех фаз установки между собой и землей, т.е. если переносное заземление будет обладать достаточной термической и динамической устойчивостью [35].

Изолирующая штанга контактной сети для переносного заземляющего устройства должна состоять из следующих основных частей в соответствии с рисунком 1.11:



а – рабочая часть; б – изолирующее звено; в – ограничительное кольцо; г – рукоятка; д – заглушка; 1 – усовик; 2 – крюк (заземляющий зажим); 3 – токопроводящее звено; 4 – заземляющий проводник; 5 – контактное соединение для крепления с рельсом.

Рисунок 1.11 – Принципиальная схема переносной заземляющей штанги

На сегодняшний день, для заземления контактной сети энергетического комплекса ОАО «РЖД» используют промышленные переносные заземляющие устройства типа УЗП-ЗПМ (с головкой поворотной) и УЗП-ЗМ (с пружинным захватом), имеющие усовик для проверки отсутствия напряжения в контактной сети «на искру». Порядок проверки «на искру» отсутствия напряжения в контактной сети заземляющей штангой изложен в [41].

В процессе эксплуатации из-за отсутствия указателя постоянного напряжения, имеются случаи завешивания заземляющих штанг, когда контактная сеть находилась под рабочим напряжением, что приводит к повреждению устройств контактной сети и заземляющих штанг, при этом существует высокий риск ожогов и электрического травмирования персонала.

В зимнее время из-за наледи и мерзлого балласта затруднена установка заземляющего башмака и требует значительных усилий и времени. Это привело к смертельным случаям в 2017 и 2018 году. В декабре 2018 года бригада использовала одну заземляющую штангу, присоединенную вместо рельса к раме автотрисы. Когда еще в декабре 2017 года все районы контактной сети должны были демонтировать все заземляющие штанги, установленные на площадках автотрис и использовать в работе только переносные штанги (телеграмма № исх.-23015 от 30.11.2017г.). При очередном переезде автотрисы штага была снята с контактной сети и электромонтер смертельно травмирован наведенным напряжением.

При работе на мачтовых разъединителях возникают трудности при подключении заземляющего башмака, так как тяговый рельс находится на достаточно большом расстоянии, приходится применять питающий зажим контактной сети КС-054 для соединения шлейфа заземляющей штанги с внешним заземляющим контуром. При заземлении питающих фидеров даже в середине пролета в большинстве случаев не хватает длины заземляющей штанги и заземляющего троса [84].

Анализ конструктивного исполнения и технических характеристик защитных переносных заземляющих штанг представлен в таблице Б1 приложения Б [38,46,47,48].

Анализ показывает, что многие зарубежные переносные защитные заземляющие штанги превосходят по техническим характеристикам отечественные переносные защитные заземляющие штанги для заземления контактной сети.

Анализ конструктивного исполнения штанг для переноса и выравнивания потенциала представлен в таблице Б2 приложения Б [38,46,47,48].

1.4.2 Зарубежные переносные защитные заземления, применяемые при эксплуатации контактной сети

За рубежом в *ЕС* к заземляющим штангам контактной сети предъявляются требования в соответствии стандарта *EN 61230:2008* «Переносное оборудование для заземления или для заземления и закорачивания».

Общие конструктивные особенности, применяемых в *ЕС* переносных заземляющих устройств, приведены на рисунке 1.12 [130].

За рубежом, например в Германии, применяются различные варианты переносных заземляющих устройств контактной сети для определенного технологического процесса.

Заземляющее устройство типа:

JK22-8WL состоит из зажима *JK 22* для контактного провода, гибкого заземляющего кабеля из меди длиной 7 метров с изоляцией *ESTPR*, магнитного зажима для рельса типа *8WL*;

JK22-JK-152 зажим заземления *JK-152* соединяется с головкой рельса;

JK22-JK-238 и *JK22-JK-250* заземляющий зажим *JK-238* или *JK-250* соединен с основанием рельса, что позволяет железнодорожным транспортным средствам проходить. *JK-238* и *JK-250* предназначен только для кратковременного использования на рельсе;

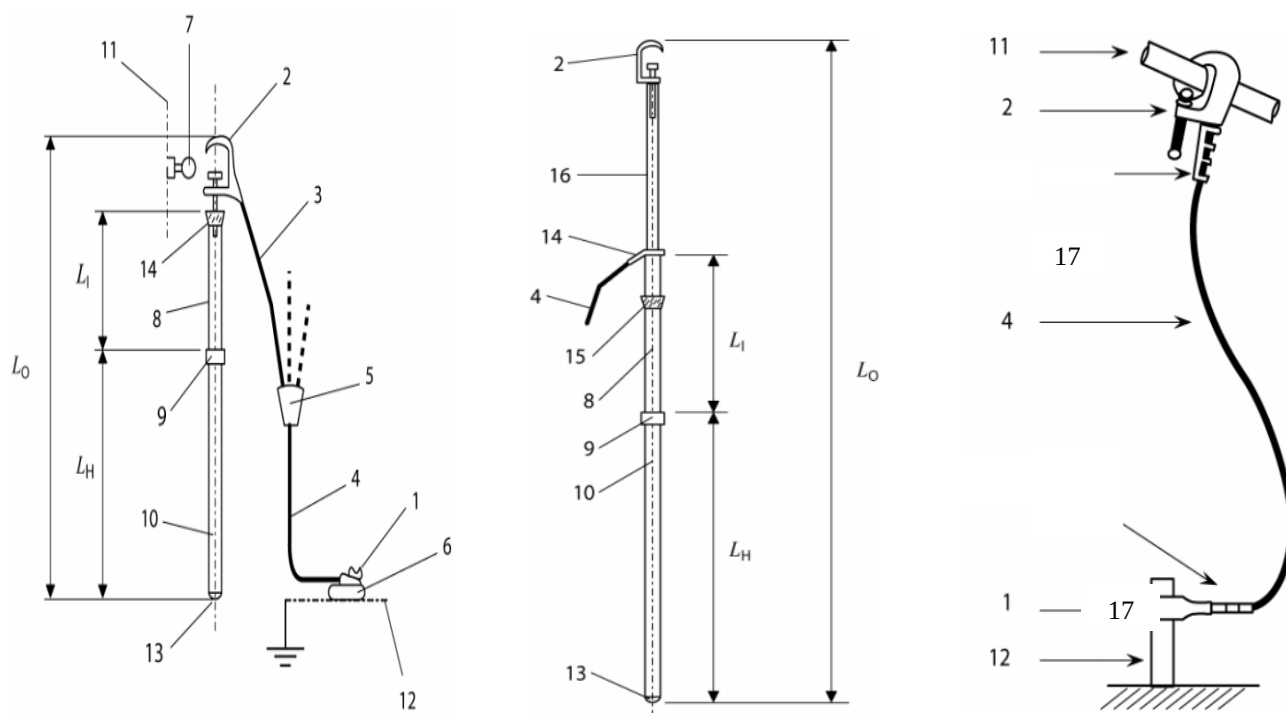
JK22-JK360 зажим заземления *JK 360* соединен с основанием рельса, что позволяет рельсовым транспортным средствам проходить. Зажим имеет встроенный скребковый инструмент для чистки подошвы рельса. Зажим заземления *JK 360* закрепляется с применением храпового ключа типа *BV 5217*;

JK 74 JK 78T с предупреждающим знаком и держателем для кабеля. Заземляющий зажим *JK 78 T* соединен с опорой рельса, что позволяет проходить рельсовым транспортным средствам;

JK22-JK-152/1, JK-152/2 предназначено для наложения заземления на

контактный провод и два рельса, что позволяет осуществить занятость пути.

Шунт типа *JK361-JK-362* с ключом *BV 5217* для обеспечения электробезопасности при разрыве рельсовой сети. Зажимы *JK 361* и *JK-362* имеет встроенный инструмент для очистки основания рельса [38,46,47,48].



1 – заземляющий зажим или крюковой рельсовый болт для заземления; 2 – линейный зажим или контактный линейный зажим; 3 – закорачивающий кабель; 4 – заземляющий кабель; 5 – соединительный блок; 6 – крепление заземления для неподвижного соединения или рельс; 7 – крепление линии для неподвижного линейного соединения или подвесной контактный линейный профиль; 8 – изолирующий элемент; 9 – отметка ограничителя рукоятки; 10 – рукоятка заземляющего стержня; 11 – проводник электрооборудования или шина; 12 – система заземления; 13 – защитная заглушка стержня; 14 – концевой соединитель, постоянный или съемный; 15 – соединитель изолирующего стержня, может сниматься для удобства перевозки; 16 – токопровод; 17 – соединительная муфта; L_I – длина изолирующей секции; L_H – длина рукоятки; L_O – общая длина заземляющего стержня и токопровода

Рисунок 1.12 – Заземляющие устройства, применяемые за рубежом

Анализ конструктивного исполнения переносных заземляющих штанг, применяемых за рубежом (страны ЕС), представлен в приложении Б, таблице Б 1 с п.6., а штанг для переноса и выравнивания потенциала представлен в приложении Б, таблице Б 2 с п.6.

За рубежом применяются конструкции переносных заземляющих штанг для контактной сети, предусматривающие отсоединение телескопического заземляющего стержня (ручки) от заземляющей клеммы, к которой присоединен заземляющий трос [134,135]. При этом большое внимание уделяют испытанию переносных заземляющих устройств, проверке жизненного цикла их элементов и отслеживанию процессов электрической коррозии заземляющего троса [131].

Рассмотренные переносные заземляющие устройства в приложении Б таблица Б1 по сравнению с отечественными заземляющими устройствами не имеют блокировочных устройств и «усовика» для проверки отсутствия напряжения, но имеют меньшую массу и габарит. Проверка отсутствия напряжения осуществляется указателем напряжения. Заземляющее устройство накладывается на ранее смонтированные контактные фитинги. На рисунке 1.13 представлен контактный фитинг для прикрепления заземляющего зажима.



Рисунок 1.13 – Контактный фитинг

Отсутствие напряжения в контактной сети проверяется с помощью телескопических тестеров напряжения. На рисунке 1.14 представлен телескопический тестер напряжением до 36 кВ (переменного и постоянного напряжения) типа ТТ 36.



Рисунок 1.14 – Телескопический тестер напряжением до 36 кВ типа ТТ 36

Тестер напряжением до 36 кВ точно отображает уровень напряжения от 40 В до 36000 В переменного / постоянного тока. Имеет большой двухцветный дисплей с подсветкой (красный / белый) для четкого предупреждения об опасном напряжении. Предупреждения об опасном напряжении во всех направлениях 360° осуществляется красным / зеленым светодиодным дисплеем, а так же акустическим сигналом.

В тестере предусмотрена встроенная самопроверка для быстрой оценки качества защитных резисторов, соединительного кабеля, дисплея и электроники; предусмотрена защита от перенапряжения свыше 100 кВ с высокой безопасностью благодаря герметичным защитным резисторам.

Высота измерения телескопического тестера в зависимости от типа варьируется от 6,2 до 10 метров; транспортная длина от 1,74 до 2,23 метра и вес от 4,5 до 6,5 кг.

Фиксированное соединение с потенциалом земли осуществляется с помощью магнита, рельсового зажима, универсального зажима (рисунок 1.15) [46].



Рисунок 1.15 – Соединение кабеля тестера с потенциалом земли

1.5 Пути развития эффективности переносных защитных заземлений

Проведем сравнительный анализ заземляющих штанг контактной сети, применяемых в России и в зарубежных странах. Результаты приведены в таблице 1.8 [84].

Таблица 1.8 – Сравнительный анализ заземляющих штанг контактной сети, применяемых в России и за рубежом

Параметры переносного заземляющего устройства	Российская Федерация	Зарубежные страны
Конструкция	Ручка состоит из нижней изолирующей части и верхней токопроводящей части в виде трубы	Ручка телескопическая, состоит из изолирующей части
Крепление заземляющего троса	Заземляющий трос крепится к верхней токопроводящей части	Заземляющий трос крепится к заземляющему зажиму

Продолжение таблицы 1.8

Крепление к контактной подвеске	Крюк с фиксирующей пружиной с силой нажатия не менее 30 Н	Зажим
Отсоединение ручки	Ручка складывается в шарнире в нерабочем положении	Ручка отсоединяется от заземляющего зажима, даже в рабочем положении
Проверка отсутствия напряжения	Имеется на крюке усовик, проверка на «искру»	Проверка с помощью указателя напряжения
Заземляющий башмак	С блокировкой безопасности	Зажим (или магнитный заземляющий зажим)
Масса, кг	13,5	11,3
Длина устройства, мм	5700	6400
Длина сложенного устройства, мм	3179	2000
Срок службы, лет	15	15
Сечение заземляющего провода, мм ²	Не менее 50	От 25 до 130
Усиление нажатия фиксатора штанги, Н	Не менее 68,6	-
Наличие усовика (для проверки отсутствия напряжения)	Да	Нет

Из проведенного анализа следует, что для снижения риска электрического травматизма при эксплуатации переносных заземляющих устройств на контактной сети необходимо разработать переносные заземляющие устройства под определенный вид работы, с учетом опыта зарубежных стран.

Переносное заземляющее устройство должно предусматривать автоматический контроль их применения.

Требуется изменение конструкции в части применения отдельной изолированной, съемной, телескопической ручки, которая позволит уменьшить

габариты и вес переносного заземляющего устройства, тем самым, обеспечит более комфортную эксплуатацию переносного заземляющего устройства и примет эргономичный вид.

Эффективным путем развития средств защиты от электрического травмирования работников энергетического комплекса ОАО «РЖД», является усовершенствование конструкции заземляющей штанги контактной сети. Актуально разработать способы, устройства и методику фиксации применения заземляющих устройств, а также штанг для переноса и выравнивания потенциала в режиме реального времени.

Выводы по первой главе

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 энергетического комплекса ОАО «РЖД» во время трудовой деятельности составляет $144 \cdot 10^{-6}$ чел./год, а при обслуживании и ремонте устройств контактной сети составило $163 \cdot 10^{-6}$ чел./год, что многократно превышает риск смертельного природного воздействия на человека.

2. Результаты статистического метода анализа электрического травматизма показали как в целом по энергетическому комплексу ОАО «РЖД», так и по отдельным отраслям структурным подразделениям, например, контактная сеть, тяговые подстанции, отсутствие тенденции снижения коэффициентов частоты, тяжести и частоты смертельного травматизма за рассматриваемый период.

Прогнозные значения количества смертельных травматических случаев от

электрического тока в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» за период с 2020 по 2022 гг. составил по верхней границе прогноза не более 17 несчастных случаев, а на устройствах контактной сети не более 3.

3. Анализ иностранных переносных заземляющих устройств показал, что при работе на устройствах контактной сети применяются различные варианты переносных заземляющих устройств контактной сети для определенного технологического процесса, что делает их эксплуатацию эргономичной.

4. На основе результатов анализа отечественных и зарубежных заземляющих штанг контактной сети и штанг для переноса и выравнивания потенциала было выявлено перспективное направление их развития, заключавшееся в усовершенствование конструкции и разработке способа, устройства и методику фиксации применения заземляющих устройств, а также штанг для переноса и выравнивания потенциала в режиме реального времени.

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РИСКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАВМ ПЕРСОНАЛА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ ОАО «РЖД»

Снижение индивидуального риска получения электрических травмы при обслуживании устройств контактной сети энергетического комплекса возможно при использовании систем контроля способов и устройств защиты персонала, включая применение переносных заземляющих устройств с помощью изолирующих штанг и штанг для переноса и выравнивания потенциала (далее заземляющие штанги).

Математическое описание последовательности возникновения событий, ведущих к возникновению электрической травмы, ниже выполнено с помощью логико-вероятностного метода.

Составлена логико-вероятностная модель возникновения электрической травмы в процессе эксплуатации контактной сети при использовании системы контроля применения заземляющих штанг для наложения заземления на контактную сеть 3,3 кВ. Дано теоретическое обоснование нового способа контроля применения изолирующих штанг и штанг для переноса и выравнивания потенциала.

С помощью теории нечетких множеств проведены сравнительные расчеты по логико-вероятностным моделям, показавшие эффективность внедрения новых систем контроля при использовании заземляющих штанг и штанг для переноса и выравнивания потенциала.

Предложен метод защитного заземления контактной сети при организации работ по капитальному ремонту железнодорожного пути с заменой рельсошпальной решетки широким фронтом.

2.1 Прогнозирование параметров состояния опасных ситуаций и опасных зон при эксплуатации и ремонте контактной сети

Опыт работы при эксплуатации и ремонте контактной сети показывает, что промышленные переносные защитные заземляющие устройства УЗП-ЗМ и УЗП-ЗПМ с точки зрения осуществления безопасности, имеют ряд существенных недостатков. Например, конструкция защитного устройства не предусматривает контроля процесса завешивания и снятия, отсутствует контроль состояния контакта переносного защитного заземляющего устройства с контактной подвеской. Только наличие заземляющей штанги и надежный контакт ее с заземленной конструкцией контактной сети обеспечивает безопасную работу персонала. Для решения проблемы контроля наличия установленной заземляющей штанги и состояния контакта ее с заземленной конструкцией, разработаны автоматизированные системы, контролирующие процессы завешивания, снятия и состояние контакта переносных защитных заземляющих устройств [1, 60, 81, 83, 87, 89, 91].

Оценить степень эффективности влияния на безопасность эксплуатации и ремонта устройств контактной сети автоматизированных контролирующих устройств достаточно сложно, а для оценки на основе практического применения необходима длительная практика накопления объема полезной информации.

Актуальной задачей является поиск теоретических методов для решения указанной проблемы. Метод логико-вероятностного моделирования позволяет оценить эффективность электрозащитных средств, отразить состояние электрооборудования в момент несчастного случая, учесть действия работника, которые могут привести к электрической травме. Достоинства метода: анализ возникновения опасной ситуации на основе логико-вероятностного моделирования, позволяет обоснованно взвешивать воздействующие факторы, применить оптимальные решения в условиях неполной информации об объекте.

Недостатки метода: необходимость наличия большого объема статистической информации для введения вероятностных показателей опасности; трудности определения конкретных вероятностей событий, особенно связанных с ошибочными действиями человека или сознательными нарушениями требований безопасности [111].

Логико-вероятностное моделирование применялось в научных работах [52,54,59,64,71,73,74,75,76,112,114] и многих других, предлагается применить эту модель к анализу событий при эксплуатации и ремонте контактной сети.

Для построения базовой структурной схемы логико-вероятностной модели воспользуемся [41]. На рисунке 2.1 представлена базовая структурная схема логико-вероятностной модели возникновения электрической травмы при эксплуатации и ремонте контактной сети [57].

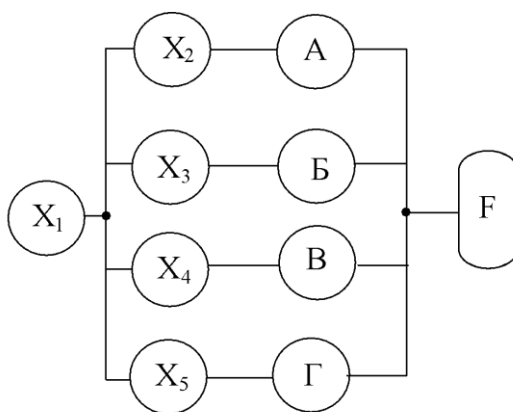


Рисунок 2.1 – Базовая структурная схема логико – вероятностной модели возникновения электрической травмы при эксплуатации и ремонте контактной сети

На структурной схеме логико – вероятностной модели возникновения электрической травмы при эксплуатации контактной сети представлены основные виды работ:

X_1 – эксплуатация контактной сети (в целом),

X_2 – работа со снятием напряжения и заземлением,

X_3 – работа под напряжением,

X_4 – работа вблизи частей, находящихся под напряжением,

X_5 – работа вдали частей, находящихся под напряжением,

А, Б, В, Г – группы свойственных данному виду работ событий, которые могут привести к электрическому травмированию работника (событию F) [59].

Представим структурную схему логико – вероятностной модели возникновения электрической травмы при эксплуатации контактной сети на рисунке 2.2, расшифровка включенных в нее событий – таблице 2.1.

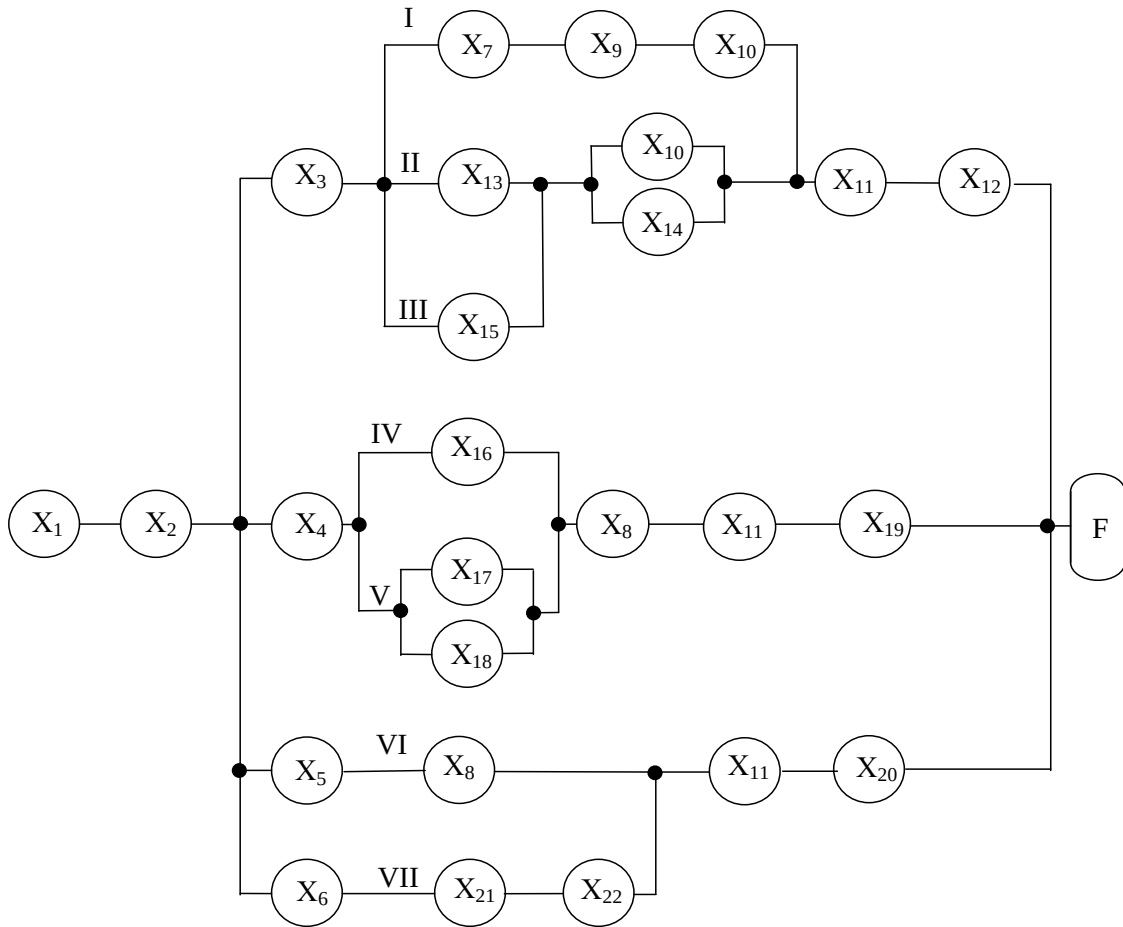


Рисунок 2.2 – Структурная схема логико – вероятностной модели возникновения электрической травмы при эксплуатации контактной сети

Логическая модель, отражающая получение электрической травмы работником, имеет вид [17], где знаки $\wedge$ – И; $\vee$ – ИЛИ:

$$\begin{aligned}
 F = & X_2 \vee X_3 \vee (X_7 \wedge X_9 \wedge X_{10} \wedge X_{11} \wedge X_{12}) \vee (X_{13} \vee X_{10} \vee X_{14} \vee X_{11} \wedge X_{12}) \vee (X_{15} \vee X_{10} \vee X_{14} \vee X_{11} \wedge X_{12}) \vee \\
 & \vee X_4 \vee (X_{16} \wedge X_8 \wedge X_{11} \wedge X_{19}) \vee (X_{17} \vee X_{18} \vee (X_8 \wedge X_{11} \wedge X_{19})) \vee (X_5 \wedge X_8 \wedge X_{11} \wedge X_{20}) \vee \\
 & \vee (X_6 \wedge X_{21} \wedge X_{22} \wedge X_{11} \wedge X_{20})
 \end{aligned}
 \quad (2.1)$$

Таблица 2.1 – Элементы логико – вероятностной модели возникновения электрической травмы при эксплуатации и ремонте контактной сети

Группы событий	Обозначения	Содержание события
События, связанные с эксплуатацией и ремонтом устройств электрооборудования 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 электрозащитных 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 потенциалным 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

Элементы схемы соединяются последовательно (логический знак «И») определяется по теореме умножения вероятностей независимых событий:

$$P\left(\prod_{i=1}^n S_i\right) = \prod_{i=1}^n P(S_i). \quad (2.2)$$

Для определения общей вероятности группы событий, расположенных в схеме параллельно (логический знак «ИЛИ»), используется теорема сложения вероятностей несовместных событий [18,59,62]:

$$P\left(\sum_{i=1}^n S_i\right) = \sum_i P(S_i) - \sum_{i,j} P(S_i, S_j) + \sum_{i,j,k} P(S_i, S_j, S_k) + \dots (-1)^{n-1} P(S_1, S_2 \dots S_n). \quad (2.3)$$

При этом, каждая пара элементов схемы, соединенных параллельно и имеющих вероятности p_i и p_j , заменяется одним элементом с вероятностью $1-(1-p_i)(1-p_j)$.

Последовательное применение правил редукции (уменьшения числа элементов) позволяет определить вероятность возникновения конечного события [59,62].

В соответствии с логико - вероятностной моделью (рисунок 2.2) вероятность получения электрической травмы рассчитывается по формуле

$$P(F) = (1-p_2) \{ \{ 1-(1-p_3) [1-(1-p_7 p_9 p_{10})(1-p_{13}) (1-(1-p_{10}) (1-p_{14})) (1-p_{15}) (1-(1-p_{10}) (1-p_{14})) \} p_{11} p_{12}] [(1-p_4) \{ 1-(1-p_{16})(1-(1-p_{17})(1-p_{18})) p_8 p_{11} p_{19} \} [(1-p_5 p_8) (1-p_6 p_{21} p_{22})] p_{11} p_{20} \} \} \quad (2.4)$$

С помощью логико - вероятностной модели, возможно, определить влияние электрозащитных средств и методик их применения на вероятность возникновения электрической травмы, оценить эффективность автоматизированных систем контроля.

Логико-вероятностный метод моделирования нежелательных событий имеет существенный недостаток, обусловленный трудностями определения конкретных вероятностей тех или иных событий, особенно событий, связанных с

ошибочными действиями человека или сознательными нарушениями требований безопасности. В некоторой степени решить эту проблему можно с помощью аппарата теории нечетких множеств, заполняющего пробел в области структурированной неопределенности там, где нельзя корректно применить статистику и вероятности.

2.2 Применение теории нечетких множеств с целью прогнозирования электроопасных ситуаций

В [51,73] показано, что обобщение классического понятия «множество» для более корректного и полного использования описаний тех или иных процессов привело к понятию «нечеткое множество»:

$$\tilde{A} = \{(\mu_A(x), x)\} \quad (2.5)$$

или

$$\tilde{A} = \bigcup_{x \in X} \mu_A(x) A^{(x)/x}, \quad (2.6)$$

где X – универсальное множество;

$\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$ – функция принадлежности, которая ставит в соответствие каждому множеству число $\mu_A(x) \in [0, 1]$, характеризующее степень его принадлежности множеству $\tilde{A}$.

В множество $\tilde{A}$ не включаются элементы для которых $\mu_A(x) = 0$.

Таким образом, нечеткое множество – это математическая структура, позволяющая оперировать с относительно неполно определенными элементами.

Множество

$$\text{Supp } \tilde{A} = \{x \in X | \mu_A(x) > 0\} \quad (2.7)$$

называется носителем нечеткого множества $\tilde{A}$, а множество

$$A_\alpha = \{x \in X | \mu_A(x) \geq \alpha\}, \alpha \in [0,1] \quad (2.8)$$

называется множеством α уровня нечеткого множества A .

Построение математических моделей возникновения нежелательных событий характеризуется отсутствием статистических данных о неопределенных параметрах ситуации, наличием двух видов неопределенности (стохастичность, обусловленная природой процесса возникновения нежелательного события, и нечеткость, обусловленная качественными описаниями компонентов модели), необходимостью оперировать со стохастической неопределенностью, как при четком (частотная, субъективная вероятность), так и при нечетком описании вероятностных характеристик.

Таким образом, из-за существенных неопределенностей при моделировании нежелательных событий необходимы дополнительная информация (например, от экспертов) и средства представления и использования этой информации для выбора альтернативы на отдельных этапах построения модели.

Вероятности элементов структурной логической модели возможности возникновения случайного неблагоприятного воздействия электрического тока промышленной частоты на персонал с учетом нечеткости и неопределенности имеющихся данных устанавливаются, как нечеткие числа $\tilde{p}$ с треугольным представлением функции принадлежности $\mu_{\tilde{p}} : [0,1] \rightarrow [0,1]$.

При построении математических моделей с использованием нечеткого множества чисел для упрощения выполнения арифметических операций целесообразно строить треугольную функцию принадлежности. Функция

принадлежности нечеткого числа $\tilde{P}$; имеющая треугольное представление, задается формулой:

$$\mu_{\tilde{X}}(p) = \begin{cases} 0 & \text{при } p < P' \\ \frac{p-P'}{\beta(p)} & \text{при } P' \leq p \leq P \\ \frac{P''-p}{\beta(p)} & \text{при } P \leq p \leq P'' \\ 0 & \text{при } p > P'' \end{cases}, \quad (2.9)$$

а унимодальное нечеткое число $\tilde{P}$ определяется тройкой (P', P, P'') (рисунок 2.3), где P – среднее значение (мода) нечеткого числа $\tilde{P}$;

P' и P'' – нижняя и верхняя границы его функции принадлежности [49,112].

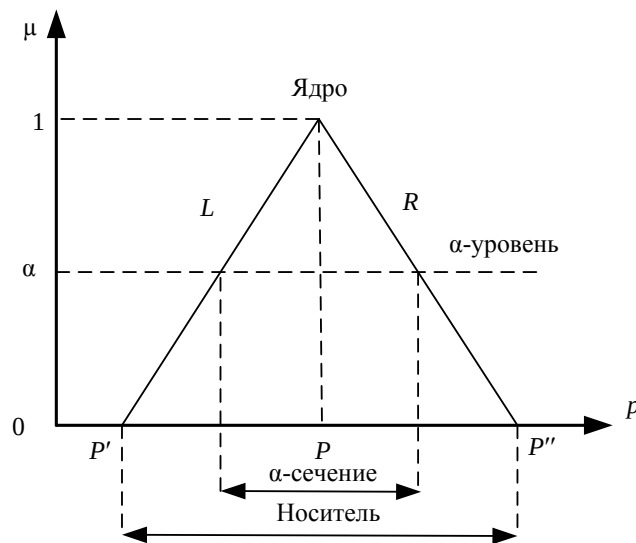


Рисунок 2.3 – Нечеткое число $\tilde{P}$ с треугольным заданием функции принадлежности

Задача построения функции принадлежности сводится к определению P' и P'' .

P' и P'' можно рассчитать по формулам:

$$P' = P - \beta(p), \quad (2.10)$$

$$P'' = P + \beta(p), \quad (2.11)$$

где $\beta(p)$ определяется в зависимости от разряда младшей значащей цифры числа P .

Таблица 2.4 – Значения $\beta(p)$ в зависимости от p

№	p	$\beta(p)$
1	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9	$0,46p$
2	10, 20, 30, 40, 60, 70, 80, 90	$(0,357-0,00163p) p$
3	35, 45, 55, 65, 75, 85, 95	$(0,213-0,00067p) p$
4	5	2,8
5	15	6,45
6	25	6,75
7	50	24
8	Прочие двузначные числа	$\frac{1}{2} \left(\beta \left(\left[\frac{p}{10} \right] 10 + 5 \right) + \beta \left(p - \left[\frac{p}{10} \right] 10 \right) \right)$

$[\dots]$ – целая часть [114].

Арифметические действия нечетких чисел (A', A, A'') и (B', B, B'') выполняются по правилам [75,76]:

сложения

$$C = A + B, \quad C' = A' + B', \quad C'' = A'' + B''; \quad (2.12)$$

вычитания

$$C = A - B, \quad C' = A' - B', \quad C'' = A'' - B''; \quad (2.13)$$

умножения

$$C = A \cdot B, \quad C' = AB' + A'B - AB, \quad C'' = AB'' + A''B - AB; \quad (2.14)$$

деления

$$C = \frac{A}{B}, C' = \frac{AB'' - A'B}{B^2}, C'' = \frac{A''B - AB'}{B^2}. \quad (2.15)$$

2.3 Разработка математической модели возникновения несчастного случая при работах на контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением

Рассмотрим ветви I, II, III структурной схемы логико-вероятностной модели возникновения электрической травмы при эксплуатации контактной сети (рисунок 2.2).

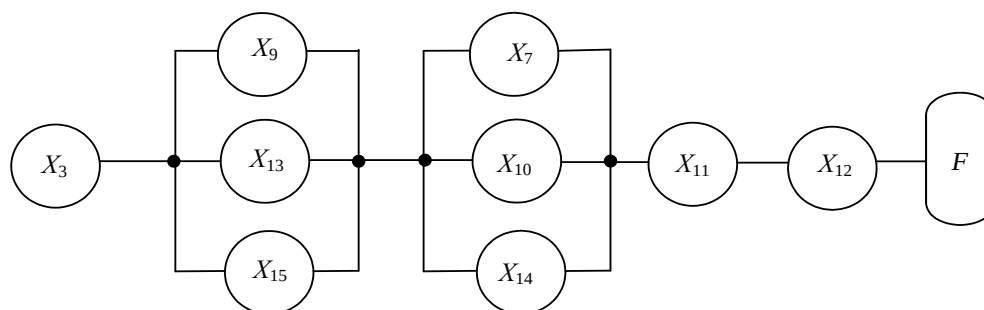


Рисунок 2.4 – Структурная схема логико-вероятностной модели возникновения электрической травмы при эксплуатации контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением без применения контролирующего устройства

Независимые последовательности событий выступают, как самостоятельные логико-вероятностные модели, отражающие основные события, ведущие к электрической травме (таблица 2.5). Логико-вероятностная модель включает в себя девять элементов x_i , соответствующих событиям, вероятности которых приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.5 – Элементы логико-вероятностной модели возникновения электрической травмы

Событие	Содержание
X_3	Выполнение работ со снятием напряжения и заземлением
X_7	Недостаточное количество отключений
X_9	Неприменение переносных устройств заземления
X_{10}	Ошибочная подача напряжения
X_{11}	Неприменение электрозащитных средств и средства 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 завешивания и снятия переносных устройств заземления
F	Электрическое травмирование работника

Таблица 2.6 – Вероятность события, ведущего к электрической травме

Элемент	Нечеткая вероятность $\tilde{p}_i$
X_3	$(0,9 \cdot 10^{-1}; 1,4 \cdot 10^{-1}; 1,8 \cdot 10^{-1})$
X_7	$(7,9 \cdot 10^{-2}; 8,7 \cdot 10^{-2}; 9,5 \cdot 10^{-2})$
X_9	$(7,9 \cdot 10^{-2}; 8,7 \cdot 10^{-2}; 9,5 \cdot 10^{-2})$
X_{10}	$(3,9 \cdot 10^{-2}; 4,3 \cdot 10^{-2}; 4,8 \cdot 10^{-2})$
X_{11}	$(9,2 \cdot 10^{-2}; 1,3 \cdot 10^{-1}; 1,7 \cdot 10^{-1})$
X_{12}	$(7,9 \cdot 10^{-2}; 8,7 \cdot 10^{-2}; 9,5 \cdot 10^{-2})$
X_{13}	$(2,1 \cdot 10^{-1}; 2,6 \cdot 10^{-1}; 3,1 \cdot 10^{-1})$
X_{14}	$(1,8 \cdot 10^{-1}; 2,2 \cdot 10^{-1}; 2,6 \cdot 10^{-1})$
X_{15}	$(2,9 \cdot 10^{-1}; 3,0 \cdot 10^{-1}; 3,2 \cdot 10^{-1})$

Основные причины электрического травмирования персонала – неприменение переносных заземляющих устройств либо ошибочные действия персонала при их эксплуатации, что и подтверждает разработанная модель.

Вероятность элемента X_3 может быть найдена при помощи анализа длительности выполнения по категории работ со снятием напряжения и заземлением по формуле:

$$\tilde{p}_3 = \frac{t_{\text{КС}}}{t_{\text{общ}}}, \quad (2.16)$$

где $t_{\text{КС}}$ – время выполнения работ на контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением в течение года, ч;

$T_{\text{общ}}$ – среднегодовой баланс рабочего времени для работников района контактной сети, ч.

Определим значение вероятности $\tilde{p}_3$:

$$\tilde{p}_3 = \frac{282,5}{1976} = 0,14.$$

В соответствии с логико-вероятностной моделью (рисунок 2.4), вероятность получения электрической травмы рассчитывается по формуле:

$$\tilde{P}_1(F) = \tilde{p}_3 [1 - (1 - \tilde{p}_9) \cdot (1 - \tilde{p}_{13}) \cdot (1 - \tilde{p}_{15})] \cdot [1 - (1 - \tilde{p}_7) \cdot (1 - \tilde{p}_{10}) \cdot (1 - \tilde{p}_{14})] \tilde{p}_{11} \cdot \tilde{p}_{12}, \quad (2.17)$$

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

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

Результаты расчетов вероятности получения электрической травмы приведены в приложение В.

$$\tilde{P}_1(F) = (0,3 \cdot 10^{-4}; 2,7 \cdot 10^{-4}; 6,0 \cdot 10^{-4}).$$

Вероятность возникновения электрической травмы 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 2.5) позволяют утверждать, что вероятность возникновения получения электрической травмы по категории работ со снятием напряжения и заземлением равна $\approx 2,7 \cdot 10^{-4}$.

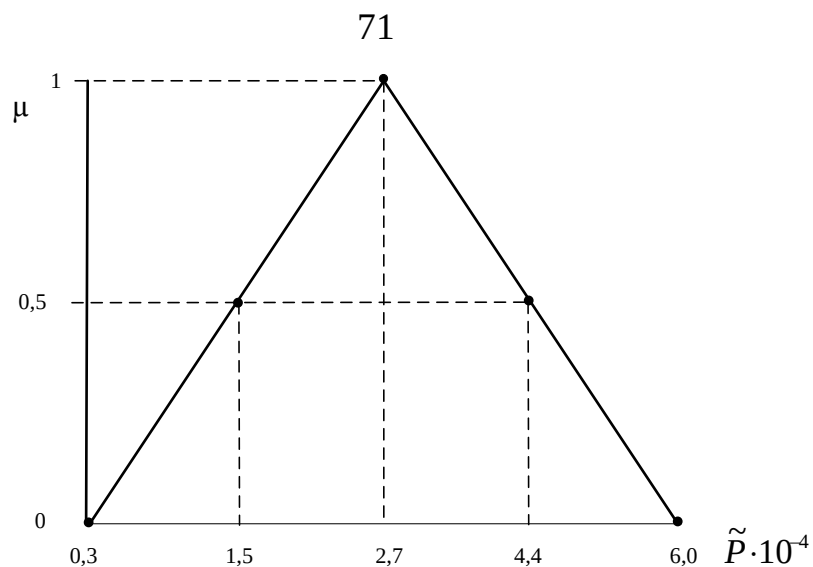


Рисунок 2.5 – Функция принадлежности вероятности $\tilde{P}_1(F)$

Представленная логико-вероятностная модель (рисунок 2.5) соответствует реальным условиям, что проверено с использованием статистики травматизма. Например, с 2012 по 2019 гг. среднее значение вероятности электрической травмы со смертельным исходом по категории работ со снятием напряжения и заземлением в расчете на одного человека составляла $1,9 \cdot 10^{-4}$. Это значение близко к вероятности, рассчитанной по формуле (2.17) представленной логико-вероятностной модели.

2.4 Выявление способов снижения риска электрических травм персонала применением системы контроля переносных заземляющих штанг

Для повышения уровня электробезопасности рассмотрим применение контролирующего устройства [58,87,89,91] при производстве работ на контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением (рисунок 2.7).

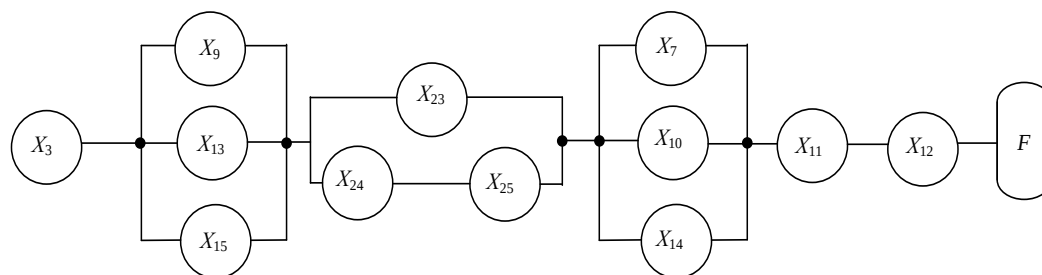


Рисунок 2.7 – Структурная схема логико-вероятностной модели возникновения электрической травмы при эксплуатации контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением с применением контролирующего устройства

Элементы X_{23} , X_{24} , X_{25} добавлены после установки заземляющих штанг, так как контролирующее устройство фиксирует и информирует об их применении. Логико-вероятностная модель включает в себя 12 элементов x_i (таблицы 2.5, 2.6), соответствующих событиям, вероятности которых приведены в таблицах 2.7, 2.8.

Таблица 2.7 – Элементы логико-вероятностной модели возникновения электрической травмы 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))

Таблица 2.8 – Вероятности событий, ведущих к появлению электрической травмы при снятии напряжения и заземлении

Элемент	Нечеткая вероятность $\tilde{p}_i$
X_{23}	$(6,1 \cdot 10^{-2}; 6,8 \cdot 10^{-2}; 7,5 \cdot 10^{-2})$
X_{24}	$(8,0 \cdot 10^{-2}; 8,8 \cdot 10^{-2}; 9,6 \cdot 10^{-2})$
X_{25}	$(8,8 \cdot 10^{-2}; 9,7 \cdot 10^{-2}; 10,6 \cdot 10^{-2})$

В соответствии с логико-вероятностной моделью (рисунок 2.7), вероятность получения электрической травмы по категории работ со снятием напряжения и заземлением с применением контролирующего устройства [87,89,91] рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} \tilde{P}_2(F) = \tilde{p}_3 & \left[1 - (1 - \tilde{p}_9) \cdot (1 - \tilde{p}_{13}) \cdot (1 - \tilde{p}_{15}) \right] \cdot \left\{ 1 - (1 - \tilde{p}_{23}) \cdot (1 - \tilde{p}_{24} \cdot \tilde{p}_{25}) \right\} \cdot \\ & \cdot \left[1 - (1 - \tilde{p}_7) \cdot (1 - \tilde{p}_{10}) \cdot (1 - \tilde{p}_{14}) \right] \cdot \tilde{p}_{11} \cdot \tilde{p}_{12}, \end{aligned} \quad (2.18)$$

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.

Определим значение вероятности получения электрической травмы по категории работ со снятием напряжения и заземлением при использовании системы контроля по рассмотренной ранее модели расчета.

Результаты расчетов вероятности получения электрической травмы приведены в приложение В.

$$\tilde{P}_2(F) = (0,9 \cdot 10^{-5}; 2,0 \cdot 10^{-5}; 6,4 \cdot 10^{-5}).$$

Вероятность возникновения электрической травмы F представляет собой нечеткое число: $(0,9 \cdot 10^{-5}; 2,0 \cdot 10^{-5}; 6,4 \cdot 10^{-5})$.

Значения функции принадлежности в точках из интервала $(0,9 \cdot 10^{-5}; 6,4 \cdot 10^{-5})$ и ее график (рисунок 2.8) позволяют утверждать, что вероятность возникновения получения электрической травмы по категории работ со снятием напряжения и заземлением равна $\approx 2,0 \cdot 10^{-5}$.

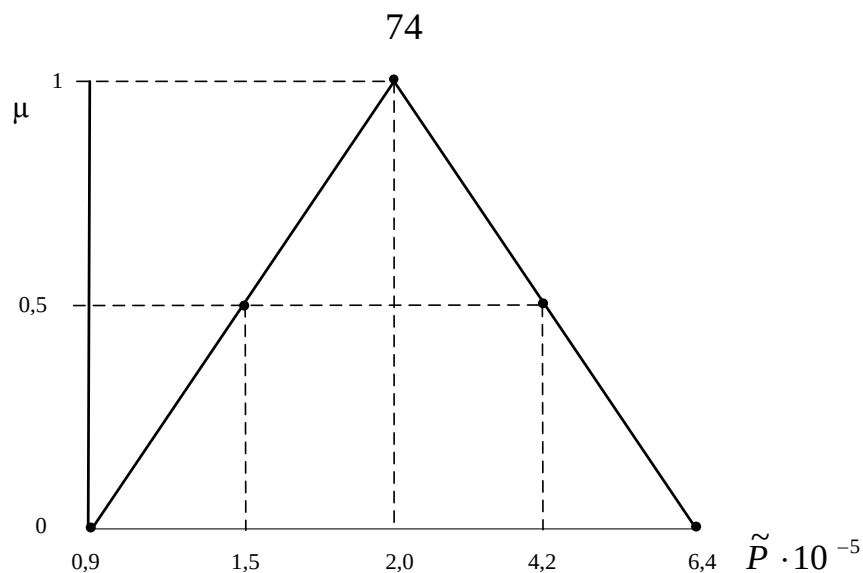


Рисунок 2.8 – Функция принадлежности вероятности $\tilde{P}_2(F)$

2.5 Расчет уровня электробезопасности персонала за счет внедрения системы контроля применения переносных заземляющих штанг

Повышение уровня электробезопасности после внедрения [87,89,91] оценивается измерением вероятности возникновения электрической травмы по категории работ со снятием напряжения и заземлением:

$$\tilde{K}_{\text{ПУЭ}} = \frac{\tilde{P}_1(F)}{\tilde{P}_2(F)}, \quad (2.19)$$

где $\tilde{K}_{\text{ПУЭ}}$ – кратность нечетких вероятностей, характеризующая повышение уровня электробезопасности;

$\tilde{P}_1(F), \tilde{P}_2(F)$ – нечеткие вероятности возникновения электрической травмы при эксплуатации контактной сети по категории работ со снятием

напряжения и заземлением без использования и при использовании контролирующего устройства [63].

Расчет кратности нечеткой вероятности, которая характеризует значение уровня электробезопасности персонала, показал:

$$\tilde{K}_{\text{ПВЭ}} = (3; 13; 24).$$

Моделирование показало, что уровень электробезопасности электротехнического персонала по категории работ со снятием напряжения и заземлением повысится не менее чем в 13 раз.

Проведенный расчет вероятности возникновения электрической травмы при эксплуатации контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением без использования контролирующего устройства [87,89,91] с помощью теории нечетких множеств по разработанной логико-вероятностной модели доказывает высокий индивидуальный риск гибели работников ($2,7 \cdot 10^{-4}$ чел./год). Применение контролирующего устройства [87,89,91] 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), существенно повышая уровень электробезопасности персонала.

2.6 Теоретические исследования электрических процессов на участке контактной сети со снятой рельсошпальной решеткой

Рельсовый путь является элементом силовой высоковольтной тяговой сети, питающей электрические локомотивы постоянного и переменного тока. Тяговая сеть постоянного тока представляет собой однополюсную сеть, в которой

изолированная линия контактной сети подключается к положительному полюсу напряжением 3,3 кВ, а заземленный рельсовый путь - к отрицательному полюсу. При разрыве в любом месте электрической тяговой сети на концах разрыва сети может возникнуть напряжение 3,3 кВ. Аналогичные проблемы возникают на участках переменного тока, где фазное напряжение между контактной сетью и рельсовой сетью составляет 25 кВ. При капитальном ремонте пути со снятием рельсошпальной решетки железнодорожного полотна осуществляется разрыв рельсовой линии и возникают проблемы возникновения электрических травм для персонала железных дорог.

Принципиальная схема короткого замыкания в контактной сети постоянного тока для определения максимального значения величины установившегося тока короткого замыкания в тяговой сети постоянного тока $I_T = I_{T1} + I_{T2}$ представлена на рисунке 2.9

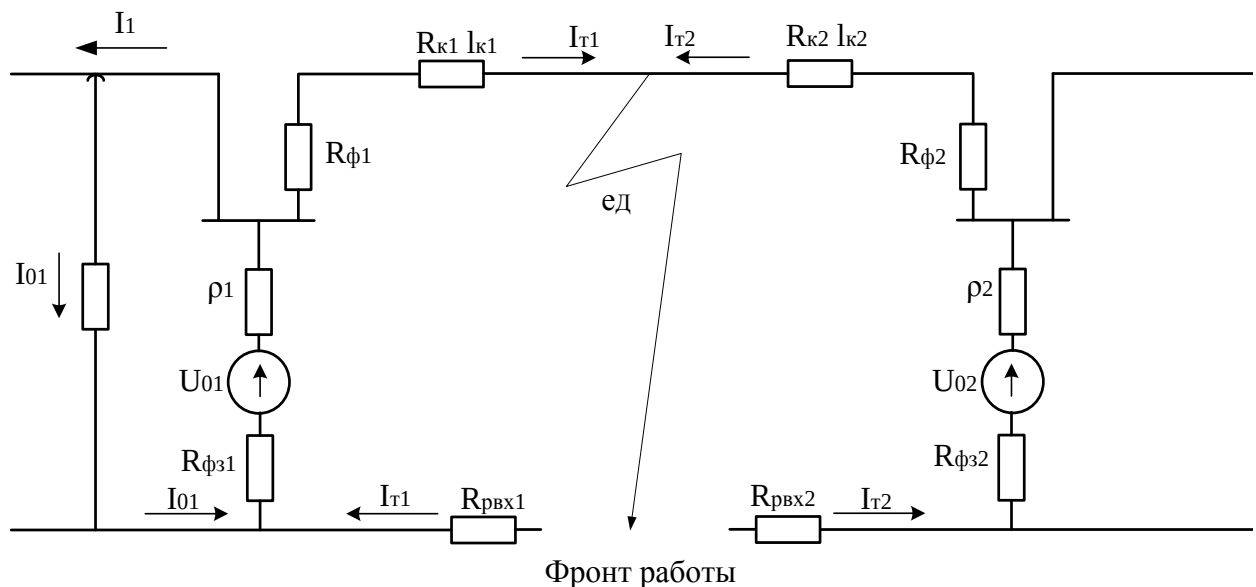


Рисунок 2.9 – Принципиальная схема короткого замыкания в контактной сети постоянного тока

где U_0 – напряжение холостого хода на шинах тяговой подстанции ($U_{0ном} = 3300$ В);

I_0 – ток, потребляемый электрическими локомотивами на соседних фидерных зонах;

l_k – длина линии контактной сети до места короткого замыкания, км;

$R_{p\text{ вх}}$ – сопротивление рельсовой сети в месте короткого замыкания и в месте подключения заземляющего фидера с учетом шунтирующего влияния земли и рельсов, определяемого входным сопротивлением рельсовой сети, Ом;

$R_{\phi з}$ – электрическое сопротивление рельсового фидера рельсовой сети, Ом;

R_{ϕ} – электрическое сопротивление питающего фидера контактной сети, Ом;

ρ – коэффициент, зависящий от количества и схем соединения тяговых агрегатов подстанции, характеризующий внешнюю характеристику источника напряжения

e_d – падение напряжения в электрической дуге, В;

r_k – погонное электрическое сопротивление контактной сети постоянному току, Ом/км;

$R_{и}$ – внутреннее электрическое сопротивление источника напряжения, Ом.

Опасными технологическими состояниями при таком ремонте являются:

- короткое замыкание контактной сети на рельс, строительные конструкции или землю в месте производства работ;
- наличие локомотива в тяговом режиме на соседнем участке рельсовой сети при отключенной контактной сети ремонтируемого участка.

Для предотвращения опасных ситуаций с возможностью электрического травмирования персонала ремонтируемый участок контактной сети не только должен быть отключен, а контактная сеть заземлена, но должен быть шунтирован участок разрыва рельсовой сети при ремонтах железнодорожного пути с заменой рельсошпальной решетки.

В общем случае I_T имеет вид [62]:

$$I_T = \frac{U_{01} \left(1 - \frac{p_1}{100}\right) - I_{01}(R_{и} + R_{\phi 31}) - e_d}{R_{и1} + R_{\phi 1} + R_{\phi 31} + r_{k1} l_{k1} + R_{p\text{ вх}1}} + \frac{U_{02} \left(1 - \frac{p_2}{100}\right) - e_d}{R_{и2} + R_{\phi 2} + R_{\phi 32} + r_{k2} l_{k2} + R_{p\text{ вх}2}} \quad (2.20)$$

$$R_{p \text{ вх}} = \frac{mr_p l}{r_{\text{вх1}} + r_{\text{вх2}} + r_p l} \quad (2.21)$$

При условии $r_{\text{вх1}} = r_{\text{вх2}} = m/2$

$$R_{p \text{ вх}} = \frac{mr_p l}{m + r_p l} \quad (2.23)$$

Волновое сопротивление рельсовой линии определяется:

$$m = \sqrt{r_p \cdot r_{\Pi}}, \quad (2.24)$$

Электрическое сопротивление рельсов постоянному току r_2 может быть определено с учетом соотношения

$$r_p = \frac{r_{pi}}{2n}, \quad (2.25)$$

где r_{pi} – электрическое сопротивление стального рельса постоянному току, Ом·км;

n – количество путей.

Электрическое сопротивление одного стального рельса Р-65 постоянному току при 20 °С равно 0,0285 Ом·км табл. 5.2 [62].

Тогда по формуле (2.25)

$$r_p = \frac{0,0285}{2 \cdot 1} = 0,014 \text{ Ом} \cdot \text{км}.$$

Переходное сопротивление «рельс – земля» определяется

$$r_{\Pi} = 0,128 \cdot \frac{P_{\text{Эгрп}}}{r_p} \cdot 10^{-3}, \quad (2.26)$$

где $P_{\text{эгр}}$ – эквивалентное удельное электрическое сопротивление грунта, включающее удельное сопротивление балластной призмы и насыпи, Ом·м.

Для участка Валёжная – Кутамыш Чусовской дистанции электроснабжения принимаем $P_{\text{эгр}} = 1500$ Ом·м [44].

Тогда по формуле (2.26)

$$r_{\Pi} = 0,128 \cdot \frac{1500}{0,014} \cdot 10^{-3} = 13,71 \text{ Ом} \cdot \text{км}.$$

Тогда по формуле (2.24)

$$m = \sqrt{0,014 \cdot 13,71} = 0,44 \text{ Ом}.$$

Анализ соотношения для определения электрического сопротивления рельсовой сети $R_{\text{р вх}}$ показывает, что при $r_{\Pi} \rightarrow \infty, R_{\text{р вх}} \rightarrow R_{\text{р}} = r_{\text{р}} l_{\text{р}}$, а при $r_{\Pi} \rightarrow 0, R_{\text{р вх}} \rightarrow 0$.

С учетом определенных допущений о том, что $I_0 = I_{\text{ном}} n, U_0 \left(1 - \frac{p}{100}\right) - I_{\text{ном}} n_0 \rho \approx U_{\text{ном}} \left(1 - \frac{p}{100}\right)$, тогда формула для I_T принимает вид:

$$I_T = \frac{U_{\text{ном}} \left(1 - \frac{p_1}{100}\right) - I_{\text{ном}} n_0 R_{\Phi 31} - e_{\text{д}}}{R_{\text{и1}} + R_{\Phi 1} + R_{\Phi 31} + r_{k1} l_{k1} + R_{\text{р вх1}}} + \frac{U_{\text{ном}} \left(1 - \frac{p_2}{100}\right) - e_{\text{д}}}{R_{\text{и2}} + R_{\Phi 2} + R_{\Phi 32} + r_{k2} l_{k2} + R_{\text{р вх2}}}, \quad (2.27)$$

где n_0 – число тяговых агрегатов подстанции.

Произведем расчет параметров рельсовой сети при капитальном ремонте перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш с разрывом рельсовой сети по



1 – тяговая подстанция Кутамыш, 2 – питающий фидер, 3 – фидер обратного тока, 4 – контактная сеть, 5 – рельс, 6 – основные переносные заземляющие штанги, 7 – искусственные заземлители (40 штук)

Рисунок 2.10 – Схема заземления перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш на искусственные заземлители

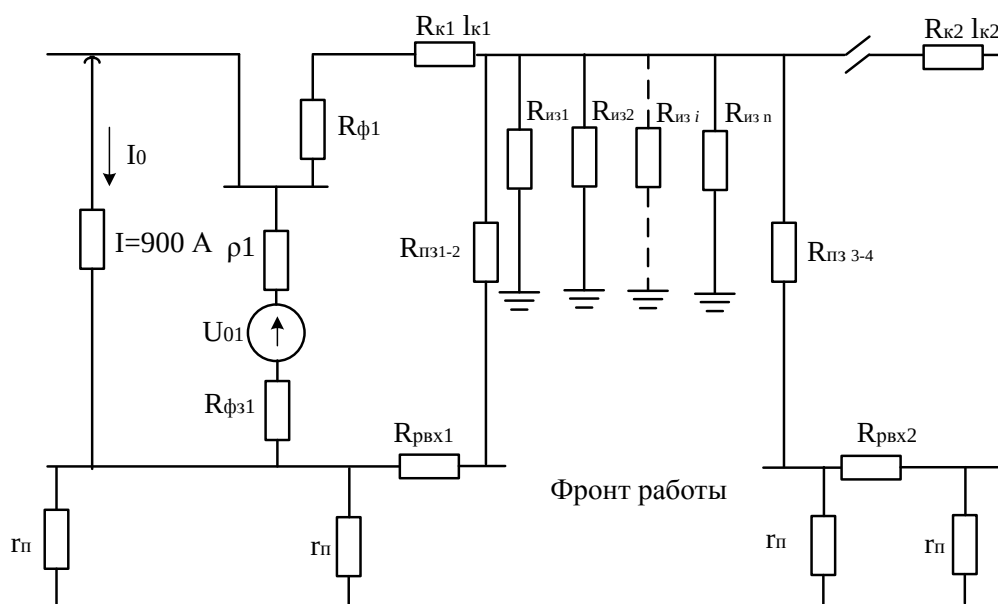


Рисунок 2.11 – Принципиальная схема короткого замыкания в контактной сети
постоянного тока перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш

Контактная подвеска на перегоне ст. Комарихинская – ст. Кутамыш состоит из проводов 2МФ-100+М-120+2А-185, тогда сопротивление контактной подвески определяется [67]

$$r_k = \frac{\rho}{S_m + \frac{S_{AC}}{1,65}} = \frac{18,2}{320 + \frac{370}{1,65}} = 0,033 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}, \quad (2.28)$$

где ρ – удельное сопротивление меди, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{км}}$;

S_m – сечение медных проводов в медном эквиваленте, мм^2 ;

S_{AC} – сечение алюминиевых проводов в медном эквиваленте, мм^2 ;

Произведем расчет $R_{p_{вх1}}$ по формуле (2.23)

$$R_{p_{вх1}} = \frac{0,44 \cdot 0,014 \cdot 2}{0,44 + 0,014 \cdot 2} = 0,026 \text{ Ом.}$$

Определим ток короткого замыкания на перегоне ст. Комарихинская – ст. Кутамыш по формуле (2.27), пренебрегая сопротивлением в электрической дуге

$$I_T = \frac{3300 \cdot \left(1 - \frac{2,5}{100}\right) - 900 \cdot 1 \cdot 0,039}{3,67 + 0,723 + 0,039 + 0,033 \cdot 1 + 0,026} = 708,61 \text{ А.}$$

Проведя экспериментальные измерения на разных километрах перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш сопротивления растеканию тока искусственного заземлителя, погруженного в грунт на глубину не менее 1,2 метра, среднее значение составило 150 Ом. Протокол измерения сопротивления заземляющих устройств приведен в приложении Г. На рисунке 2.12 представлена

принципиальная схема заземления перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш согласно [108].

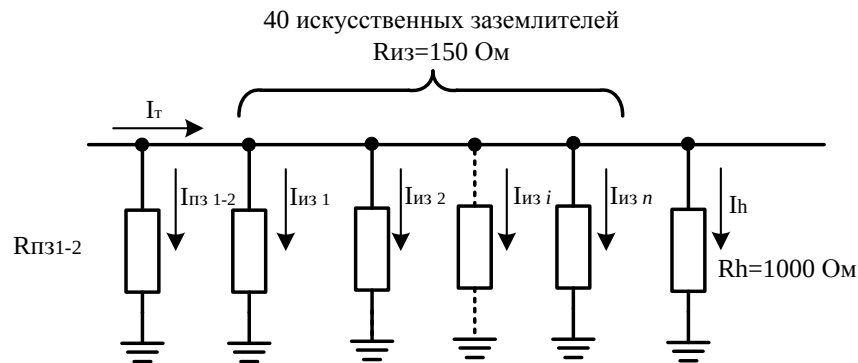


Рисунок 2.12– Принципиальная схема заземления перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш на искусственные заземлители

Определим общее сопротивление цепи

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{40}{R_{\text{из}}} + \frac{1}{R_h} + \frac{1}{0,5 \cdot R_{\text{пвх1}} + r_{k1} l_{k1}}, \quad (2.29)$$

где $R_{\text{из}}$ – сопротивление растеканию тока искусственного заземлителя, Ом;

R_h – электрическое сопротивление тела человека, Ом ($R_h = 1000$ Ом).

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{40}{150} + \frac{1}{1000} + \frac{1}{0,277} = 3,878 \frac{1}{\text{Ом}},$$

$$R_{\text{общ}} = \frac{1}{3,878} = 0,258 \text{ Ом}. \quad (2.30)$$

Определим токи, проходящие в аварийном режиме по переносному заземлению, искусственному заземлителю и телу человека:

$$I_{\text{пз}} = \frac{I_T R_{\text{общ}}}{R_{\text{пз1-2}}} = \frac{708,61 \cdot 0,258}{0,277} = 659,7 \text{ А}; \quad (2.31)$$

$$I_{из} = \frac{I_T R_{общ}}{R_{из}} = \frac{708,61 \cdot 0,258}{150} = 1,28 \text{ А}; \quad (2.32)$$

$$I_h = \frac{I_T R_{общ}}{R_h} = \frac{708,61 \cdot 0,258}{1000} = 0,183 \text{ А} \quad (2.33)$$

Ток, проходящий через тело человека, составляет 0,183 А и является смертельным для человека, что еще раз подтвердило, что заземлять контактную подвеску при капитальном ремонте по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой на искусственные заземлители не допустимо.

Предельно допустимые значения уровней напряжения и тока прикосновения, протекающих через тело человека, устанавливает ГОСТ 12.1.038-82 (2001) «Система стандартов безопасности труда Электробезопасность. Предельно допустимые значимые напряжений прикосновения и токов». Предельно допустимые значения уровней напряжения и тока прикосновения зависят от продолжительности воздействия таблица 2.9 [27].

Таблица 2.9 – Наибольшие допустимые напряжения прикосновения $U_{пр}$ и токи I_h , проходящие через человека, при аварийном режиме производственных электроустановок постоянного тока

Нормы - руемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительность воздействия t , с											
	0,01- 0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Более 1,0
$U_{пр}$, В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
I_h , мА	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	15

Наименьшее значение ощутимого тока - порог ощутимого тока, значение которого составляет от 0,6 – 4 мА. Электрический ток, вызывающий при прохождении через организм фибрилляцию сердца – фибрилляционный ток, значение которого составляет от 50–100 мА [25,33,49,66].

Таким образом, применение переносных искусственных заземлителей в определенных обстоятельствах может приводить к случаям поражения работников электрическим током, поэтому требует совершенствования технических средств электробезопасности в подобных случаях.

2.6.1 Анализ существующих способов заземления рельсовой сети при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона»

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 [57,58].

Накладываемые на месте работ переносные заземления, присоединенные к этому специальному заземлителю, погруженному в грунт на глубину не менее 0,5 метра (при капитальном ремонте пути не менее 1 метра), 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 [105].

По статистике в [124] ежегодно до 20% смертельных электрических травм происходит из-за ошибочной подачи напряжения на отключенную электроустановку.

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

Так в 2008 году на Горьковской железной дороге смертельно травмирован электромонтер контактной сети. Причиной наличия напряжения на отключенной зоне воздушной линии 10 кВ явился пробой гирлянды из двух врезных изоляторов в анкеровке проводов над разъединителем и выполнение заземления линии на индивидуальные заземлители, заглубленные на 0,25 метра в мерзлый балласт, которые не обеспечивали необходимого снижения потенциала одной фазы линии продольного электроснабжения. Напряжение прикосновения в указанном случае можно определить, как

$$U_{\text{пр}} = U_{\text{ф}} \cdot \omega \cdot C \cdot l \cdot R_3, \quad (2.34)$$

где $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение, В;

ω – угловая скорость $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314$ рад/с;

C – частичная емкость фазы на землю среднее значение [табл. 1.1], [22].

$C = 4 \cdot 10^{-9}$ Ф/км;

l – длина линии 31,5 км;

R_3 – сопротивление заземлителя 5000 Ом

Определим напряжение прикосновения по формуле (2.34)

$$U_{\text{пр}} = \frac{10000}{\sqrt{3}} \cdot 314 \cdot 4 \cdot 10^{-9} \cdot 31,5 \cdot 5000 = 1142 \text{ В}$$

Ток, проходящий через человека равен

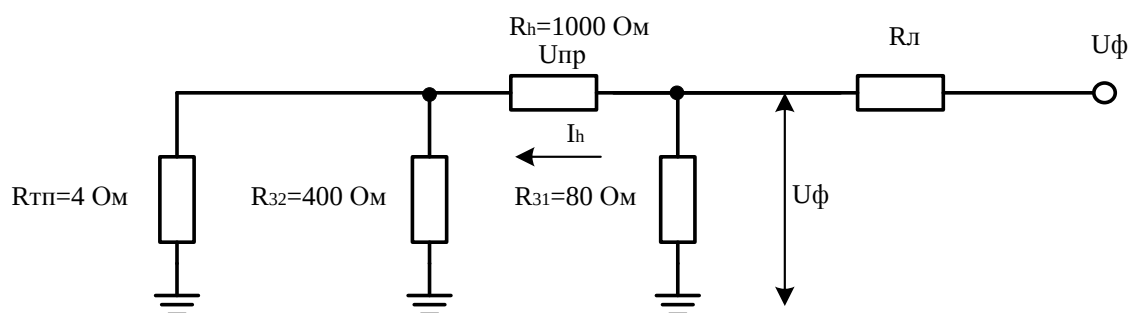
$$I_h = \frac{U_{\text{пр}}}{R_h} = \frac{1142}{1000} = 1,142 \text{ А.} \quad (2.35)$$

Полученное значение тока, проходящего через тело человека, является не допустимым. Согласно [27] допустимый ток, проходящий через тело человека, составляет 500 мА при продолжительности воздействия 0,1 с; 15 мА при продолжительности воздействия свыше 1,0 с.

В 2010 году на Свердловской железной дороге получил тяжелую электрическую травму электромонтер района электроснабжения. Согласно проведенных замеров сопротивления заземлений контуров опор на месте работы бригады, к которым были присоединены переносные заземления, составили: на опоре № 15 – 400 Ом, на опоре № 16 – 80 Ом, при норме – 30 Ом (п.2.7.13. Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей).

Данное нарушение послужило тому, что пострадавший, установив переносные заземления на заземляющие спуски опор № 15 и 16, не имеющие паспортов и протоколов замеров, а с учетом высоких сопротивлений заземлений контуров данных опор, попал в разрыв двух разнопотенциальных контуров заземления.

Проведем расчет тока I_h через пострадавшего сопротивлением $R_h = 1000$ Ом. Электрическая схема замещения травматического случая изображена на рисунке 2.13.



U_ϕ – фазное напряжение, равное 6000В; $U_{пр}$ – напряжение прикосновения;
 R_{31} – сопротивление переносного заземления на опоре №15; R_{32} – сопротивление переносного заземления на опоре №16; $R_{ТП}$ – сопротивление контура трансформаторной подстанции ТП-2; $R_л$ – сопротивление линии.

Рисунок 2.13 – Электрическая схема замещения травматического случая

В связи с тем, что сопротивление линии $R_{\text{л}}$ во много раз меньше сопротивления R системы заземления, то его величиной можно пренебречь.

Определим сопротивление между $R_{\text{тп}}$ и R_{32}

$$R_1 = \frac{R_{\text{тп}} \cdot R_{32}}{R_{\text{тп}} + R_{32}} = \frac{4 \cdot 400}{4 + 400} = 3,96 \text{ Ом.} \quad (2.36)$$

Определим сопротивление между R_1 и R_h

$$R_2 = R_1 + R_h = 3,96 + 1000 = 1003,96 \text{ Ом.} \quad (2.37)$$

Определим суммарное сопротивление

$$R_{\Sigma} = \frac{R_2 \cdot R_{31}}{R_2 + R_{31}} = \frac{1003,96 \cdot 80}{1003,96 + 80} = 74,1 \text{ Ом.} \quad (2.38)$$

Определим суммарный ток

$$I_{\Sigma} = \frac{U_{\phi}}{R_{\Sigma}} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 74,1} = 46,8 \text{ А.} \quad (2.39)$$

Определим ток через тело человека

$$I_h = I_{\Sigma} \cdot \frac{R_{31}}{R_2} = 46,8 \cdot \frac{80}{1003,96} = 3,73 \text{ А.} \quad (2.40)$$

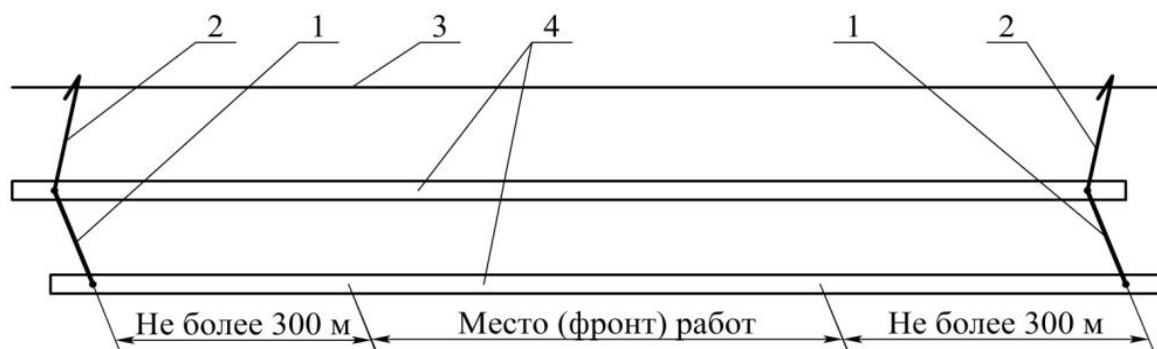
Полученное значение тока, проходящего через тело человека, в разы превышает нормируемые предельно-допустимые значения для человека [27] и является недопустимым.

В 2021 году на Западно - Сибирской железной дороге смертельно травмирован электрическим током электромеханик контактной сети. При

производстве работ заземление волновода было произведено на заземлитель, погруженный в грунт, который не обеспечивали необходимое снижение потенциала. Сопротивление растеканию тока составляло 230 Ом (акт первичного расследования несчастного случая от 19.05.2021).

При работах со сплошной сменой рельсов заземление контактной сети постоянного и переменного тока после снятия напряжения производится:

а) при постоянном токе – заземляющие штанги должны быть установлены по обе стороны от места работ в пределах видимости, но не далее 300 метров от начала и конца фронта работ рисунок 2.14 [108];



1 – поперечные перемычки; 2 – заземляющие штанги; 3 – контактная сеть; 4 – рельсы

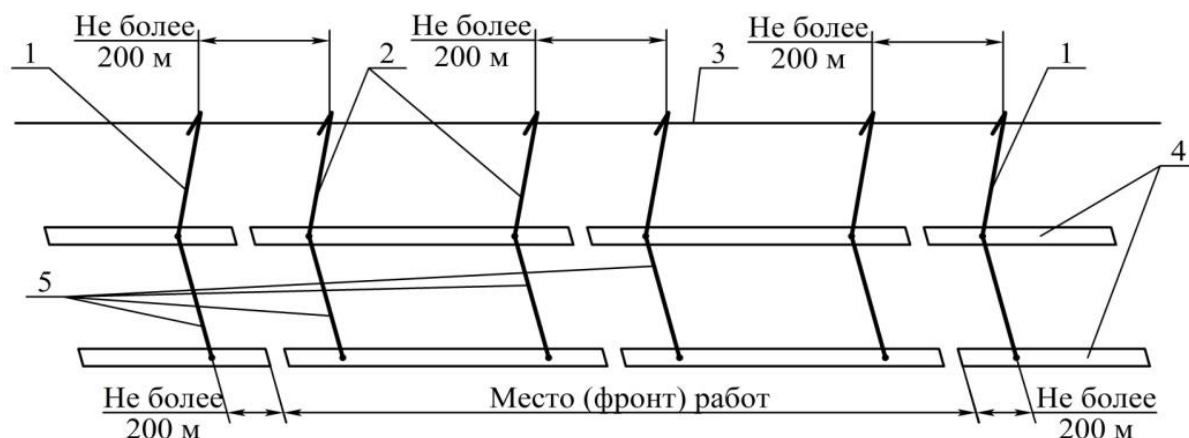
Рисунок 2.14 – Схема заземления контактной сети при работах со сплошной сменой рельсов на участках постоянного тока

б) при системе переменного тока – основные заземляющие штанги должны быть установлены по обе стороны от места работ, но не далее 200 м от него. Кроме того, для снятия наведенного напряжения с отключенной контактной подвески по фронту работ устанавливаются дополнительные заземляющие штанги так, чтобы каждый разрыв рельсовой нити находился между заземляющими штангами, расположенными друг от друга не далее 200 метров рисунок 2.15 [108].

По мере укладки новых участков (звеньев) рельс заземляющие дополнительные штанги переставляются, а переносное заземляющее устройство присоединяется на вновь уложенные рельсы. Окончательно снимать их можно

только после ликвидации разрывов рельсовых нитей и при установленных для шунтирования разрыва основных заземляющих штанг в начале и конце фронта работ.

Основные заземляющие штанги (в начале и конце фронта работ) снимаются после окончания работ, соединении всех стыков рельсового пути, восстановления заземлений опор контактной сети и других сооружений и после снятия дополнительных штанг.



- 1 – основные заземляющие штанги (в начале и в конце фронта работ);
 2 – дополнительные заземляющие штанги; 3 – контактная сеть;
 4 – рельсы; 5 – поперечные перемычки

Рисунок 2.15 – Схема заземления контактной сети при работах со сплошной сменой рельсов на участках переменного тока и одиночных разрывах в рельсовых нитях

Запрещается снимать основные заземляющие штанги до снятия всех установленных по фронту работы дополнительных заземляющих штанг [108].

Безопасность работы обслуживающего персонала в этом случае зависит как от надёжного контакта заземляющих штанг, так и от расстояния между заземляющими штангами. Технология производства работ на заземлённом участке контактной сети не исключает возможности одновременного касания персоналом элементов с разными потенциалами. С целью защиты от этого расстояние между штангами должно выбираться таким, при котором при всех

возможных режимах в тяговой сети параллельно идущих путей обеспечивалась бы электробезопасность персонала.

В качестве дополнительных заземляющих устройств выступают специальные заземлители в виде стальной трубы диаметром не менее 50 мм или угловая сталь размером не менее 50×50 мм длиной не менее 1 метра с болтовым зажимом диаметром не менее 10 мм, которые забиваются в грунт на глубину не менее 1 метра.

Качество искусственного заземления определяется значением сопротивления заземления – сопротивлению растеканию тока (чем глубже погружение в грунт, тем лучше), которое можно снизить, увеличивая площадь заземляющих электродов и уменьшая удельное электрическое сопротивление грунта: увеличивая количество заземляющих электродов и – или их глубину; повышая концентрацию солей в грунте, нагревая его.

Способ заземления контактной сети с применением специальных заземлителей не обеспечивает безопасность работ, в частности, во время короткого замыкания на действующем пути, когда потенциалы рельсов в местах их разрыва могут достигать 3,3 кВ. Это объясняется тем, что расстояние от места разрыва рельсов до неподвижных заземляющих штанг, связывающих контактную сеть с рельсами, во много раз превышает критическое расстояние, при котором максимальный потенциал рельсов безопасен. Кроме того, происходит большая затрата времени на завешивание и снятие заземляющих штанг.

В [44,45] предложены способы обеспечения электробезопасности при механической укладке стыкового пути:

1. Шунтирование разрыва рельсов продольной перемычкой решает проблему опасных потенциалов ремонтируемого пути рисунок 2.16. Однако применение при укладке стыкового пути продольных шунтирующих гибких проводов, соединяющих вновь уложенные и подлежащие смене рельсов, нецелесообразно, так как длина разрыва достигает 200 метров. Перемещение такой длинной перемычки при движении разрыва в рельсах вместе с путевыми машинами – трудоемкая операция. Кроме того перемычка при отсутствии

дополнительных приспособлений будет препятствовать разборке и укладке пути [44,45].

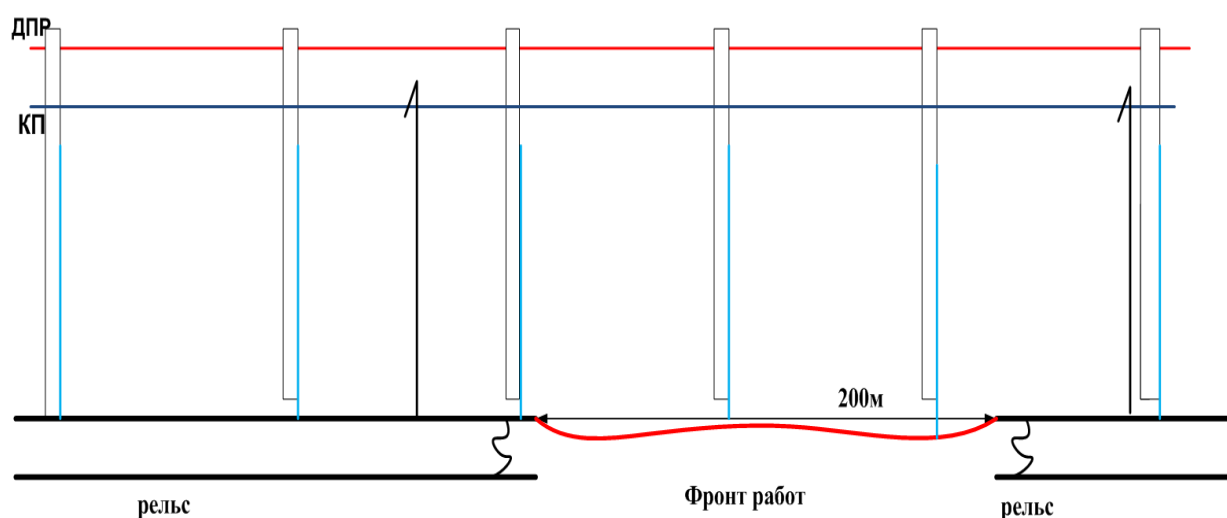


Рисунок 2.16 – Схема шунтирования разрыва в рельсах продольной перемычкой

2. Шунтирование разрыва рельсов при помощи контактной сети ремонтируемого пути и двух неподвижных штанг рисунок 2.17. Вместо специальных перемычек, шунтирующих разрыв в рельсах, можно использовать участок контактной сети ремонтируемого пути. Рельсы в начале и в конце разрыва соединяются с контактной сетью ремонтируемого пути неподвижными штангами. Как известно, для обеспечения безопасности необходимо, чтобы расстояние от неподвижной штанги, соединяющей рельсы с контактной сетью до места разрыва не превышало некоторого критического расстояния $l_{кр}$. Следовательно, для обеспечения электрической безопасности требуется установка двух дополнительных неподвижных штанг на расстоянии 300 метров от разрыва рельсов. Недостатком этого способа является необходимость частого завешивания и снятия неподвижных штанг в процессе перемещения разрыва рельсов [44,45].

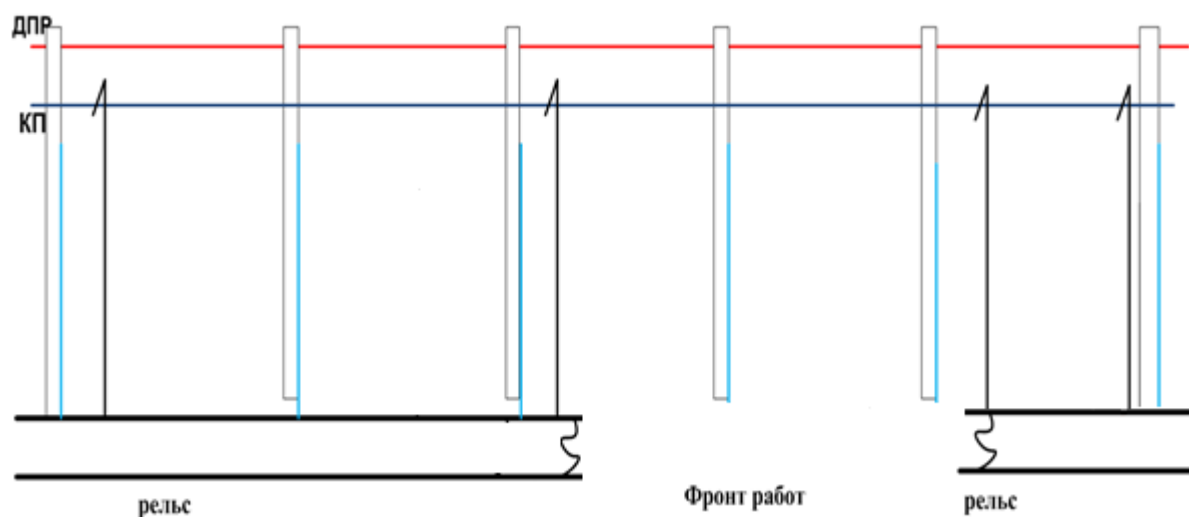
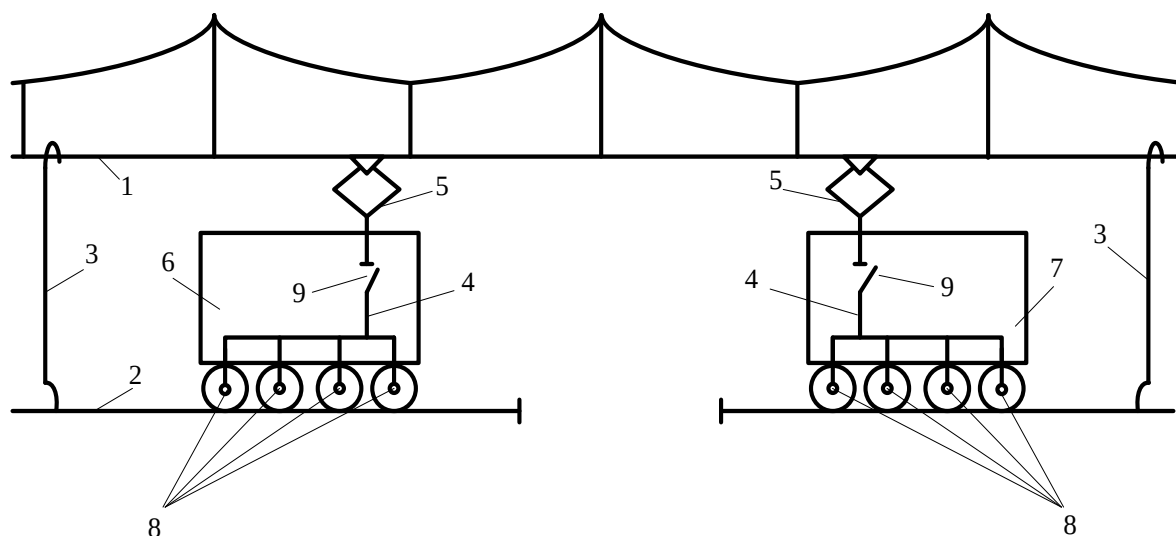


Рисунок 2.17 – Схема шунтирования разрыва в рельсах неподвижными штангами

3. Непрерывное шунтирование разрыва при помощи контактной сети ремонтируемого пути и двух подвижных штанг рисунок 2.18.



1 – контактный провод; 2 – рельс; 3 – заземляющая штанга; 4 – цепь подвижного заземлителя; 5 – токоприемник; 6 – путеразборщик; 7 – путеукладчик; 8 – колесные пары; 9 – разъединитель.

Рисунок 2.18 – Схема шунтирования разрыва в рельсах подвижными штангами

Этот способ обеспечения безопасности отличается от предыдущих применением подвижных штанг, обеспечивающих непрерывный скользящий контакт между рельсами и контактной сетью ремонтируемого пути. Одним из возможных вариантов осуществления предлагаемого способа, является

выполнение подвижных штанг с непрерывным скользящим контактом в виде токоприемников, установленных на фермах кранов путеукладчика или путеразборщика. Контакт с рельсами осуществляется посредством колесных пар. Перемещение подвижных штанг должно обеспечиваться синхронно с перемещением разрыва рельсов. Использование подвижных заземляющих штанг позволит отказаться от дополнительного заземления контактной сети на электроды [44,45].

В [103] разработана математическая модель системы обеспечения условий электробезопасности работ при капитальном ремонте на электрифицированных участках переменного тока. Выполнен анализ существующих организационно-технических решений по обеспечению условий электробезопасности при капитальном ремонте пути. Предложена методика расчета напряжений в зонах нахождения работников пути, обусловленных магнитным влиянием тяговой сети, как на промышленной частоте, так и при учете спектрального состава мгновенного значения тока электроподвижного состава.

2.6.2 Расчет параметров рельсовой сети с использованием защитного способа заземления контактной подвески на заземляющие контуры инфраструктуры

Меры электрической безопасности при капитальном ремонте пути с разрывом рельсовой сети по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой, которые защитят персонал от поражения электрическим током, могут быть достигнуты путем заземления контактной подвески на заземляющие контуры инфраструктуры: сигнальных точек, постов ЭЦ, ПС, ППС, КТП и на естественные контуры искусственных сооружений. Сопротивление данных заземляющих устройств должно быть не более 4 Ом и

соответственно не более 10 Ом [35,107]. Схема защитного способа заземления контактной сети при капитальном ремонте пути с разрывом рельсовой сети по технологии «закрытого перегона» изображена на рисунке 2.19 [89].

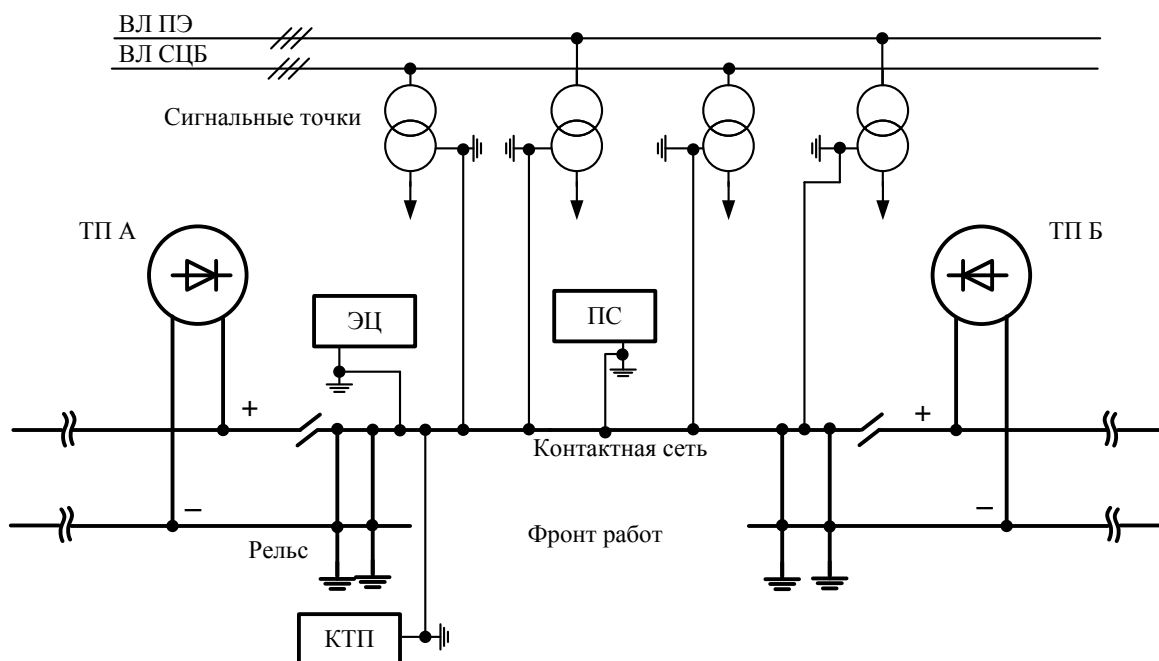


Рисунок 2.19 – Схема заземления контактной сети постоянного тока при капитальном ремонте пути с разрывом рельсовой сети по технологии «закрытого перегона» с помощью заземляющих контуров инфраструктуры

До начала выполнения работ на объекте капитального ремонта пути с разрывом рельсовой сети по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой производится расчет значений тока, проходящего в аварийном режиме по телу человека с задействованием всех возможных контуров заземления дистанции. Если расчетное значение не удовлетворяет требованиям ГОСТ 12.1.038-82 (2001), то дополнительно монтируются стационарный контур заземления с сопротивлением не более 4 Ом и расчет значений тока, проходящего в аварийном режиме по телу человека, выполняется заново. Стационарные контуры заземления добавляются до получения безопасного значения тока, проходящего в аварийном режиме по телу человека. Далее производится расчет экономических показателей и выбирается оптимальный вариант схемы

заземления контактной сети постоянного тока при капитальном ремонте пути с разрывом рельсовой сети по технологии «закрытого перегона».

Произведем расчет параметров рельсовой сети при капитальном ремонте перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш с разрывом рельсовой сети по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой с помощью заземления контактной подвески на контуры заземления сигнальных точек балансодержателем которых является дистанция электроснабжения рисунок 2.22.

На перегоне ст. Комарихинская – ст. Кутамыш на линии ВЛ СЦБ находятся 10 сигнальных точек с трансформаторами ОЛ-1,25/6 и одна Комплектная трансформаторная подстанция подъёмно-опускного типа КТПо-91 с трансформатором ОМ-4/6. На линии ВЛ ПЭ находятся 9 сигнальных точек с трансформаторами ОЛ-1,25/6 и одна Комплектная трансформаторная подстанция подъёмно-опускного типа КТПо-90 с трансформатором ОМ-4/6.

Из паспорта – протокола сигнальной точки взяты значения сопротивления контуров заземления сигнальной точки. Сопротивление контура заземления сигнальной точки не должно превышать 10 Ом, если значение сопротивления контура заземления превышает вдвое и более приведенного, то считается опасным местом. На рисунке 2.20 представлена схема заземления контактной сети при капитальном ремонте перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш с разрывом рельсовой сети по технологии «закрытого перегона» с помощью заземления контактной подвески на контуры заземления сигнальных точек.

Определим общее сопротивление цепи

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{n_{\text{зк}i}}{R_{\text{зк}i}} + \frac{1}{R_h} + \frac{n_{\text{пз}i}}{R_{\text{пз}i}}, \quad (2.41)$$

где $R_{\text{из}i}$ – сопротивления растеканию тока контура заземления сигнальной точки, Ом;

$n_{зкi}$ – количество заземляющих контуров сигнальных точек с сопротивлением растеканию тока $R_{зкi}$;

$n_{пзi}$ – количество переносных заземляющих штанг контактной сети с сопротивлением растеканию тока $R_{пзi}$;

R_h – электрическое сопротивление тела человека, Ом.

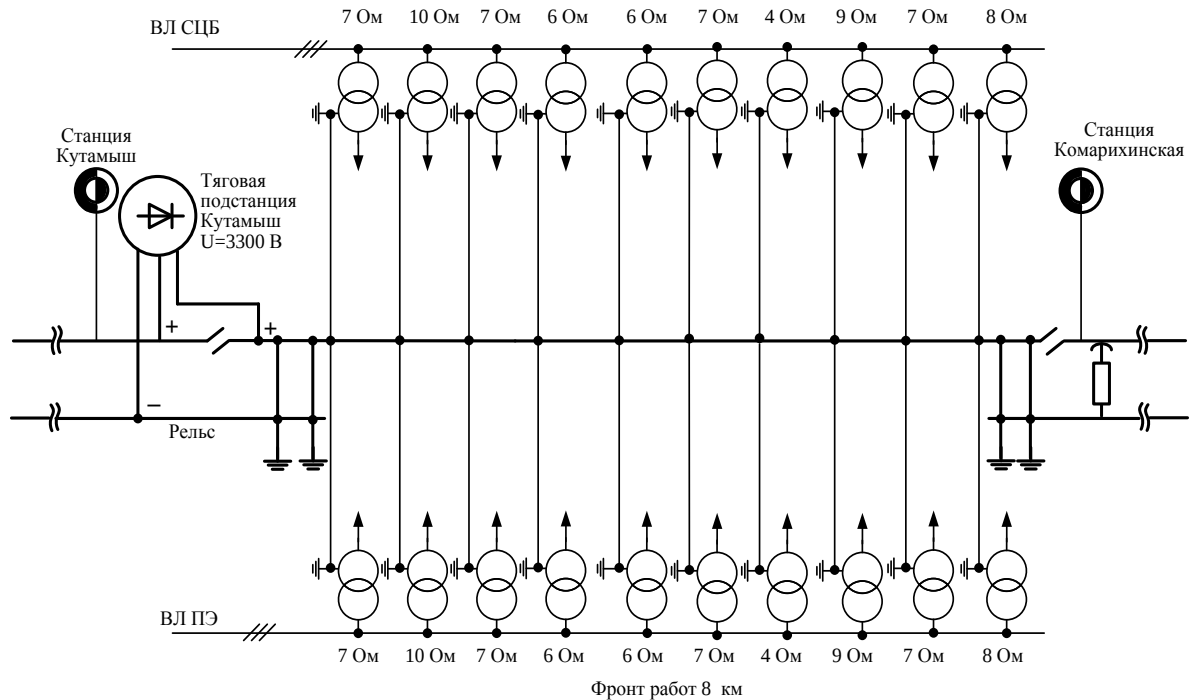


Рисунок 2.20 – Схема заземления контактной сети при капитальном ремонте перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш по технологии «закрытого перегона» с помощью заземления контактной подвески на контуры заземления сигнальных точек

Тогда общее сопротивление цепи равно

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{2}{4} + \frac{4}{6} + \frac{8}{7} + \frac{2}{8} + \frac{2}{9} + \frac{2}{10} + \frac{1}{1000} + \frac{1}{0,227} = 6,593 \frac{1}{\text{Ом}}; \quad (2.42)$$

$$R_{\text{общ}} = \frac{1}{6,593} = 0,152 \text{ Ом}. \quad (2.43)$$

Определим ток, проходящий по телу человека:

$$I_h = \frac{I_T R_{\text{общ}}}{R_h} = \frac{708,61 \cdot 0,152}{1000} = 0,107 \text{ А.} \quad (2.44)$$

Ток, проходящий по телу человека, полученный расчетным путем 0,107 А и является предельно допустимым с продолжительностью воздействия 1 секунды в соответствии с ГОСТ 12.1.038-82 (2001) [27].

Проведем расчет значений тока, проходящего в аварийном режиме по телу человека при дополнительном заземлении контактной подвески на контуры заземления сигнальных точек балансодержателем которых является дистанция сигнализации, централизации и блокировки. Ток, проходящий по телу человека, полученный расчетным путем 68 мА и является предельно допустимым с продолжительностью воздействия 1 секунды в соответствии с [27].

Выполним расчет значений тока, проходящего в аварийном режиме по телу человека при заземлении дополнительно контактной подвески на стационарные контуры заземления с сопротивлением 4 Ом. Ток, проходящий по телу человека, полученный расчетным путем 54 мА и является предельно допустимым с продолжительностью воздействия 1 секунды в соответствии с [27].

На примере системы электроснабжения постоянного тока при замене рельсошпальной решетки широким фронтом показано, что значение тока, проходящего по телу человека было снижено в 3 раза с 183 мА до 54 мА при применении способа защитного заземления контактной сети [89].

Дальнейшие исследования необходимо провести на системе электроснабжения переменного тока напряжением 27 кВ и 2×25 кВ, а также при внедрении на сети перспективных систем электроснабжения железных дорог, в частности, систем тягового электроснабжения постоянного тока напряжением 24 кВ, переменного тока напряжением 94 кВ. Рассмотреть аварийные ситуации с воздушными линиями электропередач, пересекающие контактную подвеску.

Выводы по второй главе

1. Проведенный расчет вероятности возникновения электрических травм при эксплуатации контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением без использования контролирующих устройств [44,45] с помощью теории нечетких множеств по разработанной логико-вероятностной модели доказывает высокий индивидуальный риск гибели работников ($2,7 \cdot 10^{-4}$ чел./год), который необходимо увеличивать до допустимого значения.

2. Моделирование с помощью логико-вероятностной модели возникновения электрической травмы показало, что при применении контролирующего устройства [44] уровень электрической безопасности при работе на контактной сети электротехнического персонала по категории работ со снятием напряжения и заземлением повышается не менее чем в 13 раз.

3. Предложен принципиально новый метод защитного заземления контактной подвески при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой, заключающийся в использовании для целей защитного заземления, заземляющие устройства инфраструктуры железнодорожного транспорта, которые повышают эффективность защиты персонала энергетического комплекса от поражения электрическим током.

4. В системе электроснабжения постоянного тока действующего участка Свердловской железной дороги перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш применен метод защитного заземления контактной подвески при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой, который показал существенное снижение расчетного значения тока, проходящего по телу человека в 3 раза с 0,183 А до 0,054 А.

3 РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСЛОВИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ И СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

В 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.

Представлены описания разработанных систем и способов повышения уровня электробезопасности в полевых условиях, даны методики их применения.

Даны рекомендации по повышению эксплуатационных характеристик и функциональных возможностей систем контроля применения изолирующих штанг.

3.1 Основные этапы по созданию систем контроля для повышения эффективности применения переносных защитных заземляющих устройств с изолирующими штангами

Наиболее значимые актуальные направления работ для обеспечения электрической безопасности персонала на электрифицированных участках железных дорог в Российской Федерации:

автоматизация контроля процесса завешивания, снятия и состоянием контакта заземляющей штанги с контактной подвеской;

автоматизация контроля со стороны диспетчерского аппарата электроустановки процесса применения заземляющего устройства, а также местонахождения бригады при производстве работ;

повышение уровня электрической безопасности персонала при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой с фронтом работ десять и более километров;

создание подъемного устройства для обслуживания и ремонта контактной сети с усовершенствованным способом, способным при попадании высокого потенциала на изолированную площадку железнодорожного транспортного средства обеспечить безопасность персонала за счет автоматического уравнивания потенциалов и его оповещения о появлении высокого напряжения на изолированной площадке.

Создание контролирующего устройства для повышения эффективности применения переносных защитных заземляющих устройств с изолирующими штангами контактной сети и ввод его в серийное производство в общем случае описывается алгоритмом (рисунок 3.1.) и содержит следующие этапы:

1. Изучение объекта (назначение, устройство, технические требования, правила применения и испытания, хранения).
2. Применение методики по расчету эффективности повышения уровня

электробезопасности от внедрения новых систем контроля применения переносных защитных заземляющих устройств с изолирующими штангами (заземляющие штанг) и штанг для переноса и выравнивания потенциала.

3. Формулировка основных требований, предъявляемых к устройству, по обеспечению выходных характеристик стандартизации и сертификации.

4. Изготовление физической модели контролирующего устройства, применения заземляющих штанг контактной сети.

5. Экспериментальное исследование в лабораторных условиях (на полигоне контактной сети) внесение корректировок.

6. Опытная эксплуатация систем контроля применения заземляющих штанг контактной сети для наложения заземления.

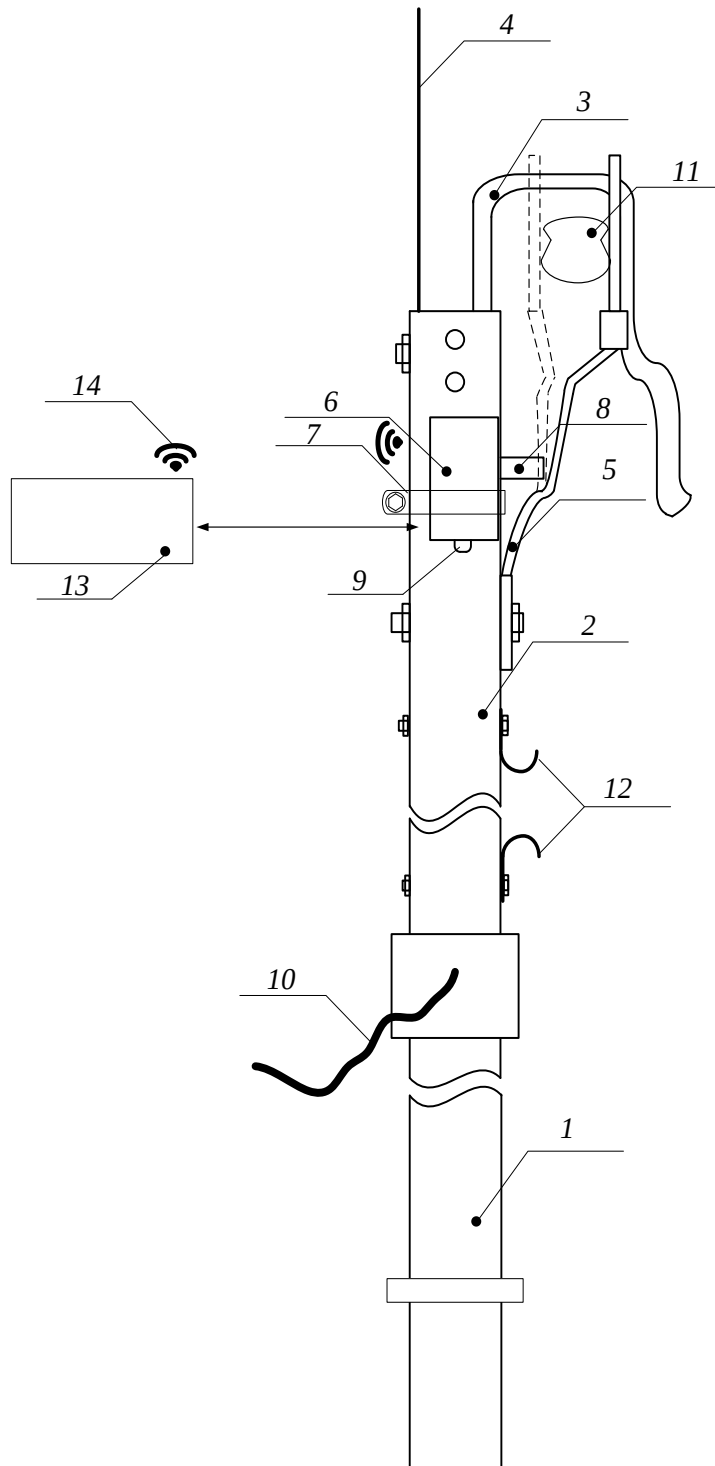
7. Проведение диагностических мероприятий по выявлению нарушений в период опытной эксплуатации.

8. Рекомендации по вводу в эксплуатацию и запуску в серийное производство контролирующего устройства заземляющих штанг для применения на контактной сети [26,35].



Рисунок 3.1 – Алгоритм разработки контролирующего устройства применения переносных заземляющих устройств

Переносная заземляющая штанга с контролирующим устройством с автономным пультом представлена на рисунке 3.2.



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 – крюки; 13 – автономный пульт; 14 – радиосигнал

Рисунок 3.2 – Переносная заземляющая штанга с контролирующим устройством с автономным пультом

3.2 Методика проведения экспериментальных исследований работоспособности и эффективности системы контроля применения защитных заземляющих штанг

Для подтверждения результатов теоретических расчетов повышения уровня электробезопасности после внедрения контролирующего устройства применения переносных заземляющих штанг контактной сети, необходимо провести экспериментальное исследование работоспособности, разработанных систем контроля.

В ходе подготовки к экспериментальным исследованиям, необходимо определить процедуру выполнения эксперимента.

Целью эксперимента является испытание контролирующего устройства, которое закреплено на переносном заземляющем устройстве. Проверка достоверности полученной информации о применении переносного заземляющего устройства.

Рассмотрим контролирующее устройство с автономным пультом. 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. Производитель работ получает также световую сигнализацию о применении переносного заземляющего устройства. Далее по усмотрению руководителя дистанции электроснабжения, ежедневно или ежемесячно с нарядом - допусками сдается отчет о применении переносных заземляющих штанг контактной сети специалисту по охране труда или инженеру-диспетчеру (рисунок 3.3). Отчет содержит информацию о дате, времени снятия и установки переносной заземляющей штанги и ее порядковый номер.

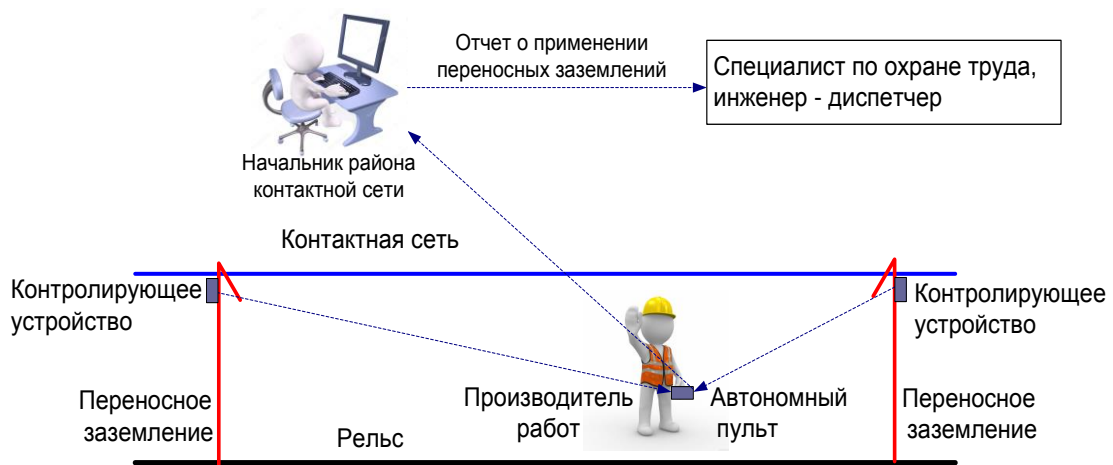
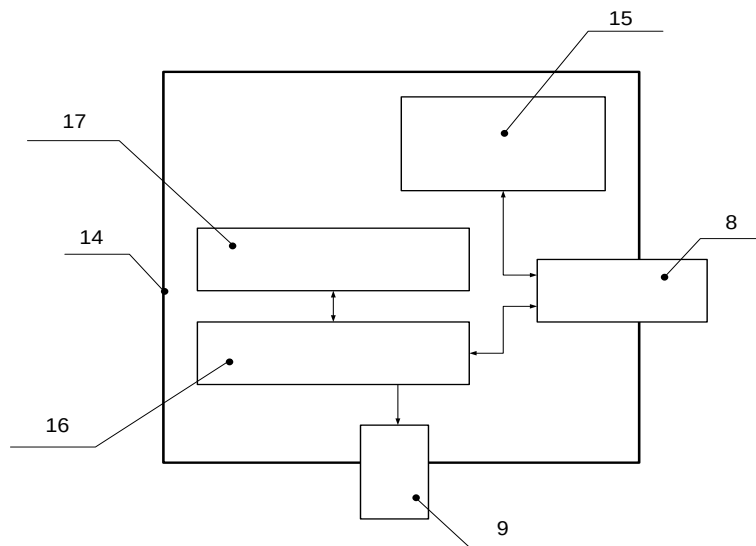


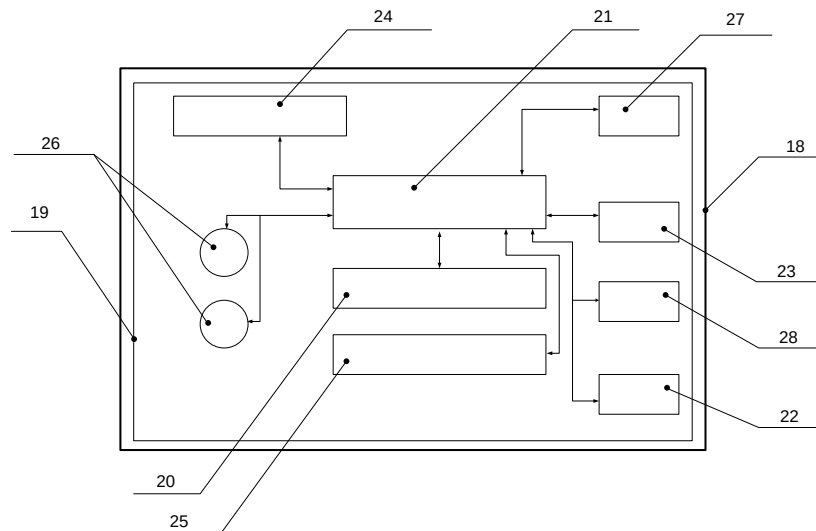
Рисунок 3.3 – Схема передачи информации контролирующим устройством с автономным пультом о применении переносного заземляющего устройства

Конструктивные особенности контролирующего устройства с автономным пультом представлены на рисунке 3.4 – схема контролирующего устройства, рисунке 3.5 – схема автономного пульта, рисунке 3.6 – схема наружной панели автономного пульта. Цифровые обозначения элементов конструкций указываются по нарастающей величине от рисунка к рисунку.



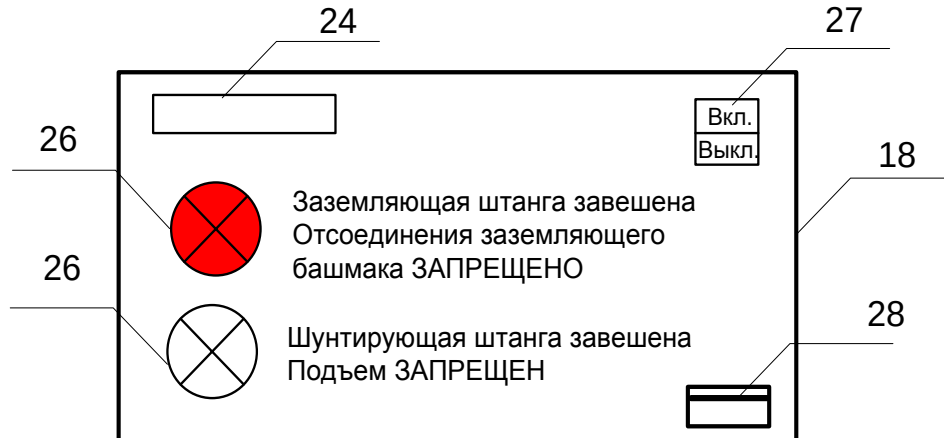
14 – корпус, 8 – кнопка включения, 9 – светодиод, 15 – источник питания, 16 – микроконтроллер, 17 – радиомодуль.

Рисунок 3.4 – Схема контролирующего устройства



18 – корпус, 19 – печатная плата, 20 – микроконтроллер, 21 – радиомодуль, 22 – блок питания, 23 – часы, 24 – жидкокристаллический экран, 25 – разъем с SD-картой, 26 – два светодиода, 27 – кнопка включения автономного пульта, 28 – разъем под кабель.

Рисунок 3.5 – Схема автономного пульта



18 – корпус, 24 – жидкокристаллический экран, 26 – два светодиода, 27 – кнопка включения автономного пульта, 28 – разъем под кабель.

Рисунок 3.6 – Схема наружной панели автономного пульта

При конструировании контролирующее устройство 6 на токопроводящей трубе 2 закрепляют хомутом 7 и устанавливают таким образом, чтобы кнопка включения 8 располагалась со стороны фиксирующей пружины 5 на уровне ее

средней части (рисунок 3.7).

Проверяют связь между контролирующим устройством 6 и автономным пультом 13. Подготавливают заземляющую штангу к заведению на контактный провод 11, снимают заземляющий трос 10 с крюков 12 и подключают его к заземлителю, например, к рельсу, проверяют наличие напряжения усовиком 4. Если есть искрение в месте касания усовика 4, то работа прекращается, так как напряжение не снято с контактного провода 11. При отсутствии искрения крюк 3 заведут на контактный провод 11. При этом фиксирующая пружина 5 упирается в кнопку включения 8, которая включает контролирующее устройство 6. При этом микроконтроллер 16 (рисунок 3.4) включает светодиод 9, который сигнализирует о наличии контакта с контактным проводом 11 и крюком 3, радиомодулем 17 (рисунок 3.4) передает радиосигнал 29 на автономный пульт 13. Радиомодуль 21 автономного пульта 13 (рисунок 3.5, рисунок 3.6), получив радиосигнал 29, передает его на микроконтроллер 20 автономного пульта 13, который включает светодиод 26 (рисунок 3.5, рисунок 3.6), подтверждающий наличие контакта с контактным проводом 11 и крюком 3. Этот радиосигнал 29 записывается и хранится на *SD*-карте 25 (рисунок 3.5).

Если светодиод 26 горит (рисунок 3.6), то напряжение в контактном проводе 11 отсутствует, следовательно, можно производить работы при непрерывном наблюдении за наружной панелью автономного пульта 13 (рисунок 3.6). При снятии изолирующей штанги с контактного провода 11, крюк 3 поднимается вверх и возвращает фиксирующую пружину 5 (рисунок 3.2) в исходное состояние и кнопка включения 8, отключает контролирующее устройство 6, радиосигнал 29 и светодиод 26 отключаются, что сигнализирует об отсутствии контакта крюка 3 с контактным проводом 11. На *SD*-карте 25 (рисунок 3.5) фиксируется дата, время снятия и установки переносной заземляющей штанги и ее порядковый номер [87].



Рисунок 3.7 – Контролирующее устройство с автономным пультом, закрепленное на переносной заземляющей штанге контактной сети

Недостатком известной переносной заземляющей штанги является то, что контроль за контактом крюка с контактной линией осуществляется с помощью контролирующего устройства с автономным пультом в пределах 1000 метров и информацию в режиме реального времени о состоянии штанги получает только производитель работ.

Автоматический контроль энергодиспетчерского аппарата за процессом применения переносной заземляющей штанги и местонахождением бригады в режиме реального времени не осуществляется, что приводит к электротравматическим случаям

Рассмотрим контролирующее устройство с *GPS*-трекером (или ГЛОНАСС-трекером). Актуальность данного контролирующего устройства применения переносной заземляющей штанги контактной сети заключается в том, что впервые энергодиспетчер сможет удаленно в режиме реального времени контролировать фактическое состояние переносной заземляющей штанги с получением географических координат на мониторе компьютера или смартфона

при помощи приложения работающего с системой глобального позиционирования ГЛОНАСС или *GPS*.

Передача информации о применении переносного заземляющего устройства осуществляется в режиме реального времени с помощью контролирующего устройства с *GPS*-трекером (или ГЛОНАСС-трекером) космического позиционирования (рисунок 3.8). На рисунке 3.9 представлена схема контролирующего устройства с *GPS*-трекером (или ГЛОНАСС-трекером).

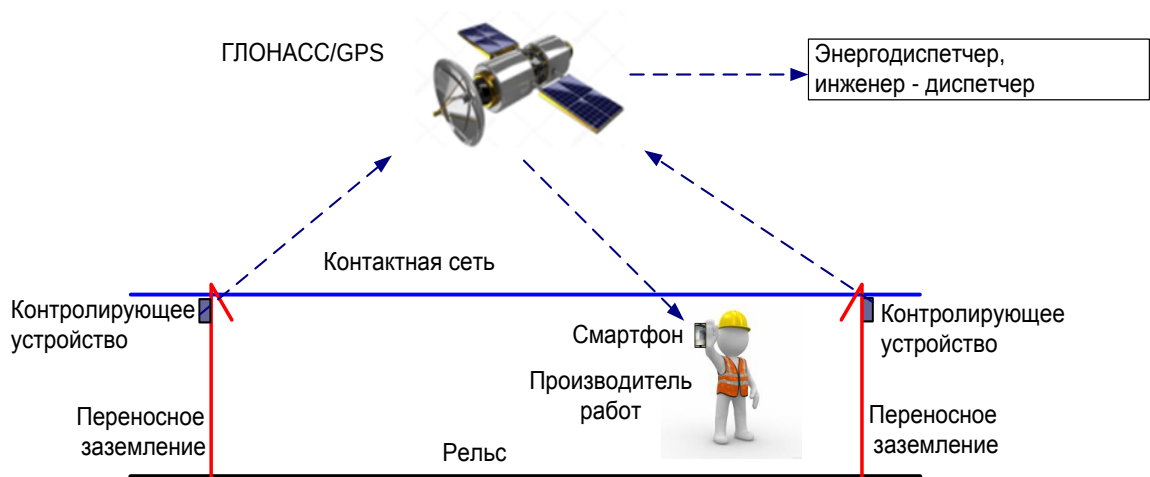
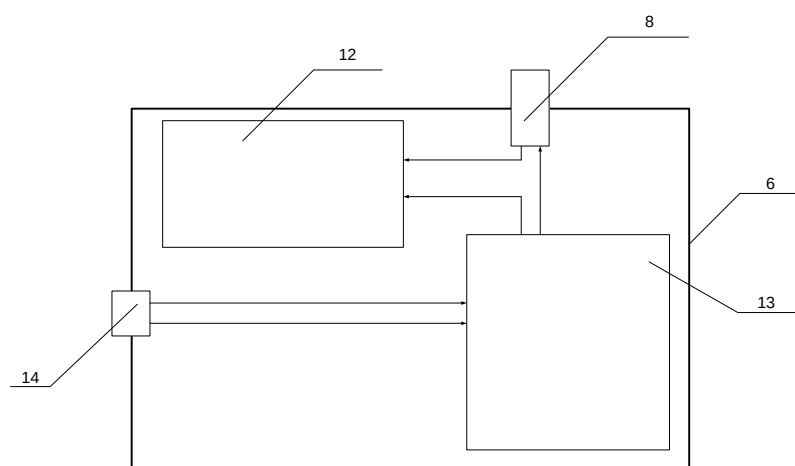


Рисунок 3.8 – Схема передачи информации контролирующим устройством с *GPS*-трекером (или ГЛОНАСС-трекером) о применении переносного заземляющего устройства



6 – корпус, 8 – кнопка включения, 12 – *GPS*-трекер (или ГЛОНАСС-трекер), 13–источник питания, 14 – гнездо зарядки.

Рисунок 3.9 – Схема контролирующего устройства с *GPS*-трекером (или ГЛОНАСС-трекеом),

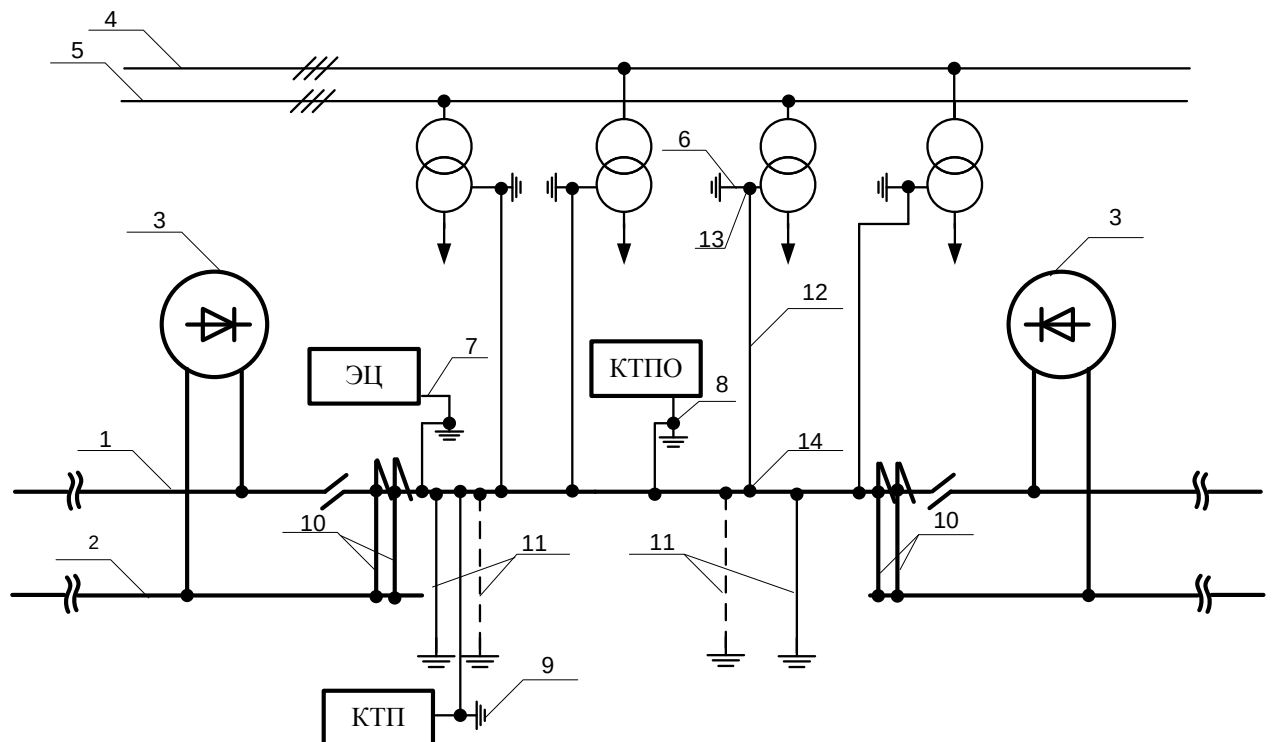
Перед началом работы корпус 6 с *GPS*-трекером (или ГЛОНАСС-трекером) закрепляют хомутом 7 на токопроводящей трубе 2 таким образом, чтобы кнопка включения 8 располагалась со стороны фиксирующей пружины 5 на уровне ее средней части. Подготавливают переносное заземляющее устройство к заведению на контактный провод 11, снимают заземляющий трос 10 с крюков 9 и подключают его к заземлителю, например, к рельсу, проверяют наличие напряжения усовиком 4. Если есть искрение в месте касания усовика 4, то работа прекращается, так как напряжение не снято с контактного провода 11. При отсутствии искрения крюк 3 заведывают на контактный провод 11. При этом фиксирующая пружина 5 упирается в кнопку включения 8, которая включает *GPS*-трекер (или ГЛОНАСС-трекер) 6. При этом *GPS*-трекер (или ГЛОНАСС-трекер) передает информацию о времени и координатах местонахождения с точностью до 5 метров применения переносного заземляющего устройства в энергодиспетчерский пункт в режиме реального времени. Переданные данные преобразовываются, контролируются и записываются в энергодиспетчерском пункте [89].

Переносное заземляющее устройство способствует повышению электробезопасности и исключению случаев электротравмирования персонала, поскольку применение *GPS*-трекера или ГЛОНАСС-трекера обеспечивает автоматический удаленный контроль энергодиспетчерским аппаратом за процессом использования переносного заземляющего устройства и за местонахождением бригады при производстве работ, а расположение кнопки включения трекера со стороны фиксирующей пружины обеспечивает автоматическое включение трекера при заведении заземляющего устройства.

В опытном образце контролирующего устройства применен *GPS*-трекер ST-901 с поддержкой *SMS* и *GPRS* режимов. Имеются следующие дополнительные функции: получение координат местонахождения при помощи звонка или *SMS* сообщения; геозона с настройкой радиуса геозоны; сигнал о низком заряде аккумулятора; получение пробега (километража); контроль перемещения и скорости [43].

3.3 Разработка методики обеспечения электробезопасности при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона»

Пример осуществления способа защитного заземления контактной сети при замене рельсошпальной решетки широким фронтом (рисунок 3.10).



- 1 – контактная подвеска; 2 – рельсы; 3 – тяговая подстанция;
 4 – воздушная линия продольного электроснабжения; 5 – воздушная линия 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 – заземляющий проводник; 13 – зажимов типа КС-054; 14 – зажимов типа КС-053.

Рисунок 3.10 – Схема осуществления способа защитного заземления контактной сети при замене рельсошпальной решетки широким фронтом

До проведения работ определяют заземляющие контуры 6, 7, 8, 9, согласно

паспортам-протоколам анализируют фактические значения сопротивлений заземляющих контуров.

Отключают коммутационную аппаратуру на тяговой подстанции 3, тем самым снимая рабочее напряжение с контактной подвески 1. В начале и в конце фронта работы по две заземляющие штанги 10 контактной подвески 1 подключают к рельсу 2. Далее после проверки отсутствия напряжения заведывают заземляющие штанги 10 на контактную подвеску 1. Искусственные заземлители 11 погружают в грунт на глубину не менее одного метра на расстоянии друг от друга не более 200 метров и электрически соединяют с контактной подвеской 2. Один конец заземляющего провода 12 с помощью зажимов 13 типа КС-054 подключают к заземляющим контурам сигнальных точек 6 воздушных линий продольного электроснабжения 4 и воздушных линий автоблокировки 5, к заземляющим контурам поста электрической сигнализации (ЭЦ) 7, к заземляющим контурам комплектных трансформаторных подстанций однофазных (КТПО) 8, к заземляющим контурам комплектных трансформаторных подстанций (КТП) 9. Второй конец заземляющего провода 12 подключают к контактной подвеске 1 зажимами 14 типа КС-053 [88].

Сопротивление заземляющих контуров периодически измеряют, оно должно быть не более 4 Ом для трансформаторных подстанций, комплектных трансформаторных подстанций и силовых опор, на которых установлены трансформаторы с заземленной нейтралью, а с изолированной нейтралью - не более 10 Ом независимо от удельного сопротивления грунта [107].

Таким образом, применение в способе защитного заземления контактной сети при замене рельсошпальной решетки широким фронтам работ дополнительного заземления контактной подвески на стационарные заземляющие контуры: сигнальных точек, постов электрической централизации (ЭЦ), комплектных трансформаторных подстанций (КТП) и комплектных трансформаторных подстанций однофазных (КТПО) повысит уровень электробезопасности и гарантированно защитит работников от получения травмы электрическим током.

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

В настоящее время работа на контактной сети под напряжением с изолированных площадок железнодорожных транспортных средств (автомотрис, дрезин) запрещена согласно п. 8.6.1 [41] и в соответствии с техническим указанием Департамента электрификации и электроснабжения ОАО «РЖД» № О-1/04 «О запрете выполнения на контактной сети работ под напряжением с изолированных площадок автотрис и дрезин» от 22.06.2004 г. № ЦЭТ-19.

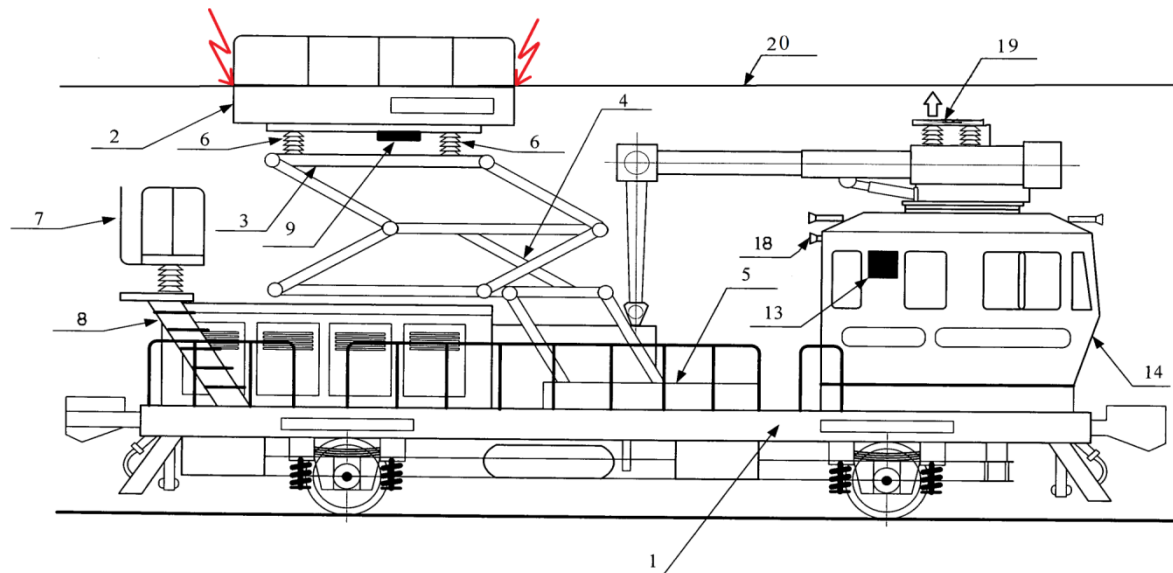
В период с 1969 – 2019 гг. произошло 75 смертельных случаев при работе под напряжением с изолированной площадки железнодорожного транспортного средства из-за шунтирования изоляции площадки, либо самими пострадавшими, либо посторонними предметами. Примеры последних случаев:

27.06.2013 года смертельно травмирован напряжением 3,3 кВ электромонтер контактной сети дистанции электроснабжения станции Москва-Курская. По пути бригада решила восстановить оборванную струну в пролете опор 130-132 с изолированной площадки автотрисы дизельной монтажной под напряжением. Производитель работ и ответственный руководитель работ поднялись на площадку автотрисы для производства работ, погибший самостоятельно приблизился к площадке автотрисы, находящейся под напряжением 3,3 кВ и был смертельно травмирован;

12.04.2019 года смертельно травмирован напряжением 3,3 кВ старший электромеханик контактной сети дистанции электроснабжения станции Тюмень. Производитель работ (погибший) дал указание бригаде восстановить оборванную струну в пролете опор 77-79 с изолированной площадки автотрисы дизельной монтажной под напряжением. Погибший при подаче ножниц ими коснулся

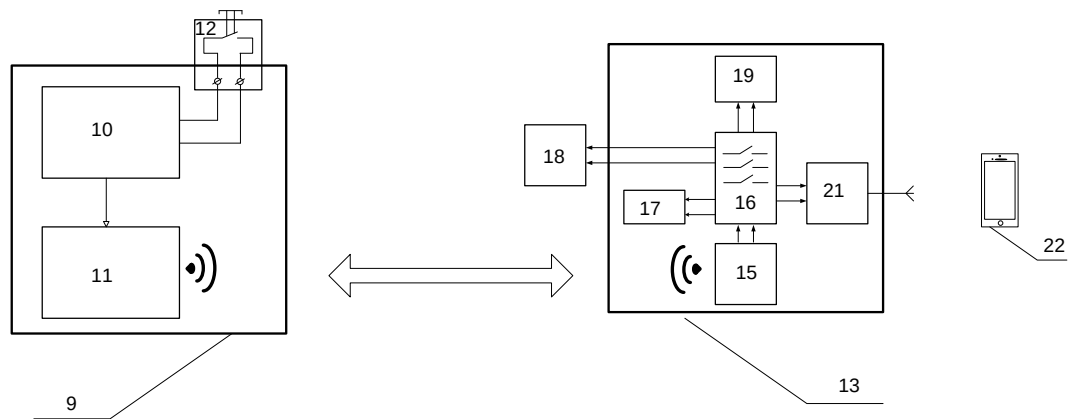
площадки, тем самым перекрыл изоляцию площадки автотрисы, находящейся под напряжением 3,3 кВ и был смертельно травмирован [90,94].

Предложено подъемное устройство для обслуживания и ремонта контактной сети с усовершенствованным защитным устройством, способным защитить работника при попадании высокого потенциала на изолированную площадку железнодорожного транспортного средства, автоматически уравнивать опасный потенциал и оповестить весь технологический персонал о появлении высокого напряжения на изолированной площадке железнодорожного транспортного средства (рисунок 3.11, рисунок 3.12).



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 – модуль; 13 – модуль; 14 – кабина железнодорожного транспортного средства; 18 – звуковая информационная сигнализация; 19 – заземляющий токоприемник; 20 – контактный провод

Рисунок 3.11 – Подъемное устройство для обслуживания и ремонта контактной сети



9 – модуль; 10 – датчик высокого напряжения; 11 – блок преобразования и передачи информации по радиочастоте; 12 – кнопка проверки работоспособности; 13 – модуль; 15 – блок приема информации по радиочастоте; 16 – блок коммутации; 17 – световое табло; 18 – звуковая информационная сигнализация; 19 – заземляющий токоприемник; 21 – блок преобразования и передачи информации в стандарте GSM; 22 – сотовый телефон.

Рисунок 3.12 – Функциональная схема подъемного устройства для обслуживания и ремонта контактной сети

При проведении работ на контактной сети изолированную рабочую площадку 2 (рисунок 3.11) поднимают с помощью механизма подъема 4 на необходимую высоту, а с помощью механизма поворота 5 поворачивают в нужную сторону. В случае возникновения на изолированной рабочей площадке 2 потенциала высокого напряжения, срабатывает датчик наличия высокого напряжения 10 (рисунок 3.12), сигнал от которого передается в блок преобразования и передачи информации по радиочастоте 11, который на основе полученной информации формирует кодированный сигнал на радиочастоте для передачи его в блок приема информации по радиочастоте и ее преобразования 15. В случае приема сигнала о наличии потенциала высокого напряжения на изолированной рабочей площадке 2 в блоке приема информации по радиочастоте и ее преобразования 15 происходит замыкание контактов, которые управляют контактной группой блока коммутации 16, вследствие чего происходит срабатывание сигнализаций на световом табло 17 и звуковой информационной

сигнализации 18 на палубе железнодорожного транспортного средства 1. Срабатывание контактов в блоке коммутации 16 вызывает срабатывание короткозамыкателя заземляющего токоприемника 19 (рисунок 3.11), который, через определенный момент времени, поднимается и электрически соединяется с контактным проводом 20, тем самым выравнивая опасный потенциал, блока преобразования и передачи информации в стандарте GSM 21 (рисунок 3.12), который формирует сигнал вызова на сотовый телефон 22 заданного абонента. Входящий вызов на сотовый телефон 22 заданного абонента идентифицируется, как факт возникновения потенциала высокого напряжения на изолированной рабочей площадке 2 (рисунок 3.11) железнодорожного транспортного средства 1. В разработанном подъемном устройстве предусмотрена возможность проверки работоспособности модулей 9 и 13, для чего в модуле 9 имеется кнопка проверки работоспособности 12 (рисунок 3.12), контакты которой подключены параллельно контактам датчика наличия высокого напряжения 10 и имитируют его срабатывание [90].

Таким образом, предлагаемое подъемное устройство для обслуживания и ремонта контактной сети, позволяет надежно защитить работника при попадании высокого потенциала на изолированную рабочую площадку железнодорожного транспортного средства, автоматически уравнивать опасный потенциал, оповестить весь технологический персонал о появлении высокого напряжения, тем самым обеспечивая повышение безопасности не только бригаде железнодорожного транспортного средства, но и ремонтной бригаде, находящейся на изолированной рабочей площадке железнодорожного транспортного средства.

3.5 Опытная эксплуатация систем контроля применения переносных защитных заземляющих штанг

На основании проведенных теоретических и практических исследований систем контроля, применения переносных защитных заземляющих штанг контактной сети, они рекомендованы к опытной эксплуатации.

С мая по август 2019 года опытный образец контролирующего устройства (с *GPS* трекером) испытывался на участке по ремонту устройств электроснабжения №2 ст. Кунгур Свердловской дирекции капитального ремонта и реконструкции объектов электрификации и электроснабжения – СП ДКРЭ – филиал ОАО «РЖД» (Приложение Е).

Опытный образец контролирующего устройства (с *GPS* трекером) испытывался в районе контактной сети ст. Чусовская Чусовской дистанции электроснабжения – СП Свердловской дирекции по энергообеспечению – СП Трансэнерго – филиал ОАО «РЖД».

Практическое оформление научных результатов диссертационной работы оформлено актом внедрения и соответствующей справкой (Приложение Ж, З).



Рисунок 3.13 – Монтаж контролирующего устройства на переносную заземляющую штангу контактной сети



Рисунок 3.14 – Заземление контактной сети переносной заземляющей штангой с контролирующим устройством ст. Чусовская 29.03.2020г



Рисунок 3.15 – Контроль установки переносной заземляющей штанги контактной сети на энергодиспетчерском пункте ст. Чусовская 29.03.2020г.

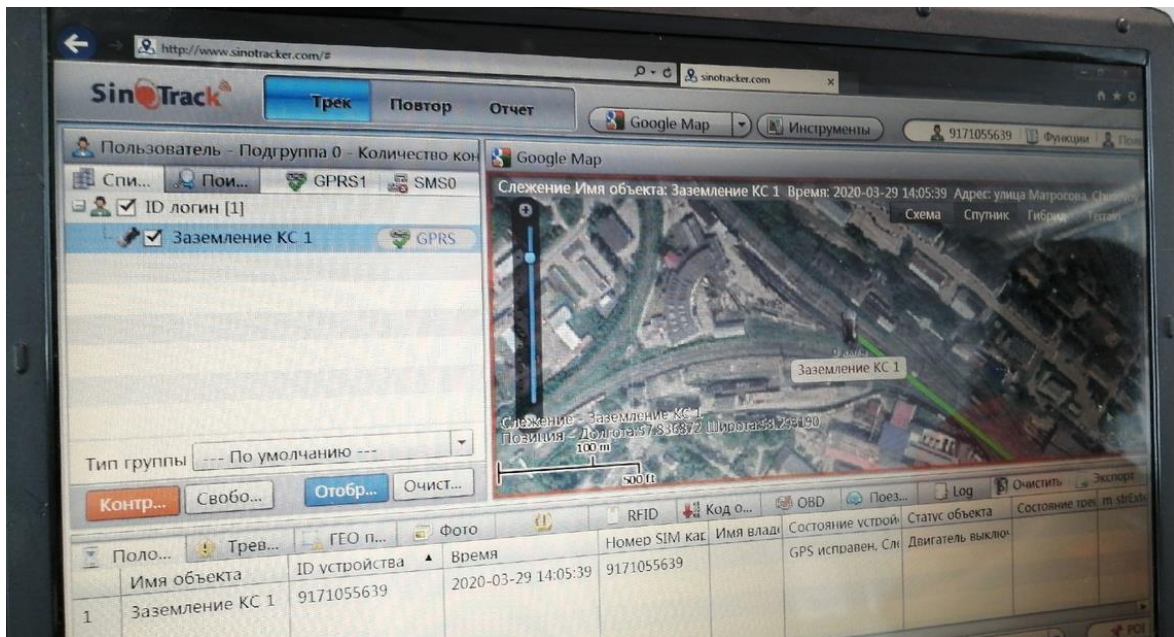


Рисунок 3.16 – Фиксация места и времени и порядкового номера установки переносной заземляющей штанги контактной сети ст. Чусовская 29.03.2020г.

3.6 Поиск путей повышения эксплуатационных характеристик и расширения функциональных возможностей систем контроля

Эффективность работы контролирующего устройства зависит не только от места расположения, типа и емкости источника питания, покрытия территории сетями *GSM*, но и от эксплуатационных характеристик, отражающих удобство и надежность используемого устройства.

Один из способов повысить эксплуатационные характеристики контролирующего устройства применения переносных заземляющих штанг контактной сети является отказ от механической связи включения устройства. В качестве альтернативной замены может быть рассмотрен индуктивный датчик приближения (рисунок 3.17).



Рисунок 3.17 – Индуктивный датчик приближения

Индуктивный датчик приближения *LJ18A3-8-Z/BX* имеет характеристики:
расстояние обнаружения около 8 мм;
напряжение питания 6-36 В постоянного тока;
ток на выходе 300 мА.

Алюминиевый водонепроницаемый корпус (рисунок 3.18) увеличит срок службы контролирующего устройства.

Элементы контролирующего устройства представлены на рисунке 3.19, внешний вид контролирующего устройства на рисунке 3.20. Контролирующее устройство смонтированное на переносной заземляющей штанге контактной сети представлено на рисунке 3.21.



Рисунок 3.18 – Алюминиевый водонепроницаемый корпус контролирующего устройства



Рисунок 3.19 – Элементы контролирующего устройства



Рисунок 3.20 – Внешний вид контролирующего устройства



Рисунок 3.21 – Контролирующее устройство с датчиком приближения, закрепленное на переносной заземляющей штанге контактной сети

Фиксирующую пружину необходимо изготовить с выгибом для срабатывания датчика приближения (рисунок 3.22). Изготовленная пружина представлена на рисунке 3.23. Точность срабатывания контролирующего устройства достигается путем приближения датчика к изгибу фиксирующей пружины. Регулировка приближения выполняется регулировочными гайками.

Контролирующее устройство может быть использовано на шунтирующих штангах при работе с применением съемной изолирующей вышки

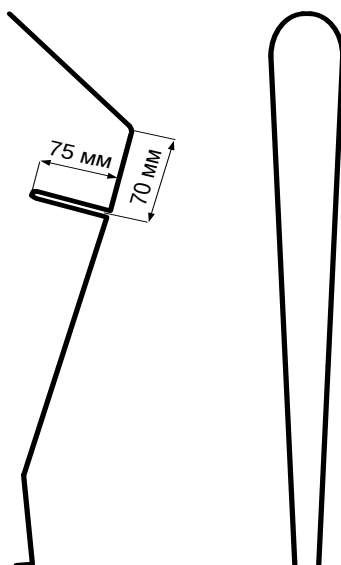


Рисунок 3.22 – Фиксирующая пружина переносного заземляющего устройства для контролирующего устройства

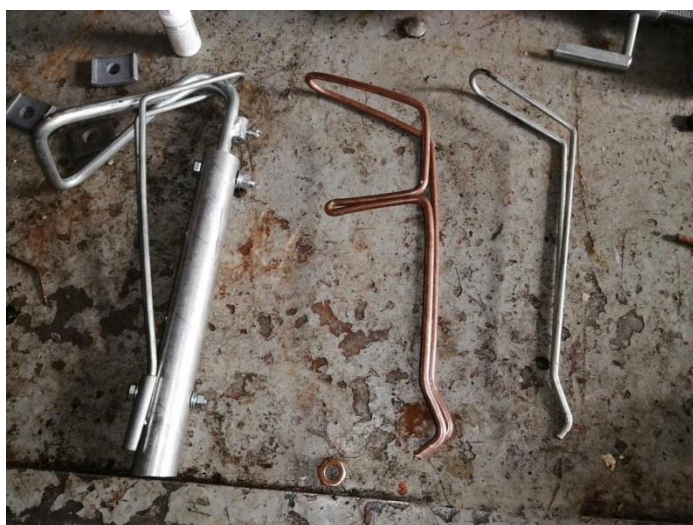


Рисунок 3.23 – Изготовление фиксирующей пружины для переносного заземления с контролирующим устройством

Недостатком контролирующего устройства применения переносного заземляющего устройства является то, что не применимо для переносного заземляющего устройства типа УЗП-ЗПМ (с головкой поворотной).

Размещение контролирующего устройства в токопроводящей трубе переносного заземляющего устройства служит повышению эргономичных характеристик. Для этого разработан корпус представленный на рисунке 3.24 и схема установки корпуса с контролирующим устройством на переносной заземляющей штанге контактной сети на рисунке 3.25 [91].

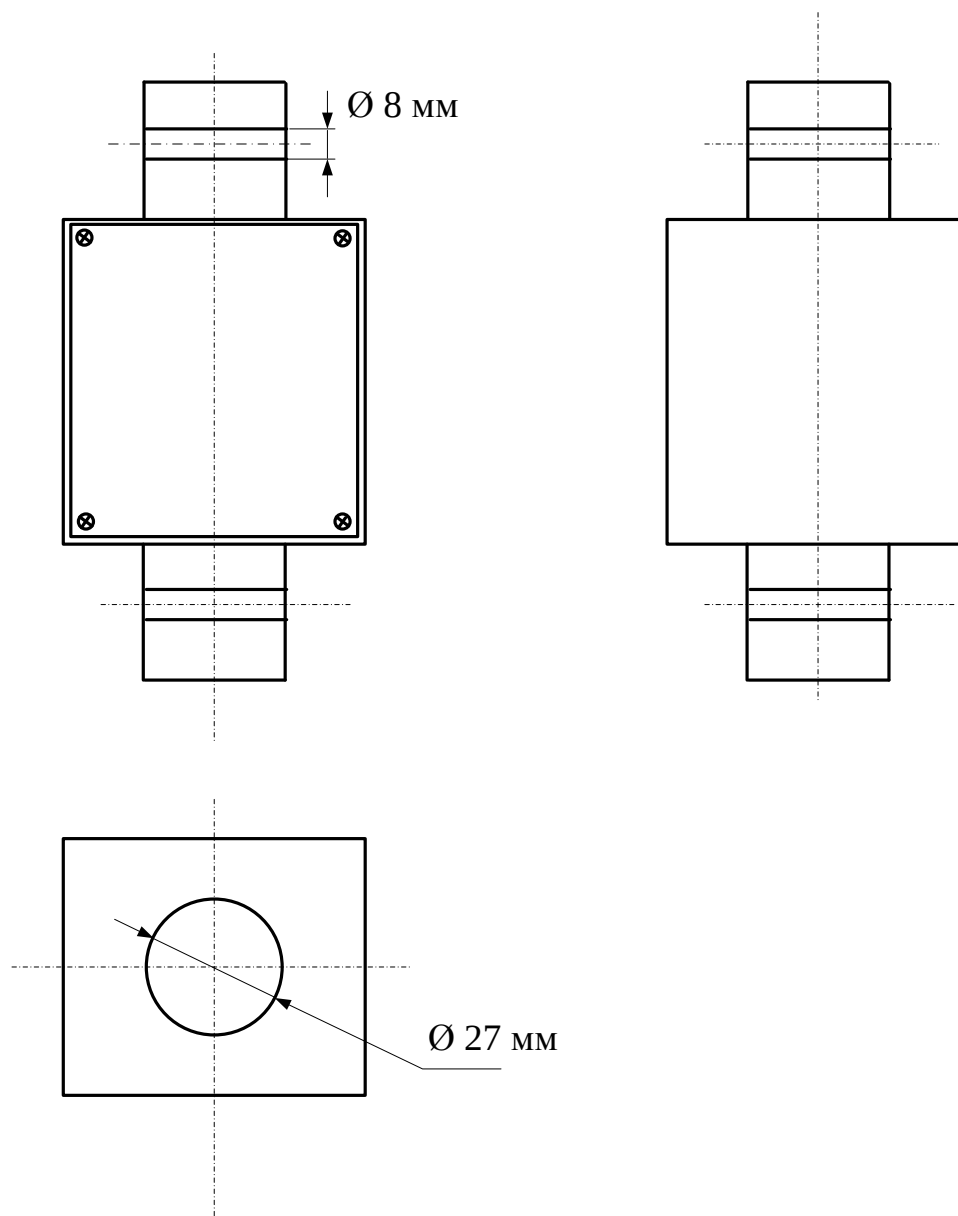
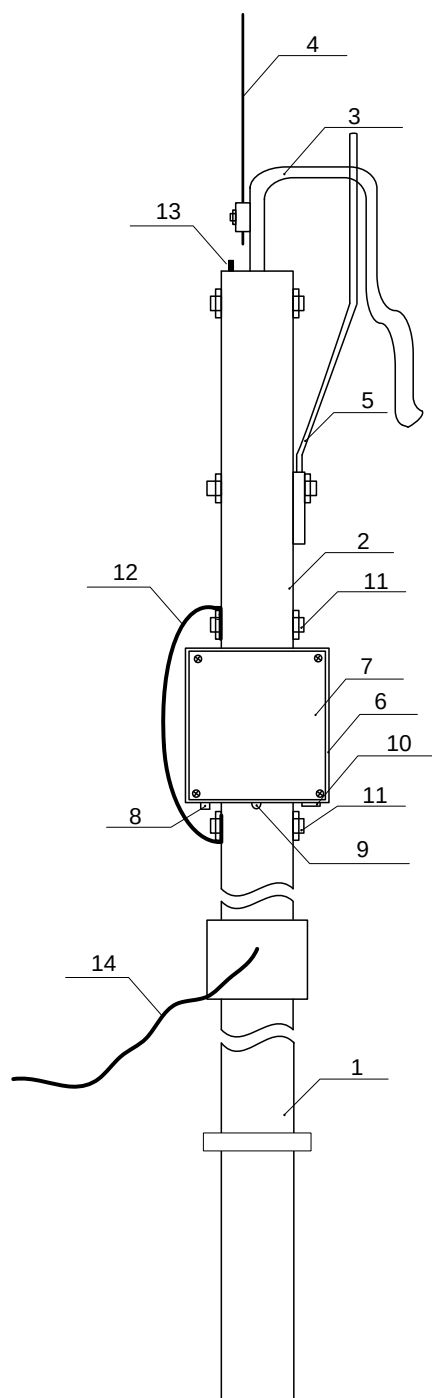


Рисунок 3.24 – Чертеж корпуса контролирующего устройства для монтажа в разрез верхней токопроводящей части переносного заземляющего устройства



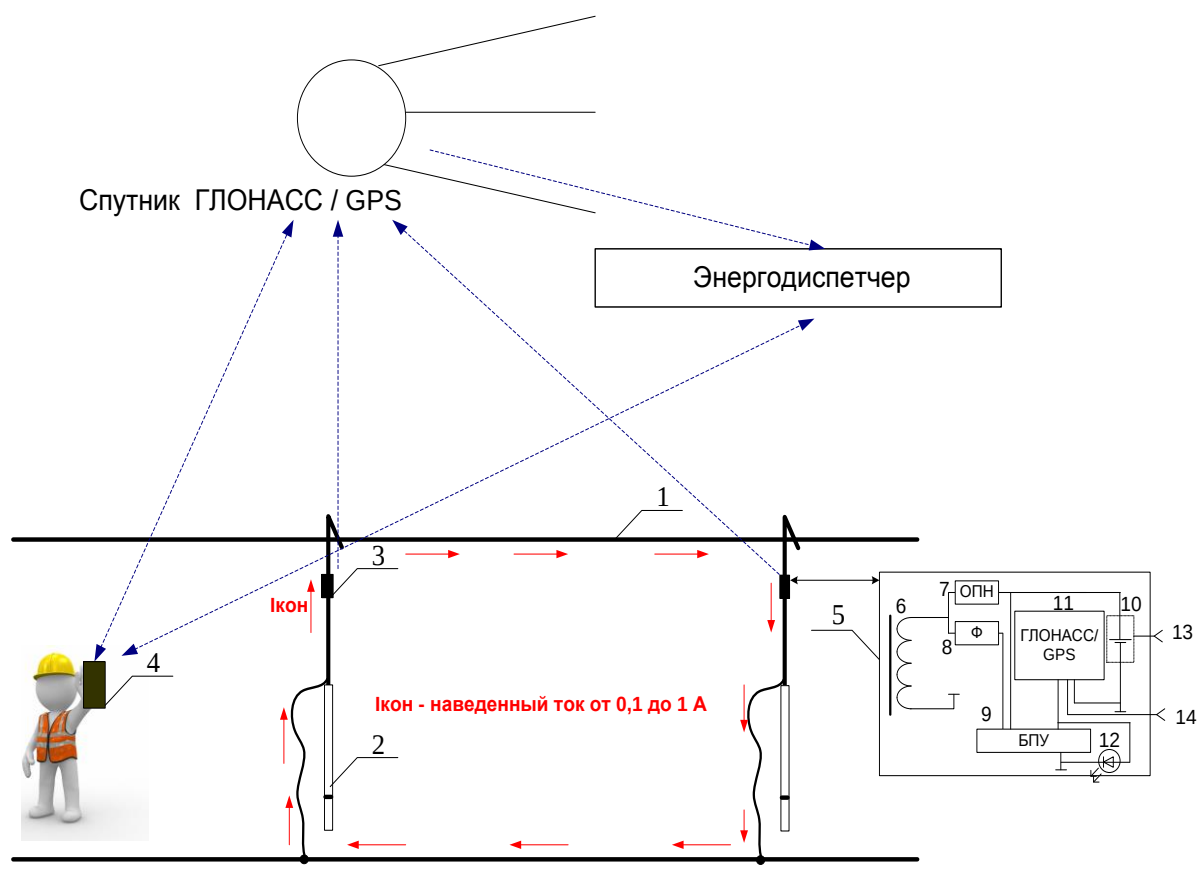
1 – изолирующая часть; 2 – токопроводящая труба; 3 – крюк; 4 – усовик;
 5 – фиксирующая пружина; 6 – корпус контролирующего устройства; 7 – технологическая крышка; 8 – кнопка включения *GPS*-трекера (или *ГЛОНАСС*-трекера); 9 – светодиод;
 10 – разъём зарядки; 11 – болты; 12 – медный проводник сечением по меди не менее 50 мм²;
 13 – внешняя антенна; 14 – заземляющий трос.

Рисунок 3.25 – Схема установки контролирующего устройства на переносной заземляющей штанге контактной сети

Для повышения степени контроля установки переносных заземляющих штанг на контактную сеть является внедрение контроля электрического контакта между накладным крюком заземляющей штанги и токоведущими частями контактной сети и между заземляющим башмаком и рельсом.

Схема контроля электрического контакта переносной заземляющей штанги контактной сети переменного тока представлена на рисунке 3.26.

При работе на контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением устанавливают на контактную линию 1 две заземляющие штанги 2, которые оснащены контролирующим устройством 3, на расстоянии около 200 метров, ограждающие место проведения работ. В образованном контуре появляются наведенные токи. Величина наведенных токов колеблется от сотен миллиампер до одного ампера, если штанги 2 нормально установлены и заземлены. В случае, если существует обрыв хотя бы одной из штанг, ток отсутствует, что характеризует состояние неисправности. Датчики 6 переменного сигнала реагируют на ток, возникающий в контуре, образованном воздушной линией, заземляющими штангами 2. При прочном заземлении наведенный ток от датчиков переменного сигнала 6 воздействует на ограничитель перенапряжения 7, подзарядное устройство 10, фильтр 8, блок программы управления 9, *GPS*-трекер или ГЛОНАСС-трекер 11 и на светодиод 12 с выходом линзы на внешнюю часть корпуса. *GPS*-трекер или ГЛОНАСС-трекер передает сигнал о наличии установленного заземления на энергодиспетчерский пункт и на защитное носимое устройство 4 производителя работ в режиме реального времени. При отсутствии заземления произойдет информирование энергодиспетчера, а защитное носимое устройство 4 информирует производителя работ о неисправности.



1 – контактная сеть; 2 – переносная заземляющая штанга; 3 – контролирующее устройство;
 4 – защитное носимое устройство; 5 – корпус; 6 – датчик переменного сигнала;
 7 – ограничитель перенапряжения; 8 – фильтр; 9 – блок программы управления;
 10 – подзарядное устройство; 11 – GPS-трекер или ГЛОНАСС-трекер; 12 – светодиод;
 13 – разъем для зарядки аккумуляторной батареи; 14 – антенна.

Рисунок 3.26 – Схема функционирования переносной заземляющей штанги контактной сети переменного тока

Выводы по третьей главе

1. Разработаны схемы, конструкции, методики внедрения в эксплуатацию способов и устройств, контролирующих эффективности использования переносных защитных заземляющих устройств с изолированными штангами контактной сети.

2. Создан опытный технический образец контролирующего устройства и осуществлен способ его применения с переносным заземляющим устройством и изолирующей штангой контактной сети. Проведенные исследования и испытания подтвердили техническую эффективность применения разработанного опытного образца контролирующего устройства.

3. Предложен защитный способ обеспечения электробезопасности персонала при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» при капитальном ремонте пути с заменой рельсошпальной решетки широким фронтом и методика его применения.

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

5. Определены дальнейшие перспективные пути повышения эксплуатационных характеристик и расширения функциональных возможностей систем контроля при применении переносных заземляющих устройств контактной сети.

4 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ, РАЗРАБОТАННЫХ СПОСОБОВ И СИСТЕМ КОНТРОЛЯ, ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ БЕЗОПАСНОСТИ

В главе представлена методика оценки эффективности, разработанных способов и систем контроля технических средств, обеспечения безопасных условий труда при производстве работ на высоковольтных электрических устройствах контактной сети.

Обосновано использование методик применения способов и устройств с использованием систем контроля переносных защитных заземляющих устройств на основе космического позиционирования по фактору электробезопасности.

Выполнено технико – экономическое обоснование выбора способа защитного заземления контактной сети при капитальном ремонте пути, с заменой рельсошпальной решетки широким фронтом на основе расчета приведенных строительно – эксплуатационных расходов, определяемых с учетом капитальных затрат и эксплуатационных затрат.

Предложен метод использования критерия Байеса - Лапласа при выборе оптимального варианта переносного заземляющего устройства контактной сети на основе использования критерия, оценивающего уровень электробезопасности с введением параметра вероятности возникновения электрической травмы.

4.1 Выбор методики применения, разработанных способов и систем контроля, по условиям минимизации риска травм электротехнического персонала

Можно сформулировать следующие критерии оценки эффективности конструктивного исполнения, разработанных способов и систем контроля, обеспечивающих снижение риска электрических травм персонала при обслуживании устройств энергетического комплекса:

1) соответствие требованиям электробезопасности при ошибочной, либо самопроизвольной подаче напряжения, а также наведенного напряжения на отключенные рабочие места персонала в действующих электроустановках;

2) соответствие конструктивного исполнения действующих технических защитных средств по фактору их надежности;

3) максимальная технико-экономическая оценка вариантов конструктивного исполнения;

4) оптимальное значение варианта с учетом всех технических, экономических и безопасных свойств конструкции (например, с помощью вероятностной оценки риска по методу Байеса – Лапласа).

Соответствие требованиям электробезопасности при ошибочной, либо самопроизвольной подаче напряжения, а так же наведенного напряжения, можно оценить по значению тока, проходящего по телу человека, в ситуации случайного прикосновения полученного расчетным путём. Полученное значение сравнивается с нормируемыми предельно допустимыми значениями уровней напряжения и тока прикосновения с учетом продолжительности воздействия.

Соответствие конструктивного исполнения по фактору надежности технических средств можно выполнить путем исследования надежности электрического контакта между башмаком и рельсом (зажимом и искусственным заземлителем), а также между накидным крюком переносной заземляющей

штанги (зажимом) и токоведущими частями.

Технико – экономическое сравнение вариантов конструктивного исполнения можно выполнить путем сравнения приведенных затрат за 10 лет эксплуатации, включающих капитальные и эксплуатационные затраты. Наиболее экономический вариант будет иметь наименьшие приведенные затраты.

Выбор оптимального варианта методики применения контролирующего устройства по методу Байеса – Лапласа с учетом весовых коэффициентов выбора позволяет принять решение с минимальным производственным риском при поиске оптимального варианта способа и системы контроля, обеспечивающих снижение риска электрических травм электротехнического персонала при обслуживании устройств энергетического комплекса.

4.2 Оценка показателей методики по фактору электробезопасности

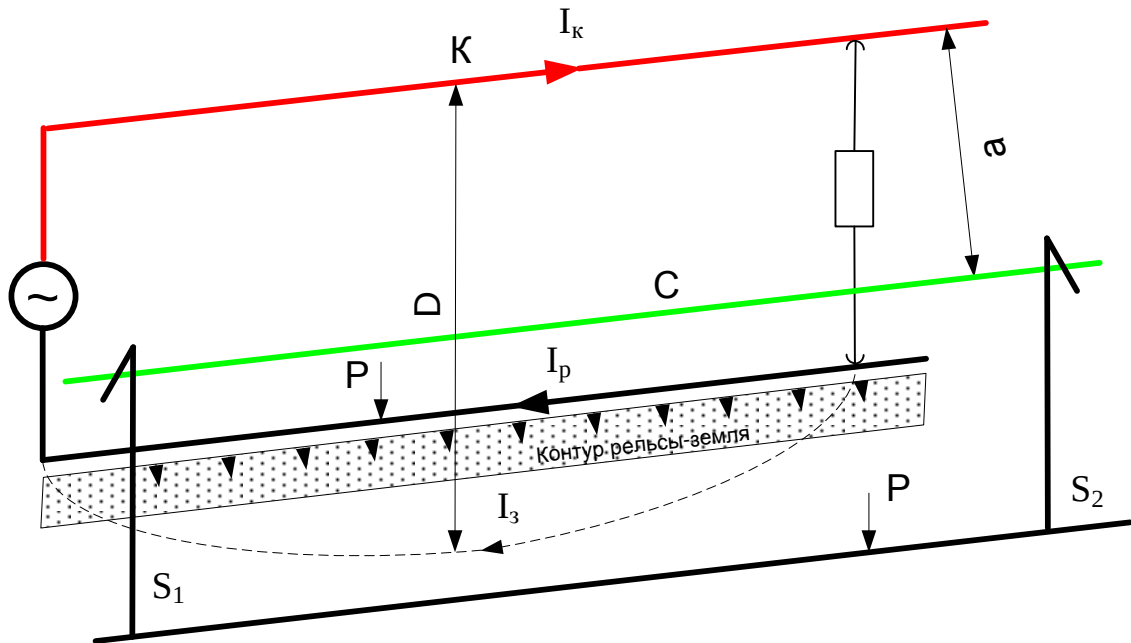
На контактной сети постоянного тока напряжение в отключенной секции после снятия напряжения может появиться лишь в результате его случайной подачи от других высоковольтных линий (неправильная регулировка или обрыв тяги привода и не срабатывания на отключение секционного разъединителя, перекрытие изолирующего сопряжения или секционного или врезного изолятора, наброс провода и т.п.). На электрифицированных линиях переменного тока отключенные провода контактной сети и другие, расположенные вдоль контактной сети отключенные линии, постоянно могут иметь высокий потенциал, наведённый индуктивным (электромагнитным) влиянием от параллельно расположенных и находящихся под рабочим напряжением контактных сетей соседних путей [121].

Если в контактной сети K (рисунок 4.1.) протекает переменный ток,

мгновенное значение которого i_k то в смежной линии C наводится (индуцируется) электродвижущая сила, В/км.

$$e = -M_{k-c} \frac{di_k}{dt}, \quad (4.1)$$

где M_{k-c} коэффициент взаимной индукции контуров: контактная сеть – земля и смежная линия – земля, Гн/км [23].



K – контактная сеть – рельсы; P – рельсы – земля; C – смежная линия – земля;
 S_1 и S_2 – заземляющие штанги; α – расстояние между контурами контактная сеть – земля и смежная линия – земля; D – расстояние между током I_k и током I_3 .

Рисунок 4.1 – Контур, оказывающие электромагнитное влияние на смежную линию

Величина M_{k-c} зависит от расстояния α между контурами, расстояние D между током I_k и током I_3 .

Ток I_3 – эквивалентный ток, протекающий на глубине, при которой D

оказывается таковым, что в смежной линии индуцируется электродвижущая сила, как и при действительном контуре контактная сеть – растекающийся в земле ток. Характер растекания в земле (величина D) зависит от удельной проводимости земли γ_3 и частоты f . Чем больше проводимость γ_3 и выше частота f , тем на меньшей глубине протекает ток I_3 , т.е. меньше D .

Таким образом,

$$M_{к-с} = \psi(a, \gamma_3, f). \quad (4.2)$$

Для практического определения значения коэффициента взаимоиנדукции пользуются кривой зависимости M от a_3 , γ_3 , f . Общий вид такой зависимости представлен на рисунке 4.2.

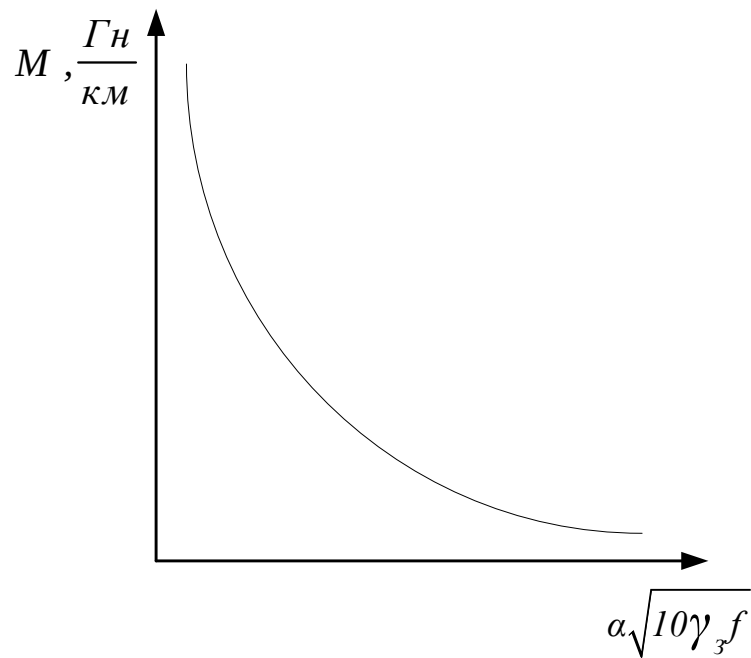


Рисунок 4.2 – Общий вид зависимости коэффициента взаимоиנדукции M от расстояния между контурами a , удаленной электропроводности земли γ_3 , частоты тока f .

Если

$$i_k = I_{k \text{ макс}} \sin \omega t, \quad (4.3)$$

то значение индуктированной в смежной линии электродвижущей силы будет

$$e = -\omega M_{k-c} I_{k \text{ макс}} \cos \omega t = \omega M_{k-c} I_{k \text{ макс}} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}). \quad (4.4)$$

Переходя от мгновенных значений к эффективным, получим следующее выражение для эффективного значения электродвижущей силы в смежной линии C , вызванной электромагнитным влиянием контактной сети K

$$E = \omega M_{k-c} I_k, \quad (4.5)$$

где I_k эффективное значение тока контактной сети, А.

Наличие под контактной сетью рельсов и контура рельс – земля уменьшает значение индуктированной в смежной линии электродвижущей силы.

Ток I_k индуктирует в смежной линии на длине l электродвижущую силу

$$E_{k-c} = \omega M'_{k-c} I_k l, \quad (4.6)$$

где M'_{k-c} – коэффициент взаимоиנדукции на единицу длины линии, Гн/км.

Соответственно в рельсах индуктируется электродвижущая сила

$$E_{k-p} = \omega M'_{k-p} I_k l, \quad (4.7)$$

отстающая от тока I_k на угол 90° . Электродвижущая сила E_{k-p} вызывает в контуре рельсы – земля ток I_p , отстающий от E_{k-p} на угол ϕ .

Ток I_p в свою очередь индуктирует в смежной линии электродвижущую

силу $E_{p-c} = \omega M'_{p-c} I_p l$, отстающая от тока I_p на 90° .

Векторная сумма $E_{к-с}$ и E_{p-c} дает результирующую электродвижущую силу в смежной линии $E_{с\text{ рез}}$.

Отношение $\frac{E_{с\text{ рез}}}{E_{к-с}} = k_p$ носит название коэффициента экранирующего действия рельсов.

Результирующая электродвижущая сила в смежной линии определяется по формуле

$$E_{с\text{ рез}} = k_p \omega M'_{к-с} I_{к} l. \quad (4.8)$$

Если ток в контактной сети несинусоидален, влияние высших гармоник учитывается коэффициентом формы кривой тока k_ϕ . Тогда электродвижущая сила, индуктированная в смежной линии, определяется

$$E_{с\text{ рез}} = k_\phi k_p \omega M'_{к-с} I_{к} l. \quad (4.9)$$

Для определения расстояния между заземляющими штангами при производстве работ на отключенном участке контактной сети необходимо знать распределение по длине смежной линии наведенного напряжения относительно земли. В случае изолированной от земли смежной линии напряжение U_3 относительно земли распределится, как показано на рисунке 4.3. Распределение останется тем же, если смежная линия будет заземлена в середине (рисунок 4.4) [23].

Если же участок контактной сети заземлен на одном конце, то напряжение относительно земли на другом конце будет равно наведенной электродвижущей силе (рисунок 4.5) [23].

Учитывая указанное распределение напряжения по длине линии, можно рассмотреть неблагоприятный случай, когда, например контактная сеть соседнего

пути, заземлена одной переносной заземляющей штангой, а в контактной сети действующего пути произошло короткое замыкание (рисунок 4.6) [23].

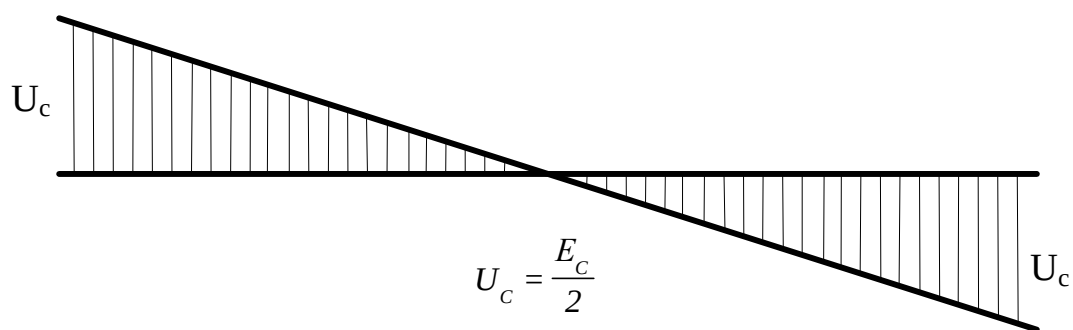


Рисунок 4.3 – Распределение напряжения относительно земли в изолированной линии

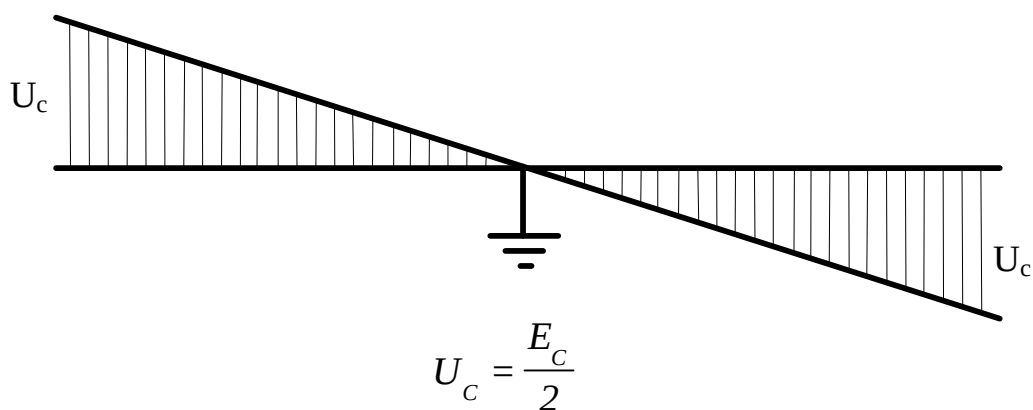


Рисунок 4.4 – Распределение напряжения относительно земли при заземлении линии в середине

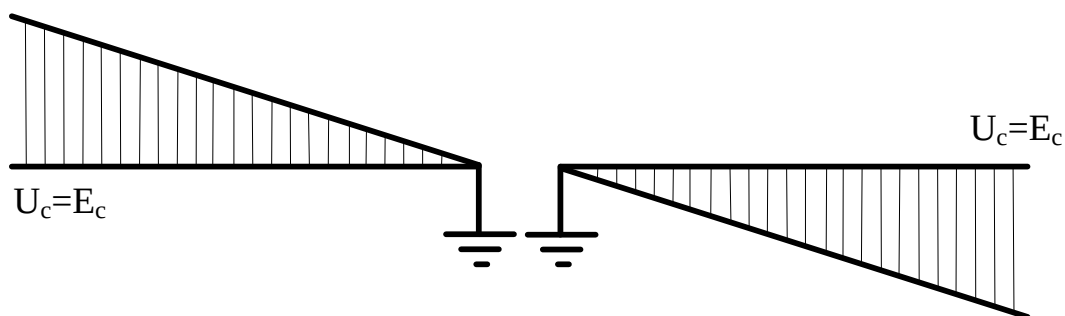


Рисунок 4.5 – Распределение напряжения относительно земли при заземлении линии в конце

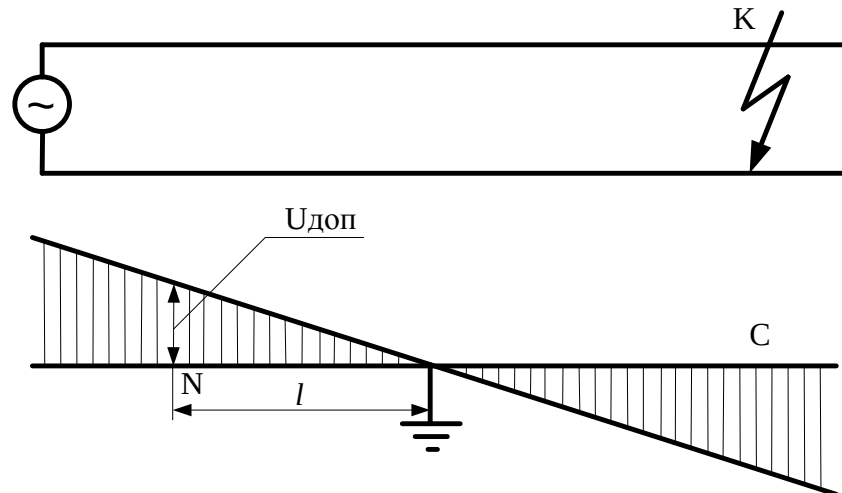


Рисунок 4.6 – Распределение напряжения относительно земли при одной переносной заземляющей штанге

Очевидно, что на каком-то расстоянии l от завешенной переносной заземляющей штанги (точка N) напряжение относительно земли достигнет предельно допустимого значения.

Для того чтобы ни в одной точке охраняемого участка смежной линии напряжение относительно земли не превышало допустимой нормы, вблизи точки N должна быть завешена вторая заземляющая штанга. Естественно, что завешивание второй штанги в точку N будет полностью удовлетворять изложенному выше требованию (формула 4.9) положим $E_{\text{срез}} = U_{\text{доп}} = 250 \text{ В}$.

Тогда в случае короткого замыкания в контактной сети расстояние между заземляющими штангами выразится

$$l = \frac{U_{\text{доп}}}{k_{\phi} k_p \omega M'_{\text{к-с}} I_{\text{кз}}}. \quad (4.10)$$

Коэффициент формы кривой тока может быть принят равный 1,25. Коэффициент взаимоиנדукции M и коэффициент экранирующего действия k_p зависит от глубины протекания эквивалентного тока [23].

Наихудшие условия, когда расстояние между заземляющими штангами будет наименьшим, это произойдет, если: удельная проводимость земли наименьшая, глубина протекания эквивалентного тока наибольшая, короткое замыкание произошло вблизи подстанции и утечка тока в землю невелика. При этом коэффициент экранирующего действия k_p может быть принято равным 0,4; ширина междупутья $a=4,1$ м; частота тока $f=50$ Гц [23].

По кривой зависимости $M=\psi(a, \gamma_z, f)$ этому значению аргумента соответствует величина коэффициента взаимоиנדукции

$$M \approx 1200 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/км.}$$

Ток короткого замыкания вблизи подстанции с двумя трансформаторами по 31,5 МВА будет

$$I_{\text{к кз}} \approx 7000 \text{ А.}$$

Тогда из (4.10):

$$l = \frac{250}{1,25 \cdot 0,4 \cdot 314 \cdot 1200 \cdot 10^{-6} \cdot 7000} = 0,19 \text{ км,}$$

или $l \approx 200$ м.

При больших токах короткого замыкания величина индуктированной в смежной линии электродвижущей силы может достигать нескольких тысяч вольт.

Если рассмотреть контуры работающего и отключенного питающих фидеров, когда рельсы отсутствуют и $k_p = 1$, расстояние между заземляющими штангами, обеспечивающее безопасность персонала будет

$$l \approx 100 \text{ м.}$$

Для обеспечения электробезопасности работников при обслуживании устройств контактной сети, особенно на электрифицированных участках переменного тока, необходима автоматизация контроля за процессом заведывания, снятия и состоянием контакта заземляющей штанги с контактной линией. Это достигается путем применения разработанных контролирующих устройств применения переносных заземляющих штанг контактной сети.

Для способа защитного заземления контактной сети при замене рельсошпальной решетки широким фронтом расчет в главе 2 показал, что значение тока, проходящего по телу человека было снижено с 0,183 А до 0,054 А и является предельно допустимым с продолжительностью воздействия 1 секунда.

4.3 Оценка показателя оптимального выбора по фактору надежности технических средств

Наряду с проводниками переносного заземления весьма ответственными деталями являются также зажимы, с помощью которых проводники присоединяются к заземляемым проводам контактной сети. Конструкция зажимов должна обеспечивать прочное крепление их на заземленных токоведущих частях с тем, чтобы динамические усилия, возникающие при коротких замыканиях, не могли нарушить контакта между ними [35].

В практической деятельности при работе на контактной сети с использованием переносного заземляющего устройства важно наличие хорошего электрического контакта между башмаком и рельсом, а также между накидным крюком и токоведущими частями. Проверка этого показателя, как правило, не проводится. Зачастую штанги заведываются на покрашенные фиксаторы, а

заземляющий башмак прикрепляется к плохо зачищенным или совсем не зачищенным рельсам.

Окислительная пленка порой не разрушается ни от механического давления, ни от пробоя пленки под влиянием электрического поля. При отсутствии электрического контакта, пробой окисленной пленки проходил при приложении напряжения порядка 35 – 55В, а в лабораторных условиях было измерено пробивное напряжение значительно проржавленных слоев двух пластин, что может соответствовать самым наихудшим условиям. Пробивное напряжение колебалось 180 – 224 В [13].

Риск получения электрической травмы существует при работе нескольких бригад на одном отключенном и заземленном для работы участке на контактной сети. Появление напряжения обусловлено магнитным влиянием, оно может оказаться по величине меньшим, чем пробивное напряжение дефектных контактов заземляющей штанги. В этом случае электрический контакт в заземляющей штанге не восстановится, а работник может попасть под длительное воздействие наведенного напряжения.

Разработанные контролирующие устройства переносных заземляющих устройств изолирующих штанг контактной сети не влияют на усилие нажатия фиксатора штанги, которое должно составлять не менее 30 Н [31], поэтому этот показатель должен рассматриваться независимо от наличия контролирующего устройства.

При реализации способа защитного заземления контактной сети при замене рельсошпальной решетки широким фронтом необходимо зачищать элементы контактной подвески и заземляющих контуров от окисленной пленки и ржавчины. При наложении зажимов (клемм) использовать токопроводящие смазки.

4.4 Оценка экономических показателей системы

Социальная эффективность обеспечения работников очень значима и может оцениваться снижением случаев травматизма или числа опасных производственных факторов. Она может проявляться не сразу, а в отдаленной перспективе, в этом ее особенность. Социальная эффективность формируется на основе снижения морального, материального, физического и иного ущерба, приносящего дискомфортные для жизни (несовместимые с жизнью) человека условия.

Обеспечение приоритета сохранения жизни и здоровья работников это основное направление государственной политики в области охраны труда [117]. Охрана труда, является одним из важнейших факторов повышения эффективности производства.

Трудовой кодекс Российской Федерации обязывает работодателя обеспечивать безопасность и условия труда, соответствующие государственным нормативным требованиям охраны труда [117].

Травматизм наносит не только социальный, но и значительный экономический ущерб.

Технико – экономическое обоснование выбора способа защитного заземления контактной сети при замене рельсошпальной решетки широким фронтом производится на основе расчета приведенных строительно – эксплуатационных расходов, определяемых с учетом капитальных затрат и эксплуатационных затрат [19,125].

$$З_{\text{пр}} = \sum_{t=0}^T \left[\frac{k_t}{(1 + E + Z)^t} + (1 - j) \cdot \frac{C_t}{(1 + E + Z)^t} \right], \quad (4.11)$$

где k_t – капитальные вложения (стоимость заземляющего устройства);

E – норма дисконта, принимаем 0,11;

j – доля налоговых отчислений, принимаем 0,24;

C_t – эксплуатационные расходы;

t – шаг расчёта;

T – горизонт расчёта, принимаем 8 лет;

Z – рисковая поправка, принимаем 0,03.

При оценке экономической эффективности по приведенным строительно-эксплуатационным расходам наиболее эффективным является вариант, у которого их величина наименьшая.

При определении приведенных расходов будет рассмотрен тот же участок, что и в главе 2 перегон ст. Комарихинская – ст. Кутамыш Свердловской железной дороги.

При капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой согласно Правил [108] заземление контактной сети осуществляется в конце и в начале зоны работ на две подсоединенных к рельсу заземляющие штанги и на специальный искусственный заземлитель, забитый в грунт на глубину не менее одного метра через каждые 200 метров, работниками имеющих не ниже III группы по электробезопасности под наблюдением представителя дистанции электроснабжения.

Для заземления перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» согласно [108] требуется 40 искусственных заземлителей.

При капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой на перегоне ст. Комарихинская – ст. Кутамыш, контактная подвеска заземлена на контуры заземления сигнальных точек. На данном перегоне 20 контуров заземлений сигнальных точек с сопротивлением не более 10 Ом. Следует отметить, что 40 шт. специальных заземлителей не требуется доставлять к месту работ и погружать в грунт на глубину не менее одного метра механическим способом, что существенно снижает объемы тяжелых ручных работ.

Для определения экономической эффективности внедрения схемы заземления контактной подвески на контуры инфраструктуры при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой на перегоне ст. Комарихинская – ст. Кутамыш, требуется определить эксплуатационные расходы и капитальные вложения по ее внедрению и приведенные затраты.

По элементам затрат эксплуатационные расходы подразделяются на заработную плату, отчисления на социальные нужды, амортизационные отчисления, прочие расходы.

Структура расчета экономического эффекта включает в себя:

расчет капитальных вложений;

расчет текущих годовых расходов;

расчет возможного увеличения доходов за счет реализации мероприятия;

расчет экономического эффекта, приведенных затрат и срока окупаемости.

При заземлении контактной подвески перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» согласно [108] потребуется:

электромеханик района контактной сети;

водитель;

электромонтёр района контактной сети 3-го разряда;

электромонтёр района контактной сети 5-го разряда;

норма времени на производство работы [116]:

Согласно [116] характеристика заземления контактной сети перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» сведены в таблицу 4.1. Величины экономических показателей сведём в таблицу 4.2.

Таблица 4.1 – Характеристика заземления контактной сети перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона»

Вид работ	Состав бригады	Норма времени, чел. - час.	
		На бригаду	На члена бригады
Перемещение ремонтного персонала к месту работы и обратно (от ст. Кутамыш до ст. Комарихинская)	Водитель –1 Электромеханик –1 Электромонтёр района контактной сети 3-го разряда – 1 Электромонтёр района контактной сети 4-го разряда – 1	2	0,5
Установка и снятие переносных заземляющих штанг на контактной сети с обеих сторон места работ по две заземляющих штанги	Электромеханик –1 Электромонтёр района контактной сети 3-го разряда – 1 Электромонтёр района контактной сети 4-го разряда – 1	0,84	0,28
Забивка электрода на глубину 1 метр одного электрода	Электромеханик –1 Электромонтёр района контактной сети 3-го разряда – 1 Электромонтёр района контактной сети 4-го разряда – 1	0,126	0,042
Присоединение заземляющего шлейфа заземления к электроду и к контактной сети	Электромеханик –1 Электромонтёр района контактной сети 3-го разряда – 1 Электромонтёр района контактной сети 4-го разряда – 1	0,146	0,049
Переход бригады к новому месту установки искусственного заземлителя	Электромеханик –1 Электромонтёр района контактной сети 3-го разряда – 1 Электромонтёр района контактной сети 4-го разряда – 1	0,06	0,02

Таблица 4.2 – Сравнение экономических показателей способов защитного заземления контактной сети при замене рельсошпальной решетки широким фронтом

Наименование затрат	Заземление контактной сети			
	На 40 искусственных заземлителей, руб.	На 20 заземляющих контуров сигнальных точек ЭЧ, руб.	На 40 заземляющих контуров сигнальных точек ЭЧ и ШЧ, руб.	На 40 заземляющих контуров сигнальных точек ЭЧ, ШЧ и 10 стационарных заземляющих контуров сопротивлением не более 4 Ом, руб.
Капитальные вложения всего	418 020,8	241 650,4	288 300,8	392 806,0
Годовые текущие расходы на эксплуатацию	21 502,5	13 967,8	16 279,6	33 701,47
Отчисления на социальные нужды	2 329,0	1 670,4	1 911,8	5 032,6
Амортизационные отчисления	10 450,52	6 041,26	7 207,5	9 820,1
Показатели экономической эффективности				
Приведенные затраты	504 441,7	297 788,6	353 730,3	528 256,0

Из приведенных затрат видно, что заземление контактной подвески перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» на контуры сигнальных точек балансодержателем которых являются дистанция электроснабжения и дистанция сигнализации, централизации и блокировки обходится дешевле по сравнению с заземлением контактной подвески перегона ст. Комарихинская – ст. Кутамыш при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» на искусственные заземлители согласно Правил [108] на 150 711,4 руб. за восемь лет эксплуатации.

4.5 Методика оптимального выбора переносного заземляющего устройства по методу Байеса – Лапласа с учетом риска

Широкий ассортимент изолирующих штанг с различными техническими характеристиками для наложения заземления на контактную сеть железных дорог затрудняет принятие решения при выборе оптимального переносного заземляющего устройства контактной сети (Приложение А) [38,46,47,113,128,129,132].

На практике выбор переносного заземляющего устройства контактной сети, часто основан на двух показателях, например, цена и качество. Если ключевых параметров больше, то задача существенно усложняется. На этот случай разработаны методы принятия технических решений, нашедшие широкое применение в теории игр при определении оптимальной стратегии [17,69].

Принятие решения заключается в выборе оптимального устройства. Каждый вариант E_i – один из некоторого множества рассматриваемых вариантов E ($E_i \in E$). Он определяется некоторыми оценками e_i , выступающими количественными показателями переносное заземляющее устройство контактной сети: e_1 – масса; e_2 – длина; e_3 – длина в сложенном состоянии; e_4 – срок службы; e_5 – стоимость; e_6 – вероятность электрической травмы (на данном этапе не учитывается и будет принят во внимание ниже). Число вариантов может быть конечным (E_m) или бесконечным (E_i). В рассматриваемом случае оно конечно (E_8). Наиболее простое решение – выбор варианта с наибольшими (максимально полезными) значениями оценок, т.е. цель – определение варианта с показателем $\max e_i$ [61].

Оценки e_i характеризуют выигрыш, полезность или надежность, причем в некоторых случаях величина полезности отрицательна. Множество оптимальных

вариантов E_o состоит из таких вариантов E_{io} , которые принадлежат множеству E_i и имеют оценку e_{io} , максимальную среди всех оценок e_i :

$$E_o = \{E_{io} | E_{io} \in E \wedge e_{io} = \max e_i\}. \quad (4.12)$$

Логический знак $\wedge$ требует, чтобы выполнялись оба связываемые им утверждения.

Рассмотренный случай характеризует наиболее простую модель выбора решения, когда каждому его варианту соответствует одно состояние, т.е. однозначно определяется единственный вариант с максимальной оценкой e_{io} . На практике существуют более сложные структуры принятия решений, когда каждому варианту E_i соответствует состояние (фактор) F_i с целым набором оценок e_i .

Семейство вариантов, их состояний (факторов) и оценок можно описать матрицей решений $\|e_{ij}\|$:

$$\begin{matrix} & \begin{matrix} F_1 & F_2 & F_3 & \dots & F_j & \dots & F_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ \dots \\ E_i \\ \dots \\ E_m \end{matrix} & = \begin{vmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} & \dots & e_{1j} & \dots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} & \dots & e_{2j} & \dots & e_{2n} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & \dots & e_{3j} & \dots & e_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{i1} & e_{i2} & e_{i3} & \dots & e_{ij} & \dots & e_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{m1} & e_{m2} & e_{m3} & \dots & e_{mj} & \dots & e_{mn} \end{vmatrix} \end{matrix}. \quad (4.13)$$

Критерий Байеса – Лапласа (BL-критерий) можно выразить следующими условиями. При $Z_{BL} = \max_i e_{ir}$ и $e_{ir} = \sum_{j=1}^n e_{ij} q_j$ справедливо соотношение:

$$E_o = \left\{ E_{io} | E_{io} \in E \wedge e_{io} = \max_i \sum_{j=0}^n e_{ij} q_j \wedge \sum_{j=0}^n q_j = 1 \right\}. \quad (4.14)$$

Технологию выбора сформулируем так: матрица решений $\|e_{ij}\|$ дополняется еще одним столбцом, содержащим математическое ожидание (среднее значение) каждой из строк; для $\sum_{j=1}^n e_{ij}q_j$ выбирается вариант со строкой, в которой находится наибольшее значение дополнительного столбца $\max_i \sum_{j=1}^n e_{ij}q_j$, при этом сумма вероятностей появления оценок в строке должна равняться единице.

Критерий Байеса – Лапласа применяют при выборе решений из вариантов, характеризующихся такими обстоятельствами:

вероятности появления оценок состояний F_j известны, а их значения не зависят от момента принятия решения;

решение по выбору вариантов реализуется много раз;

допустимый риск увеличивается при уменьшении числа вариантов решений [71].

Технические характеристики переносного заземляющего устройства с контролирующим устройством приведены в таблице 4.3. Срок его службы зависит от ресурса литий-ионного аккумулятора, который подлежит ежегодной замене для гарантированной работы оборудования. Это учтено при расчете финансовой составляющей: цена контролирующего устройства – 10641,93 руб., соответственно, стоимость оснащенной им переносной заземляющей штанги УЗП-3 – 28303,6 руб.

Таблица 4.3 – Основные технические характеристики некоторых переносных заземляющих устройств

Наименование переносное заземляющее устройство (производитель, страна)	Масса, кг	Длина, мм	Длина в сложенном состоянии, мм	Срок службы, лет	Цена, руб.	Вероятность электрической травмы, чел/год
УЗП-3 (ООО Симферопольский электро-технический завод», РФ)	13,5	5700	3179	15	17661,65	$2,7 \cdot 10^{-4}$

Продолжение таблицы 4.3

УЗП-2 (ООО «ЭлРоском», РФ)	12,5	5200	3000	15	18720,77	$2,7 \cdot 10^{-4}$
УЗП-3Н-КС (ООО «Энергозащита», Армения)	12,0	6000	3000	15	20160,54	$2,7 \cdot 10^{-4}$
JK22-8WL (RAGNAR STÅLSKOG AB, Швеция)	11,3	6400	2000	20	45050,42	$2,7 \cdot 10^{-4}$
Заземляющая штанга для железнодорож- ных КС (DEHN SE + Co KG, Германия)	9,5	4915	1055	20	30670,98	$2,7 \cdot 10^{-4}$
Провод заземления КС (Bazhou Kangxianzhuang Taixiang, КНР)	8,5	8000	2000	20	38679,06	$2,7 \cdot 10^{-4}$
Переносное заземление (Honeywell, США)	7,0	6400	3000	20	31285,52	$2,7 \cdot 10^{-4}$
УЗП-3 с контролирующим устройством	13,6	5700	3179	15	28303,60	$2,0 \cdot 10^{-5}$

Теперь учтем дополнительный параметр e_6 – вероятность электрической травмы, который зависит от применения переносного заземляющего устройства с контролирующим устройством. В итоге матрица решений принимает вид (лучшая оценка взята за единицу, а остальные – за долю от лучшей оценки):

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	
E_1	0,519	0,713	0,332	0,750	1,000	0,074	3,388
E_2	0,560	0,650	0,352	0,750	0,943	0,074	3,329
E_3	0,583	0,750	0,352	0,750	0,876	0,074	3,385
E_4	0,619	0,800	0,528	1,000	0,392	0,074	3,413
E_5	0,737	0,614	1,000	1,000	0,576	0,074	4,001
E_6	0,824	1,000	0,528	1,000	0,457	0,074	3,883
E_7	1,000	0,800	0,352	1,000	0,565	0,074	3,791
E_8	0,515	0,713	0,332	0,750	0,624	1,000	3,934

Расчет показывает, что оптимальным вариантом переносного заземляющего устройства стал E_5 , так как $Z_{BL} = \max E_5 = 4,001$.

Введем весовые показатели: для F_1 (фактор массы переносного заземляющего устройства), F_2 (фактор длины) и F_3 (фактор длины в сложенном состоянии) весовой показатель составляет 0,1; для F_4 (фактор срока службы) и F_5 (фактор стоимости) – 0,2; для F_6 (фактор вероятности электрической травмы) – 0,3, что подтверждают статистические данные по электротравматизму на контактной сети. Обеспечение безопасных условий труда работников и снижение вероятности возникновения электрической травмы при эксплуатации контактной сети – приоритетное направление исследований, проводимых экспертами ОАО «РЖД» [101,109,115,138].

С учетом весового показателя матрица решений выглядит следующим образом:

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	
E_1	0,052	0,071	0,033	0,150	0,200	0,022	0,529
E_2	0,056	0,065	0,035	0,150	0,189	0,022	0,517
E_3	0,058	0,075	0,035	0,150	0,175	0,022	0,516
E_4	0,062	0,080	0,053	0,200	0,078	0,022	0,495
E_5	0,074	0,061	0,100	0,200	0,115	0,022	0,573
E_6	0,082	0,100	0,053	0,200	0,091	0,022	0,549
E_7	0,100	0,080	0,035	0,200	0,113	0,022	0,550
E_8	0,051	0,071	0,033	0,150	0,125	0,300	0,731

Расчет показывает, что при установленных весовых показателях оптимальным вариантом переносного заземляющего устройства контактной сети железнодорожного транспорта выступает E_8 , так как $Z_{BL} = \max E_8 = 0,731$.

Представлен метод использования критерия Байеса – Лапласа при выборе оптимального варианта переносного заземляющего устройства контактной сети с учетом весовых показателей для каждой технической характеристики. Проведена оценка переносных заземляющих устройств, включая уровень электробезопасности, обосновано определение оптимального варианта.

Выводы по четвертой главе

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

2. 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.

3. Доказана техническая и экономическая эффективность от внедрения разработанного способа защитного заземления контактной сети при капитальном ремонте пути с заменой рельсошпальной решетки широким фронтом.

4. 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. Приведенные затраты при заземлении контактной подвески этого перегона 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.

5. Предложен метод оптимизации с использования критерия Байеса – Лапласа при выборе оптимального варианта переносного заземляющего устройства контактной сети на основе учёта уровня электробезопасности производства работ введением параметра вероятности возникновения электрической травмы. Лучшим вариантом переносной заземляющей штанги контактной сети, с учетом весовых показателей, признана заземляющая штанга, оснащенная контролирующим устройством.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе представлено новое решение актуальной научно-технической задачи охраны труда 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 охраны труда 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 $163 \cdot 10^{-6}$ 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. 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.

4. Разработан и обоснован защитный способ обеспечения электробезопасности работников энергетического комплекса при капитальном ремонте пути по технологии «закрытого перегона» со снятой рельсошпальной решеткой. 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 применения способа защитного заземления контактной сети при замене рельсошпальной решетки широким фронтом.

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

6. Разработана методика оценки эффективности разработанных способов и

систем контроля обеспечения безопасных условий труда при производстве работ на устройствах контактной сети. 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 1252201 СССР. Устройство для контроля за производством работ на контактной сети / Зельвянский Я.А., Хренов С.А., заявитель МИИТ опубл. 15.12.1988, Бил.№46. – 3 с. : ил.
2. Анализ случаев травматизма со смертельным исходом в хозяйстве электрификации и электроснабжения ОАО «РЖД» за период 1969-2012 гг. / Р.А. Хорошевский [и др.] – М. : Техинформ, 2013. – 118 с.
3. Анализ состояния условий и охраны труда в ОАО «РЖД» за 2012 год. Отчетный документ. М. : ОАО «РЖД», 2013. – 102 с.
4. Анализ состояния условий и охраны труда в ОАО «РЖД» за 2013 год. Отчетный документ. М. : ОАО «РЖД», 2014. – 123 с.
5. Анализ состояния условий и охраны труда в ОАО «РЖД» за 2014 год. Отчетный документ. М. : ОАО «РЖД», 2015. – 142 с.
6. Анализ состояния условий и охраны труда в ОАО «РЖД» за 2015 год. Отчетный документ. М. : ОАО «РЖД», 2016. – 74 с.
7. Анализ состояния условий и охраны труда в ОАО «РЖД» за 2016 год. Отчетный документ. М. : ОАО «РЖД», 2017. – 114 с.
8. Анализ состояния условий и охраны труда в ОАО «РЖД» за 2017 год. Отчетный документ. М. : ОАО «РЖД», 2018. – 82 с.
9. Анализ состояния условий и охраны труда в ОАО «РЖД» за 2018 год. Отчетный документ. М. : ОАО «РЖД», 2019. – 80 с.
10. Анализ состояния условий и охраны труда в ОАО «РЖД» за 2019 год. Отчетный документ. М. : ОАО «РЖД», 2020. – 76 с.
11. Анализ состояния условий и охраны труда в ОАО «РЖД» за 2020 год. Отчетный документ. М. : ОАО «РЖД», 2021. – 71 с.
12. Баранов, Е.А. Техника безопасности при эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог и устройств электроснабжения

автоблокировки [Текст]: монография / Е. А. Баранов, Я. А. Зельвянский, 1975. - 120 с.

13. Безопасность и культура труда на предприятиях Свердловской железной дороги [Текст] : сборник научных трудов. Вып. 45 / [под ред. Т. К. Ефремова, Г. А. Вакуленко], 1974. - 275 с

14. Беленький, В.М. Прогнозирование показателей травматизма сотрудников федеральной противопожарной службы МЧС России / В.М. Беленький, В.С. Путин // Безопасность труда в промышленности. 2018. № 10. С. 56-59.

15. Белов, П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: учеб. пособие. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 512 с.

16. Бухтояров, В.Ф. Результаты анализа производственного электротравматизма на предприятиях железнодорожного транспорта / В.Ф. Бухтояров, К.Ю. Рыбалченко // Электробезопасность. 2015. № 4. С. 64–69.

17. Величко, О.Ю. Моделирование и анализ поведения игрока при многократно повторяющейся ситуации / О.Ю. Величко, Т.А. Гробер // Молодой исследователь Дона. – 2017. – № 3 (6). – С. 103–108.

18. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст] : учебное пособие для студентов высших технических учебных заведений / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. - 5-е изд., стер. – М. : КНОРУС, 2010. - 480 с.

19. Волков, Б.А. Оценка экономической эффективности инвестиций и инноваций на железнодорожном транспорте : учеб. Пособие / Б.А. Волков – М.: Транспорт, 2009. – 152 с.

20. Вопросы безопасности труда на железнодорожном транспорте : сборник научных трудов / Под общ. ред. О.Ф. Горнова, 1974. - 174 с.

21. Воронкова, О.В. Анализ электротравматизма при электрификации железных дорог. / О.В. Воронкова // Вопросы безопасности труда на железнодорожном транспорте [Текст] : сборник научных трудов / под общ. ред. О.Ф. Горнова, 1969. – С. 180 – 185.

22. Гиндулин, Ф.А. Перенапряжения в сетях 6-35 кВ / Ф.А. Гиндулин [и др.] – М. : Энергоатомиздат, 1989. - 192 с.
23. Горнов, О.Ф. О некоторых факторах повышенной опасности труда на железнодорожном транспорте и средствах защиты от травматизма/ О.Ф. Горнов // Вопросы безопасности труда на железнодорожном транспорте : сборник научных трудов / под общ. ред. А. П. Киселева, 1966. – С 4 – 22.
24. ГОСТ 12.0.003–74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-0-003-74-ssbt> (дата обращения: 08.02.2020).
25. ГОСТ 12.1.009–76. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200278> (дата обращения: 08.02.2020).
26. ГОСТ 12.1.019–79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200302> (дата обращения: 08.02.2020).
27. ГОСТ 12.1.038–82(2001). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. [Электронный ресурс]. URL: [http://ervist.ru/info/normbase/gost%2012.1.038-82%20\(2001\).pdf](http://ervist.ru/info/normbase/gost%2012.1.038-82%20(2001).pdf) (дата обращения: 08.02.2020).
28. ГОСТ 12.4.011–89. ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.- М.:Изд-востандартов.-1990.- 14с.
29. ГОСТ 20494-2001. Штанги изолирующие оперативные и штанги переносных заземлений. Общие технические условия. -М.: Изд-востандартов.-2003.- 10с.
30. ГОСТ IEC 61230–2012. Работы, выполняемые под напряжением. Переносное оборудование для заземления или для заземления и закорачивания. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200104232> (дата обращения: 24.11.2019).
31. ГОСТ Р 57378–2016 Штанги заземляющие переносные для контактной сети железной дороги. Технические условия. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200143357> (дата обращения: 24.11.2019).

32. Долженков, А.Ф. Прогнозирование показателей общего производственного травматизма на угольных шахтах / А.Ф. Долженков, В.Ю. Деревянский // Охрана и экономика труда. 2013. № 3 (12). С. 95 – 103.
33. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. Пособие для вузов.-3-е изд., перераб. и доп.-М.: "Знак", 2000.- 440с.
34. Долин, П.А. Справочник по технике безопасности.- 6-е изд., перераб. и доп.-М.:Энергоатомиздат,1985.-824 с.
35. Долин, П.А. Электротехнические защитные средства и предохранительные приспособления.-М.:Энергия,1966.- 376с.
36. Железнодорожный транспорт СССР 1946-1955гг.: Сб. документов/ Рос. гос. архив экономики, Ин-т рос. истории Рос. АН. - М. : Транспорт, 1994. - 432 с.
37. Железные дороги. Общий курс: Учебник для вузов/ М.М. Филиппов, М.М. Уздин; Под ред. М.М. Уздина. – 4-е изд., перераб. и доп.-М.: Транспорт, 1991. - 295 с.
38. Заземляющие устройства для железной дороги компании Ragnar Stalskog AB. URL: <http://www.stalskog.se/eshop/category6/category4.aspx> (дата обращения: 24.11.2019).
39. Зельвянский, Я. А. Новое в технике безопасности и улучшение условий труда при обслуживании контактной сети. М., ЦНИИТЭИ МПС, серия «Охрана труда», вып. 7. 1965. - 52 с.
40. Иванов, Е. А. Безопасность электроустановок и систем автоматики [Текст] : учебное пособие для вузов / Е. А. Иванов, В. Л. Галка, К. Р. Малаян, 2003. - 381 с.
41. Инструкция по безопасности для электромонтеров контактной сети [текст] : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 16.02.2021 № 301р. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_380854/ (дата обращения: 12.05.2021).
42. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках. - М.: Изд-во НЦЭНАС, 2003.- 96с.

43. Инструкция по эксплуатации GPS Tracker ST-901, 2019. – 24 с.
44. Карякин, Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок. /Р.Н. Карякин. – М. : Энергосервис, 2000. – 374 с.
45. Карякин, Р.Н. Тяговые сети переменного тока. /Р.Н. Карякин / : М., Транспорт, 1987. - 279с.
46. Каталог продукции Rudolph Tietzsch GmbH & Co. KG URL: https://www.tietzsch.de/wp-content/uploads/Katalog_11_2019_Deutsch.pdf (дата обращения: 08.02.2020).
47. Каталог продукции высоковольтных заземлений компания Shijiazhuang Career Electric Co URL: <https://www.sjzkerui.com/goodsid/goodsview/11150570.html> (дата обращения: 24.11.2019).
48. Каталог продукции компания Shandong Shuooyuan Electric Co. URL: <http://www.sdsydggs.com/a/productlist/134-1.html> (дата обращения: 24.11.2019).
49. Князевский, Б.А. Охрана труда в электроустановках [Текст] : учебник / ред. Б. А. Князевский, 1983. - 336 с.
50. Косарев, Б. И. Электробезопасность в системе электроснабжения железных дорог [Текст] / Б. И. Косарев, Я. А. Зельвянский, Ю. Г. Сибаров ; под ред. Б. И. Косарев, 1983. - 200 с.
51. Косарев, Б. И. Электробезопасность в тяговых сетях переменного тока [Текст] / Б. И. Косарев, 1988. - 216 с.
52. Кофман, А.В. Введение в теорию нечетких множеств. М. : Радио и связь, 1982. - 432 с.
53. Красных, А.А. Анализ травматизма на предприятиях Холдинга РАО «ЕЭС России» / А.А. Красных // Электробезопасность. – 2001. – №1. – С.18 – 30.
54. Красных, А.А. Разработка основ проектирования и создание комплекса электрозащитных средств и устройств мониторинга состояния воздушных линий электропередач и напряжением до 35 кВ для повышения безопасности их эксплуатации дис. ... на соиск. уч. ст. док. тех. наук - Киров, 2005.- 455 с.

55. Красных, А.А. Электронные устройства для обеспечения безопасности обслуживания ЛЭП / А.А. Красных, Л.И. Крутихин // Сб. докл. конф. «Охрана труда в энергетике-2003», М. / ВВЦ. -М., 2003. С. 121 – 123.

56. 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-лы Международ. Науч.-практ. Конф. – Екатеринбург: УрГУПС, 2017. – Вып.8 (227). – С. 512 – 520.

57. 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.

58. Кузнецов, К.Б. Координатная система контроля и оповещения об опасных электрических потенциалах при эксплуатации и технологии ремонта устройств электроснабжения ОАО «РЖД» /К.Б. Кузнецов, А.А. Пазуха. // Известия Транссиба. – 2020. – № 4 (44). – С. 37 – 47.

59. 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.

60. 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.

61. Кузнецов, К.Б. Оптимальный выбор переносного заземляющего устройства контактной сети на основе критерия Байеса – Лапласа/ К.Б. Кузнецов, А.А. Пазуха // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 3. – С. 71–76.

62. Кузнецов, К.Б. Основы электробезопасности в электроустановках: учебное пособие /К.Б. Кузнецов. - М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017 - 495 с.

63. 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.

64. 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.

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

66. Манойлов, В.Е. Основы электробезопасности [Текст] / В.Е. Манойлов. -5-е изд., перераб. и доп. - Л. : Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1991. - 480 с.

67. Марквардт, К.Г. Энергоснабжение железных дорог: / учебник для студентов высших учебных заведений / К.Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1958.- 284с.

68. Математика в Excel: Учебник для вузов / О.А. Баяк, Д.В. Берзин, А.В. Золотарюк [и др.]; под ред. Т.Л. Фомичевой. -М.: Прометей, 2019. - 230 с.

69. Михаэлис, В.В. Применение некоторых критериев при выборе оптимальной стратегии в теории игр / В.В. Михаэлис // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. 2016. № 15. С. 89 – 95.

70. Михина, Т.В. Прогноз производственного травматизма на долгосрочный период (методологические подходы) / Т.В. Михина // Охрана и экономика труда. 2012. № 4 (9). С. 65 – 75.

71. Морозов, А.С. Повышение уровня электробезопасности при эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 10 кВ путем разработки и внедрения средств бесконтактного контроля наличия напряжения на проводах дис. ... на соиск. уч. ст. кан. тех. наук - Киров, 2004.- 190 с.

72. Мушник Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений: Пер. с нем. – М.: Мир. – 1990. -208 с.

73. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. М. : Наука. 1986. - 312 с.

74. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / под ред. Р.Р. Ягера. М. : Радио и связь, 1986. - 408 с.

75. Номоконова, О.В. Применение нечетких множеств в оценке и прогнозировании опасных ситуаций : дис. ... на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Челябинск. – 2003. - 94 с.

76. Номоконова, О.В. Применение нечетких множеств для определения экспертных оценок при анализе условий электробезопасности / О.В. Номоконова, И.С. Окраинская // «Наука – производство – технологии – экология» : Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции. – Киров : Изд-во ВятГУ. 2002. С. 33–35.

77. Охрана труда в энергетике [Текст] : учебник для техникумов / Л. Г. Борисов, Б. А. Князевский, С. М. Кучерук ; ред. Б. А. Князевский, 1985. - 376 с.

78. Охрана труда на железнодорожном транспорте [Текст] : учебник для вузов / Ю. Г. Сибаров, В. О. Дегтярев, Т. К. Ефремова ; под ред. Ю. Г. Сибарова, 1981. - 287 с.

79. Пазуха, А.А. Анализ профессиональных рисков при обслуживании и ремонте устройств контактной сети // Наука и техника транспорта.– №4. – 2020. – С. 85 – 93.

80. Пазуха, А.А. Влияние периодов суток на безопасность труда при обслуживании и ремонте устройств контактной сети /А.А. Пазуха // Транспорт Урала. - №1 (64). – 2020. – С. 110 – 113.

81. Пазуха, А.А. Инновационные подходы к снижению уровня электрического травмирования работников энергетического комплекса ОАО «РЖД» // Наука и образование транспорту : материалы XIII Международной научно-практической конференции (2020, Самара). Международная научно-практическая конференция «Наука и образование транспорту», 2020 г. Том 2 [Текст] / редкол. : И. К. Андрончев [и др.] – Самара : СамГУПС, 2020. – С 95-98.

82. Пазуха, А.А. На основе прогнозирования. // Железнодорожный транспорт.– №2. – 2021. – С. 66 – 68.

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

84. Пазуха А.А. Перспективы разработки аппаратно - программного комплекса для исключения случаев электрического травмирования работников железнодорожного транспорта // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: сборник материалов VI Всероссийской студенческой конференции (с международным участием): в 2т./ под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021. – Т.1. – С. 108 – 112.

85. Пазуха, А.А. Повышение уровня электробезопасности на контактной сети за счет создания новых знаков безопасности труда /А.А. Пазуха // Вестник УрГУПС.– №2(46). – 2020. – С. 103 – 109.

86. Пат. 2008123753 Российская Федерация, МПКВ60М 3/02 Устройства контроля установки переносного заземляющего устройства / Косарев Б.И., заявитель МИИТ опубл. 15.12.1988, Бил.№46. – 3 с. : ил.

87. 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.

88. 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.

89. 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.

90. 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.

91. Пат. 2744066 Российская Федерация, МПК В60М 1/28 Переносная заземляющая штанга контактной сети / Пазуха А.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «УрГУПС». - № 2020129825; заявл. 09.09.2020; опубл. 02.03.2021, Бил.№7. – 10 с. : ил.

92. Перечень случаев травматизма в Трансэнерго за 2017 г. – М.: ОАО «РЖД», 2017. - 5 с.

93. Перечень случаев травматизма в Трансэнерго за 2018 г. – М.: ОАО «РЖД», 2018. - 5 с.

94. Перечень случаев травматизма в Трансэнерго за 2019 г. – М.: ОАО «РЖД», 2019. - 5 с.

95. Перечень случаев травматизма в Трансэнерго за 2020 г. – М.: ОАО «РЖД», 2020. - 8 с.
96. Перечень случаев травматизма в хозяйстве электрификации и электроснабжения за 2012 г. – М.: ОАО «РЖД», 2012. - 14 с.
97. Перечень случаев травматизма в хозяйстве электрификации и электроснабжения за 2013 г. – М.: ОАО «РЖД», 2013. - 4 с.
98. Перечень случаев травматизма в хозяйстве электрификации и электроснабжения за 2014 г. – М.: ОАО «РЖД», 2014. - 4 с.
99. Перечень случаев травматизма в хозяйстве электрификации и электроснабжения за 2015 г. – М.: ОАО «РЖД», 2015. - 4 с.
100. Перечень случаев травматизма в хозяйстве электрификации и электроснабжения за 2016 г. – М.: ОАО «РЖД», 2016. - 4 с.
101. Политика холдинга «Российские железные дороги» в области охраны труда и окружающей среды, промышленной и пожарной безопасности» от 21.11.2019 г. одобрена решением правления (протокол №61).
102. Положение №СВЕРД-875/р «О проведении профессионального психофизиологического обследования электромонтеров» - Екатеринбург: ОАО «РЖД». – 2018. - 12 с.
103. Понаморов, В.М. Многофакторный анализ условий электробезопасности при капитальном ремонте пути на электрифицированных участках переменного тока / В.М. Понаморов, И.А. Косарев // Вестник ВНИИЖТ. – 2014. № 5 – С. 50 – 56.
104. Правила безопасности при эксплуатации контактной сети и устройств электроснабжения автоблокировки железных дорог ОАО «РЖД» [текст] : утв. ОАО «РЖД» от 11.02.2021 № 265р. – М. : ЦЕНТРМАГ, 2021. - 168 с.
105. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок : утверждены Приказом Минтруда РФ от 15.12.2020 № 903н URL: <https://docs.cntd.ru/document/573264184> (дата обращения: 12.05.2021).
106. Правила содержания контактной сети, питающих линий, отсасывающих линий, шунтирующих линий и линий электропередачи.

Утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 25.04.2016 № 753р в редакции Распоряжения ОАО «РЖД» от 02.08.2017 № 1540р. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?base=EXP&n=669735&req=doc#05778508637493318> (дата обращения: 15.11.2019).

107. Правила устройства электроустановок / Мин-во энергетики Российской Федерации. - 7-е изд. – М.: Энергосервис, 2009. - 695.

108. Правила электробезопасности для работников ОАО «РЖД» при обслуживании устройств и сооружений контактной сети и линий электропередачи, утверждены. утв. 19.04.2016. №699р / ОАО «РЖД». – М.: [б. и.], 2016. - 88 с.

109. Программа реализации концепции «VisionZero» на период 2019–2021 гг. – М.: ОАО «РЖД», 2019. - 17 с.

110. Пустыльник, Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений []: монография. – М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1968. - 288 с.

111. Сидоров, А.И. Методы исследования условий электробезопасности / А.И. Сидоров, Ш.С. Саидалиев, Н.Х. Табаров // Электробезопасность. 2016. № 2. С. 51-57.

112. Сидоров, А.И. Оценка риска неблагоприятного воздействия электрического поля на персонал вблизи электроустановок сверхвысокого напряжения / А.И. Сидоров, И.С. Окраинская, О.В. Номоконова // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2012. № 1–2. С. 107–119.

113. Ситникова, Е.С. Современные переносные заземления и изолирующие штанги / Е.С. Ситникова, А.А. Красных // Электробезопасность. 2011. № 3. С. 10–21.

114. Скофенко, А.В. О построении функции принадлежности нечетких множеств, соответствующих количественным экспертным оценкам / Наукоедение и информатика. – Киев : Наукова думка. 1981. Вып. 22. С. 70–79.

115. Стратегия научно-технологического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая

книга) от 17.04.2018 г. утверждена № 769/р. URL: http://www.rzd-expo.ru/innovation/BelKniga_2015.pdf (дата обращения: 15.11.2019).

116. Типовые нормы времени на техническое обслуживание и текущий ремонт контактной сети электрифицированных железных дорог / МПС РФ, Департамент электрификации и электроснабжения. – М. : Трансиздат, 2001. - 172с.

117. Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 16.12.2019) URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683 (дата обращения: 22.03.2020).

118. Указание М-2510у «Об организации на железных дорогах профессионального психофизиологического обследования электромонтеров контактной сети дистанций электроснабжения» - М.: МПС РФ, 2000. - 3 с.

119. Файнбург, Г.З. Корпоративные системы управления охраной труда / Г.З. Файнбург // Управление охраной труда, Вып. 5. Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2004. - 124 с.

120. Фрайфельд, А. В. Устройство, сооружение и эксплуатация контактной сети и воздушных линий [] : учебник для технических школ ж.-д. трансп. / А. В. Фрайфельд, Н. А. Бондарев, А. С. Марков; под ред. А. В. Фрайфельда. – М. : Транспорт, 1980. - 422 с.

121. Чекулаев, В.Е. Охрана труда и электробезопасность: учебник. / В.Е. Чекулаев, Е.Н. Горожанкина, В.В. Лепеха // – М.: ФГБОУ «Учебно – методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. - 304 с.

122. Шихов, В.Н. К вопросу о прогнозировании производственного травматизма. / В.Н. Шихов, В.П. Ситников, Я.Л. Либерман // Безопасность и культура труда на предприятиях Свердловской железной дороги [Текст] : сборник научных трудов. Вып. 45 / [под ред. Т. К. Ефремова, Г. А. Вакуленко], 1974. - 275 с.

123. Шкрабак, Р.В. Характеристика, анализ и прогноз производственного травматизма и эффективные пути его снижения / Р.В. Шкрабак // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2008. № 4. С. 255-262.
124. Щуцкий, В.И. Электробезопасность на открытых горных работах / В.И. Щуцкий, А.И. Сидоров, Ю.В. Ситчихин, Н.А. Бендяк -М.:Недра.-1996.-267с.
125. Экономика железнодорожного транспорта : учебник / под ред. Н. П. Терешинной, Б.М. Лapidуса, М.Ф. Трихункова. – М. : УМК МПС России, 2001. - 597 с.
126. Электрические железные дороги : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / В. Е. Розенфельд, Н. Н. Сидоров, С. Е. Кузин. - 2-е изд., перераб. - Москва : Трансжелдориздат, 1957. - 431.
127. Электрификация железных дорог России (1929-2004 гг.) / под общ. ред. П. М. Шилкина. - М. : Интекст, 2004. -336 с.
128. Earthing Device for High Voltage Lines: Production Catalogue of Shandong Shuo Source Electric Co. Ltd. URL: <http://www.sdsydggs.com/a/productlist/134-1.html> (дата обращения: 24.11.2019).
129. Earthing Device for High Voltage Lines: Production Catalogue of Shijiazhuang CREE Electric Co. Ltd. URL: <https://www.sjzkerui.com/goodsid/goodsview/11150570.html> (дата обращения: 24.11.2019).
130. IEC 61230:2008. Live working – Portable equipment for earthing or earthing and short-circuiting. Edition 2.0. – Geneva: IEC, 2008. – 122 p.
131. Meier W., Rogler R., Leonhardi H. Prüfung ortsveränderlicher Erdungs- und KurzschlieÙvorrichtungen // etem – Magazin für Prävention, Rehabilitation und Entschädigung – 2014. – №4. P. 10 – 13.
132. RAGNAR STÅLSKOG Earthing Devices Substations and Lines. URL: <http://www.stalskog.se/eshop/category6/category4.aspx> (дата обращения: 24.11.2019).
133. Rappaport A. Creating shareholder value: the new standard for business performance, NY: Free Press; London: Collier Macmillan, 323 p.

134. Regelmäßige Überprüfung von Bahnerdungsvorrichtungen // «BahnPraxisE», 2016. – 12p. URL: https://www.uv-bund-bahn.de/fileadmin//Dokumente/Publicationen/BahnPraxis_E/BahnPraxisE-2016_01.pdf (дата обращения: 15.11.2019).

135. Regelmäßige Überprüfung von Bahnerdungsvorrichtungen// BahnPraxisE. URL: https://www.uv-bund-bahn.de/fileadmin//Dokumente/Publicationen/BahnPraxis_E/BahnPraxisE-2016_01.pdf (дата обращения: 15.11.2019).

136. Suruda A. Electrocution at Work // Professional Safety, Des Plaines.- 1988.- Vol.33, №7. – P. 27-32.

137. Taylor A. Fatal occupational electrocutions in the United States/ A. Taylor, G. McGwin, F. Valent, L. Rue// Injury Prevention. – 2002. – № 8. – P. 306–312.

138. Vision Zero. Семь «золотых правил» производства с нулевым травматизмом и с безопасными условиями труда: Руководство для работодателей и менеджеров. URL: http://visionzero.global/sites/default/files/2017-11/5-Vision_zero_Guide-Web.pdf (дата обращения: 15.11.2019).

**АНАЛИЗ СЛУЧАЕВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАВМИРОВАНИЯ РАБОТНИКОВ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ОАО «РЖД» С 2012 ПО 2020 Г.**



Рисунок А.1 – Распределение несчастных случаев по энергетическому комплексу ОАО «РЖД» с 2012 по 2020 гг.



Рисунок А.2 – Распределение электрических травм по энергетическому комплексу ОАО «РЖД» с 2012 по 2020 гг.



Рисунок А.3 – Распределение несчастных случаев на контактной сети энергетического комплекса ОАО «РЖД» с 2012 по 2020 гг.



Рисунок А.4 – Распределение электрических травм на контактной сети энергетического комплекса ОАО «РЖД» с 2012 по 2020 гг.



Рисунок А.5 – Распределение электрических травм на контактной сети переменного тока энергетического комплекса ОАО «РЖД» с 2012 по 2020 гг.

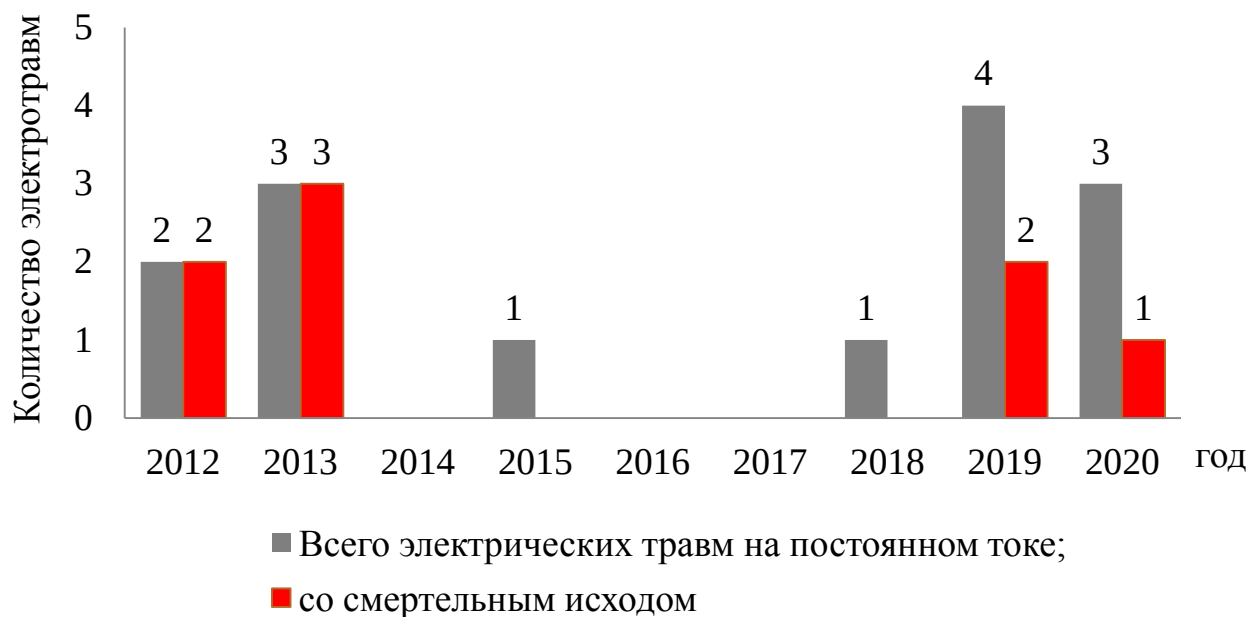


Рисунок А.6 – Распределение электрических травм на контактной сети постоянного тока энергетического комплекса ОАО «РЖД» с 2012 по 2020 гг.

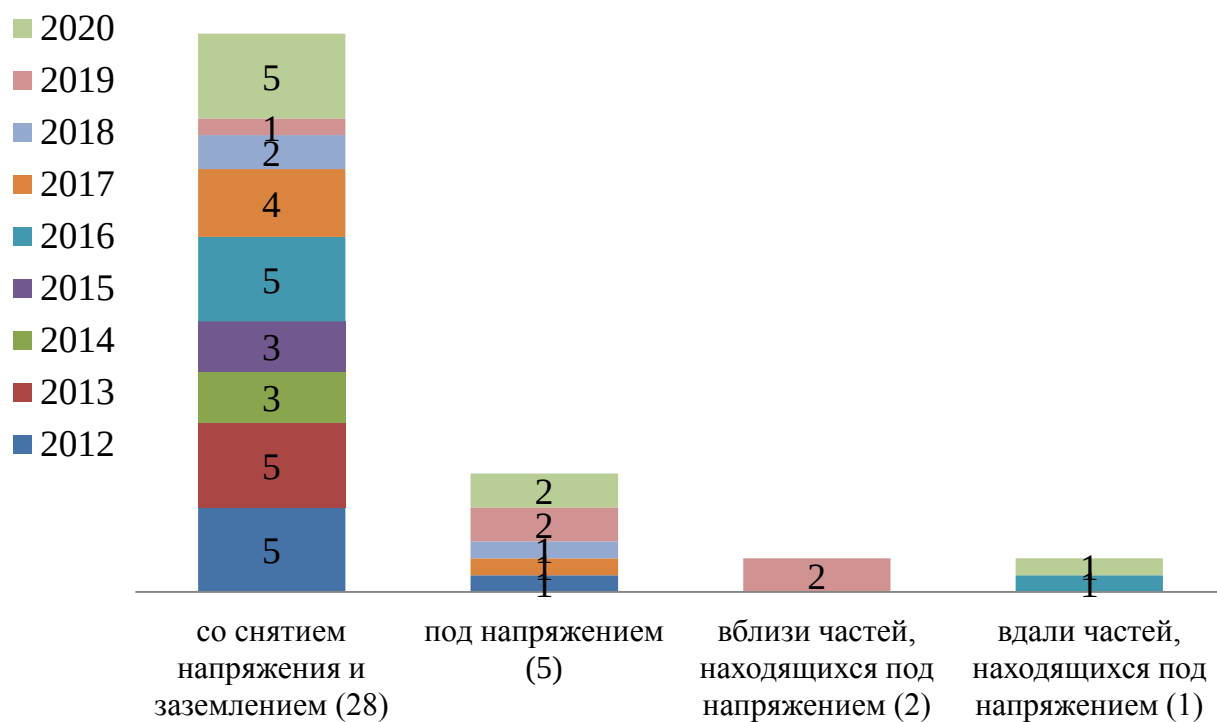


Рисунок А.7 – Распределение электрических травм по категориям работ на устройствах контактной сети с 2012 по 2020 гг.

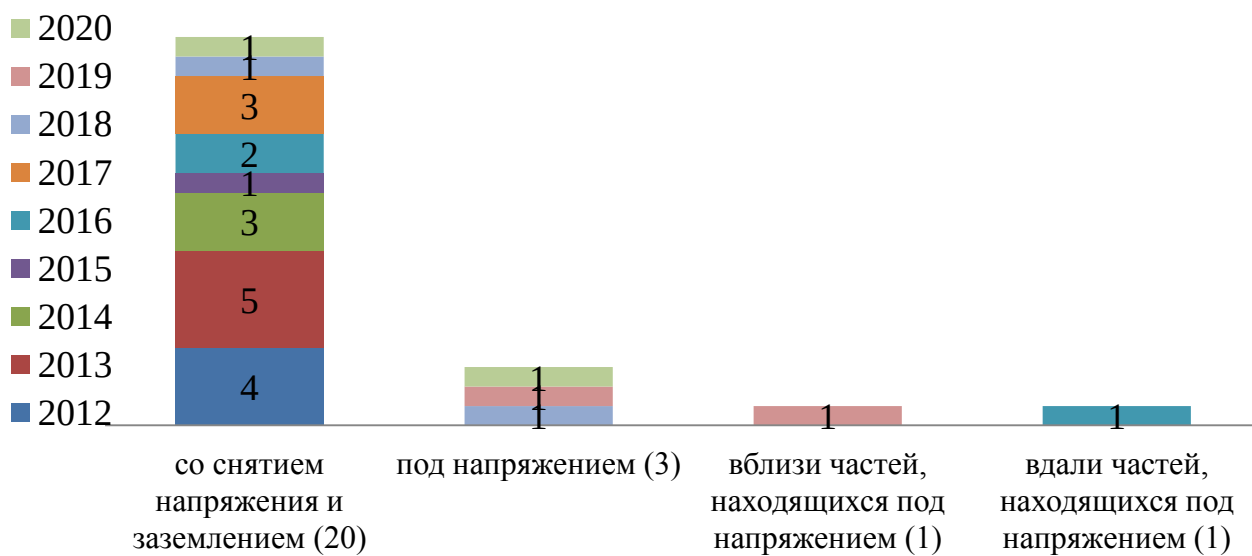


Рисунок А.8 – Распределение электрических травм со смертельным исходом по категориям работ на устройствах контактной сети с 2012 по 2020 гг.



Рисунок А.9 – Сравнительные показатели производственного травматизма с объемом финансирования на мероприятия по охране труда с 2012 по 2020 гг. в энергетическом комплексе ОАО «РЖД»

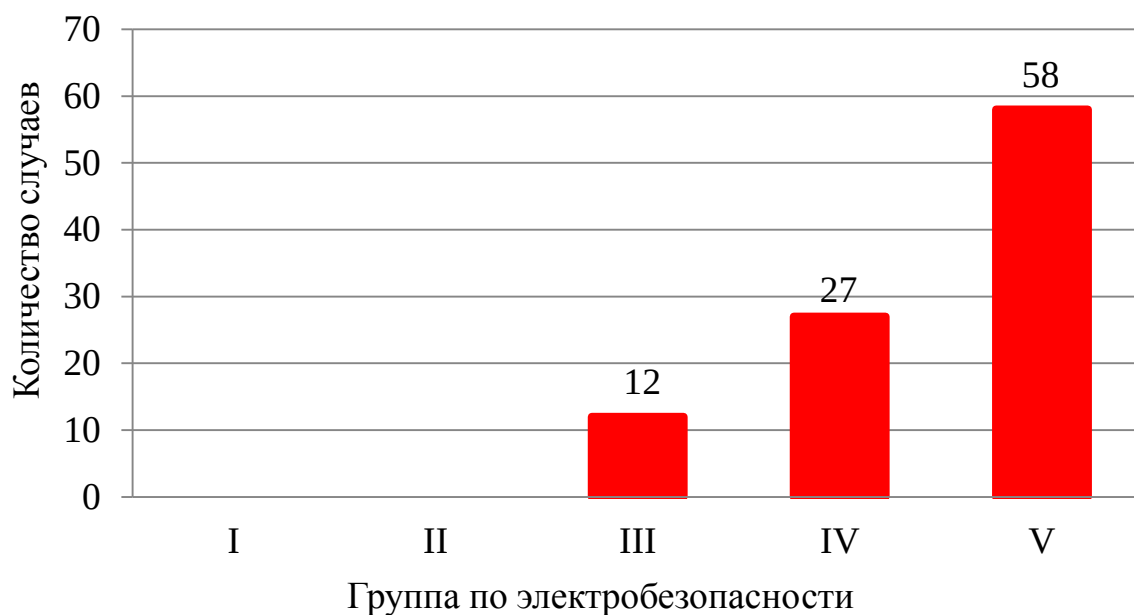


Рисунок А.10 – Распределение электрических травм по энергетическому комплексу ОАО «РЖД» с 2012 по 2020гг. по группам электробезопасности пострадавших



Рисунок А.11 – Распределение электротравм по железным дорогам энергетического комплекса ОАО «РЖД» с 2012 по 2020 гг.

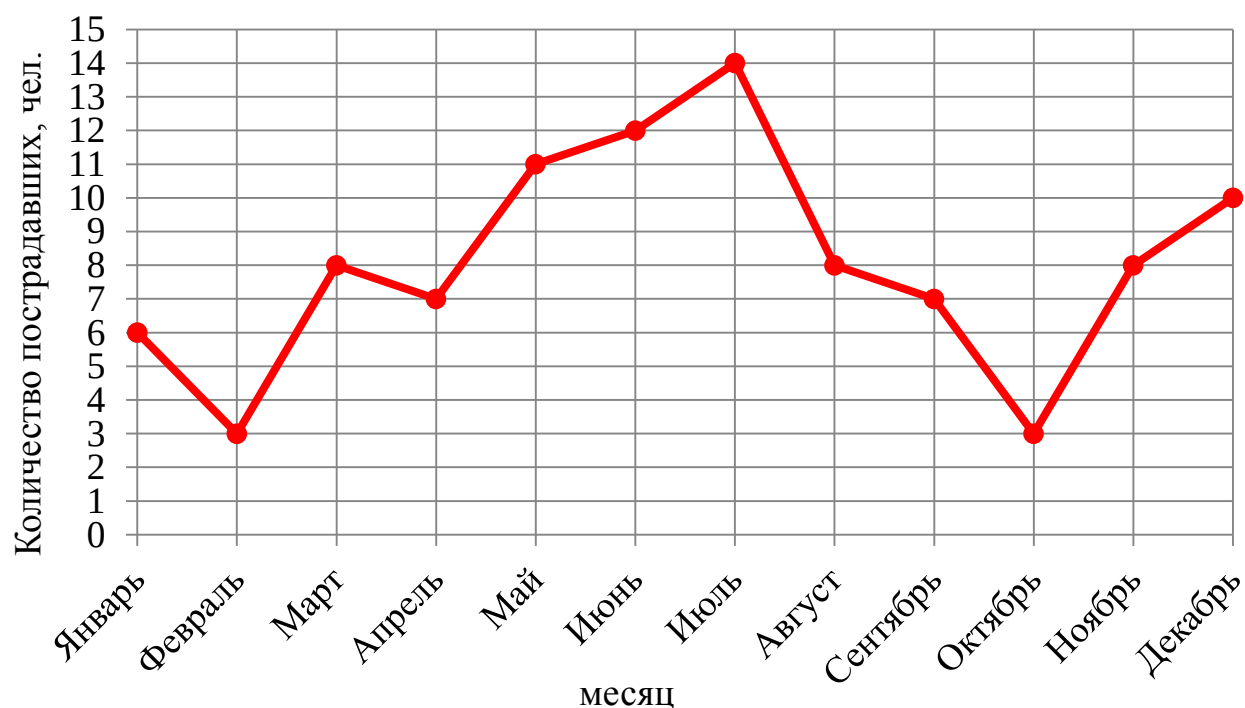


Рисунок А.12 – Распределение пострадавших от электрических травм по месяцам года по энергетическому комплексу ОАО «РЖД» с 2012 по 2020 гг.



Рисунок А.13 – Распределение пострадавших от электротравм во время суток по энергетическому комплексу ОАО «РЖД» с 2012 по 2020 гг.

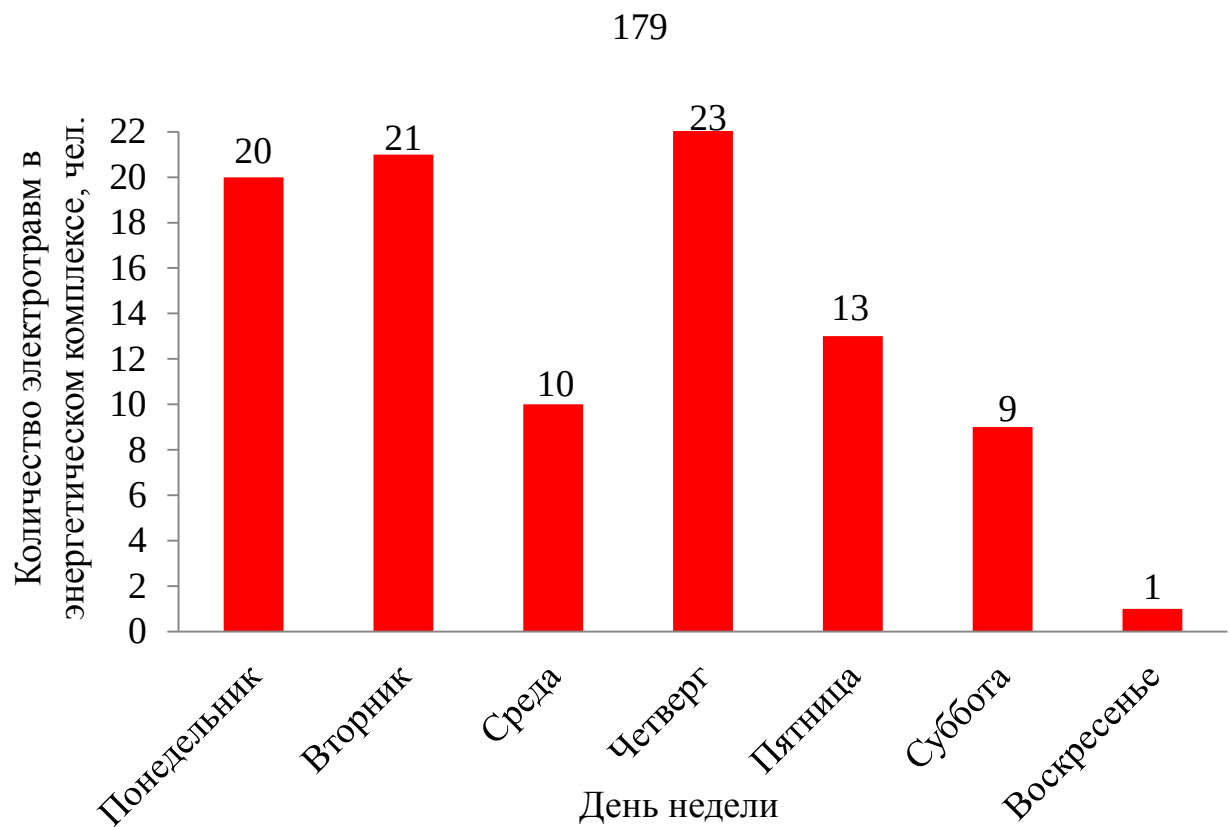


Рисунок А.14 – Распределение пострадавших от электрических травм по дням недели в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» с 2012 по 2020 гг.

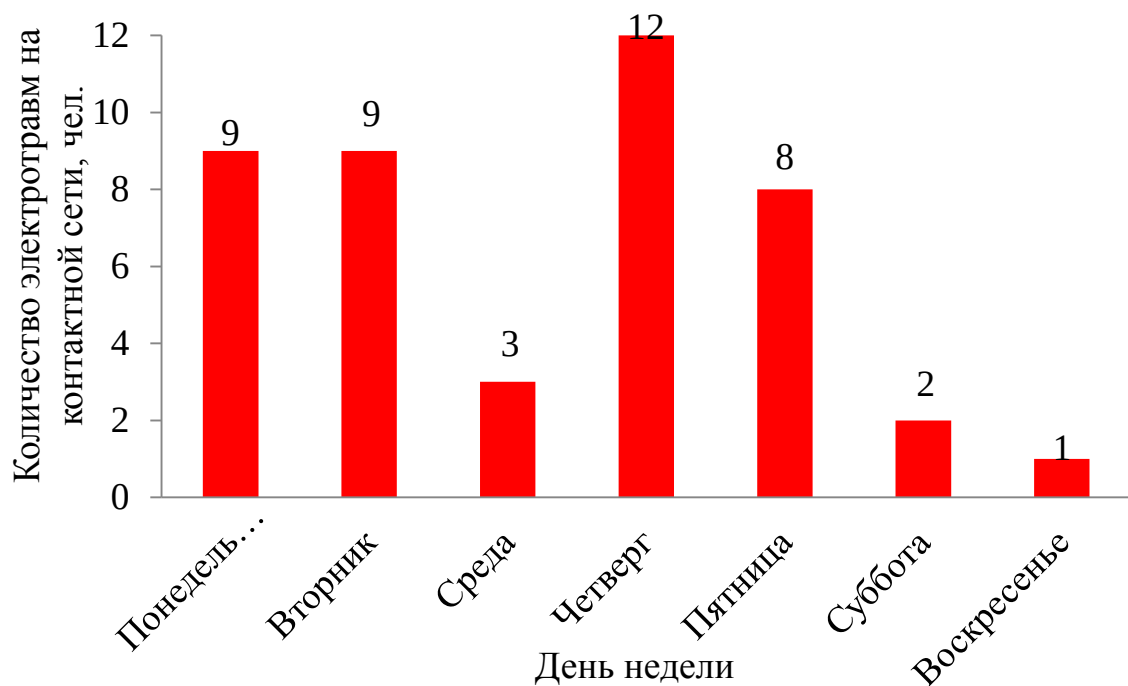


Рисунок А.15 – Распределение пострадавших от электрических травм по дням недели на контактной сети ОАО «РЖД» с 2012 по 2020 гг.

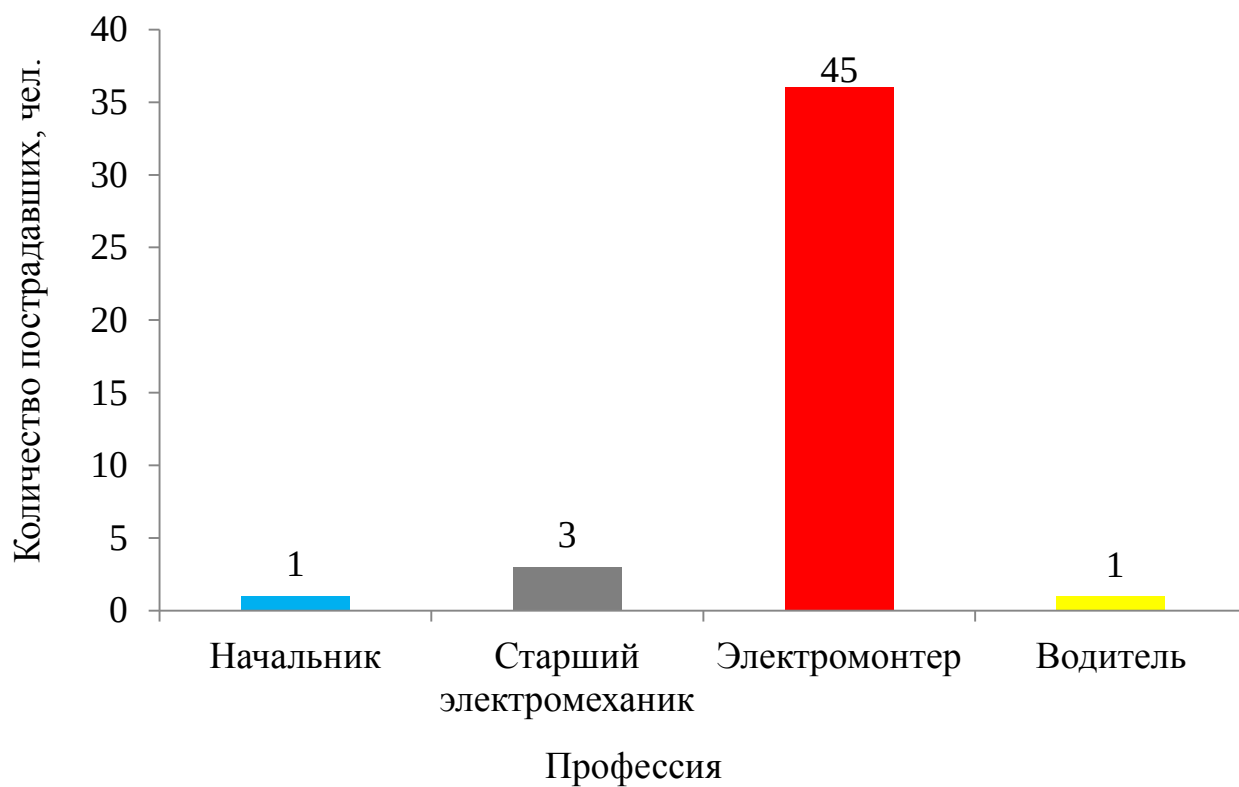


Рисунок А.16 – Распределение пострадавших от электрических травм работников района контактной сети с 2012 по 2020 гг.

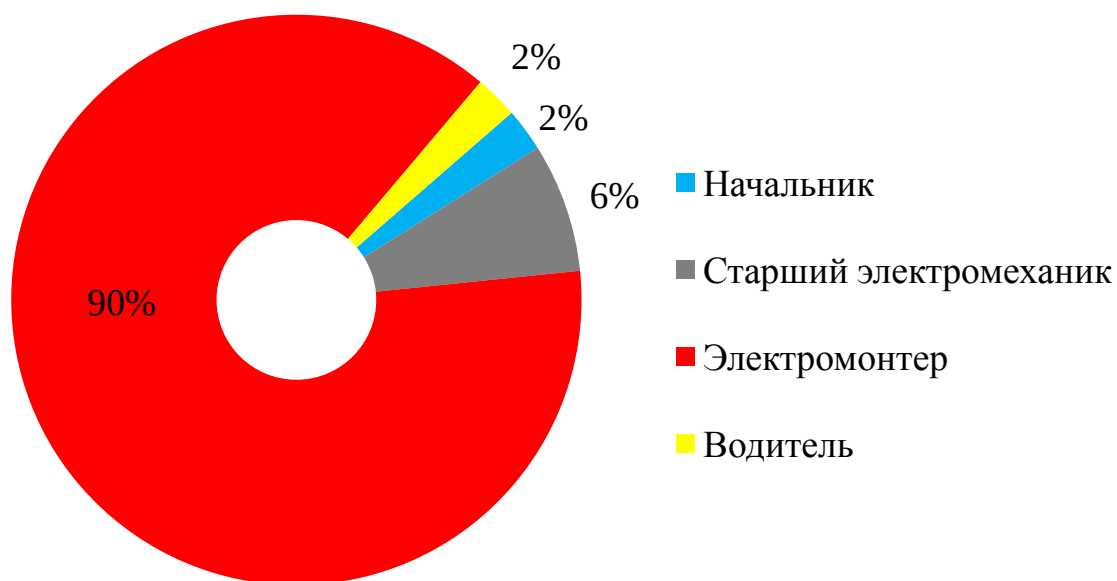


Рисунок А.17 – Распределение пострадавших от электрических травм работников района контактной сети с 2012 по 2020 гг.

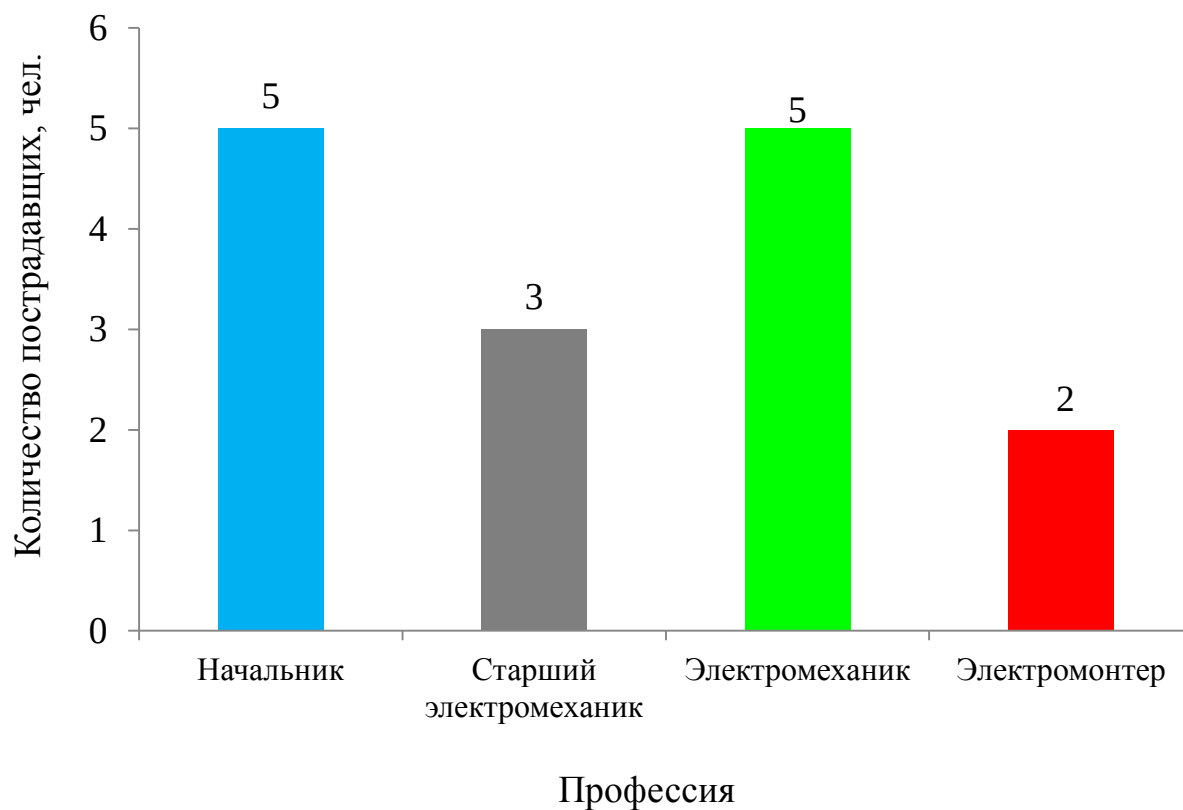


Рисунок А.18 – Распределение пострадавших от электрических травм работников тяговых подстанций с 2012 по 2020 гг.

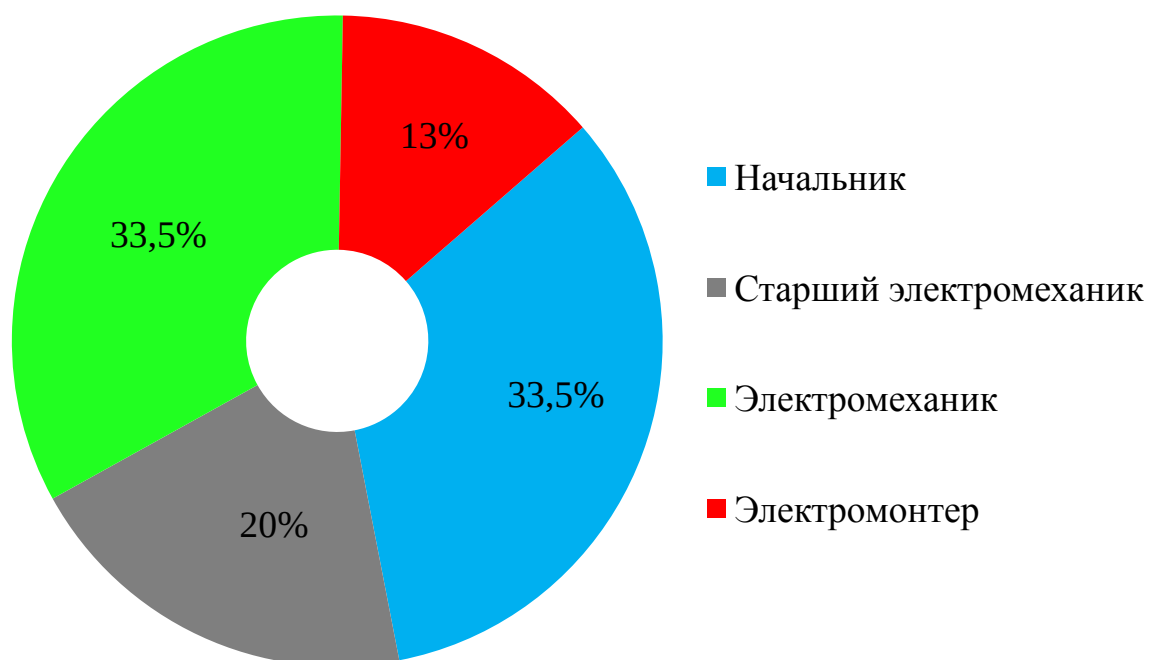


Рисунок А.19 – Распределение пострадавших от электрических травм работников тяговых подстанций с 2012 по 2020 гг.

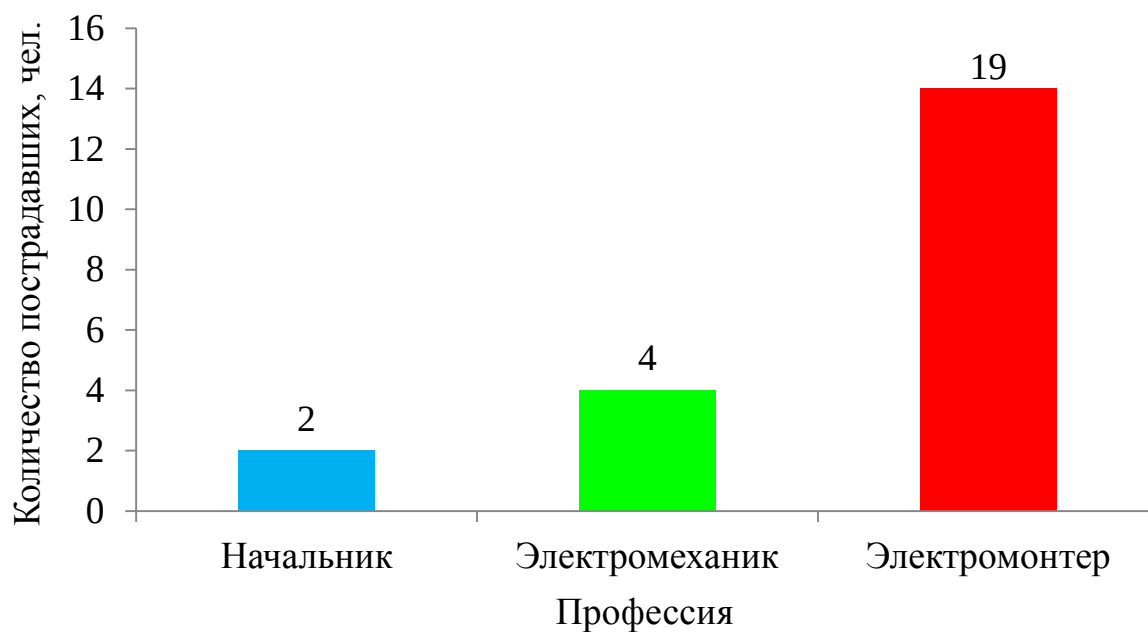


Рисунок А.20 – Распределение пострадавших от электрических травм работников района электроснабжения с 2012 по 2020 гг.

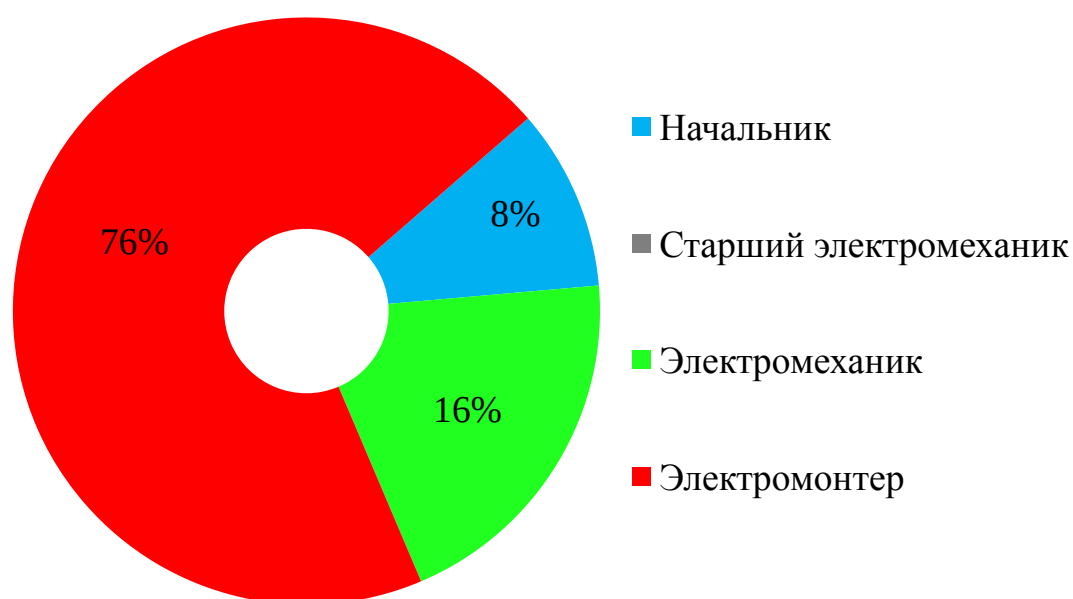


Рисунок А.21 – Распределение пострадавших от электрических травм работников района электроснабжения с 2012 по 2020 гг.

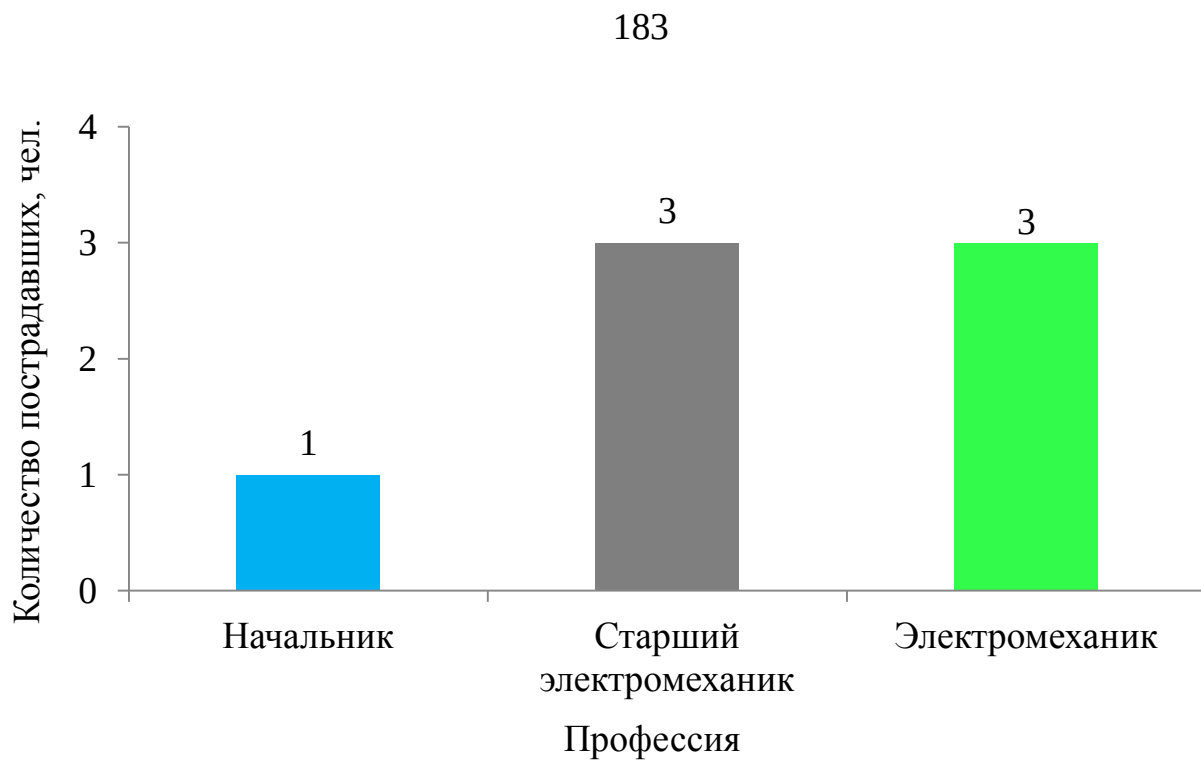


Рисунок А.22 – Распределение пострадавших от электрических травм работников ремонтно-ревизионного участка с 2012 по 2020 гг.

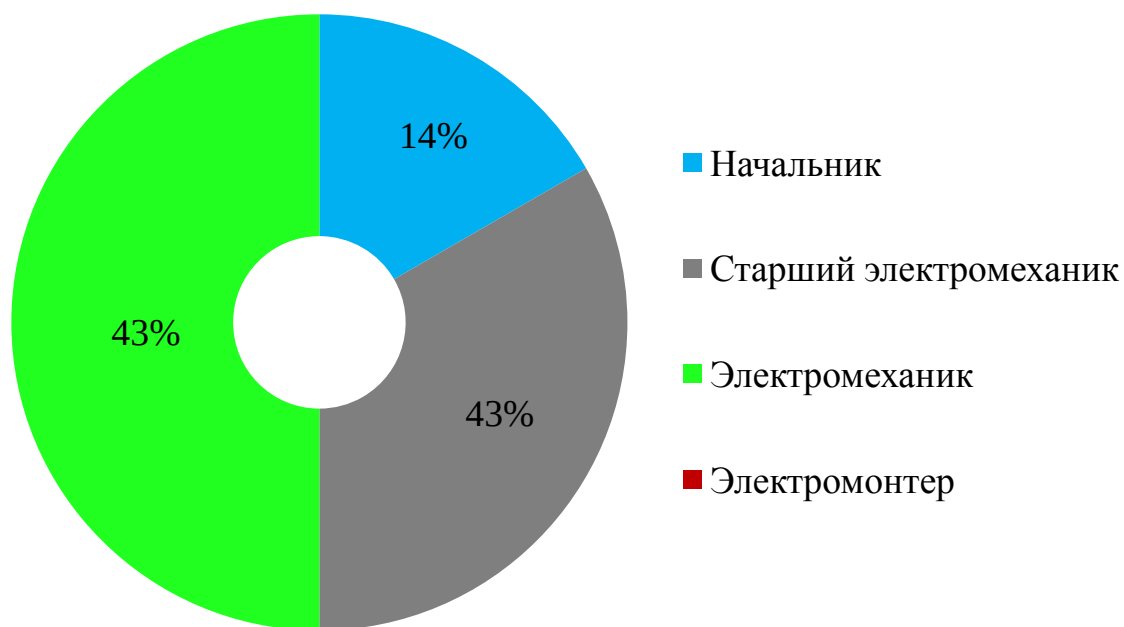


Рисунок А.23 – Распределение пострадавших от электрических травм работников ремонтно-ревизионного участка с 2012 по 2020 гг.



Рисунок А.24 – Распределение пострадавших от электрических травм по году рождения за период с 2012 по 2020 гг. в энергетическом комплексе ОАО «РЖД»

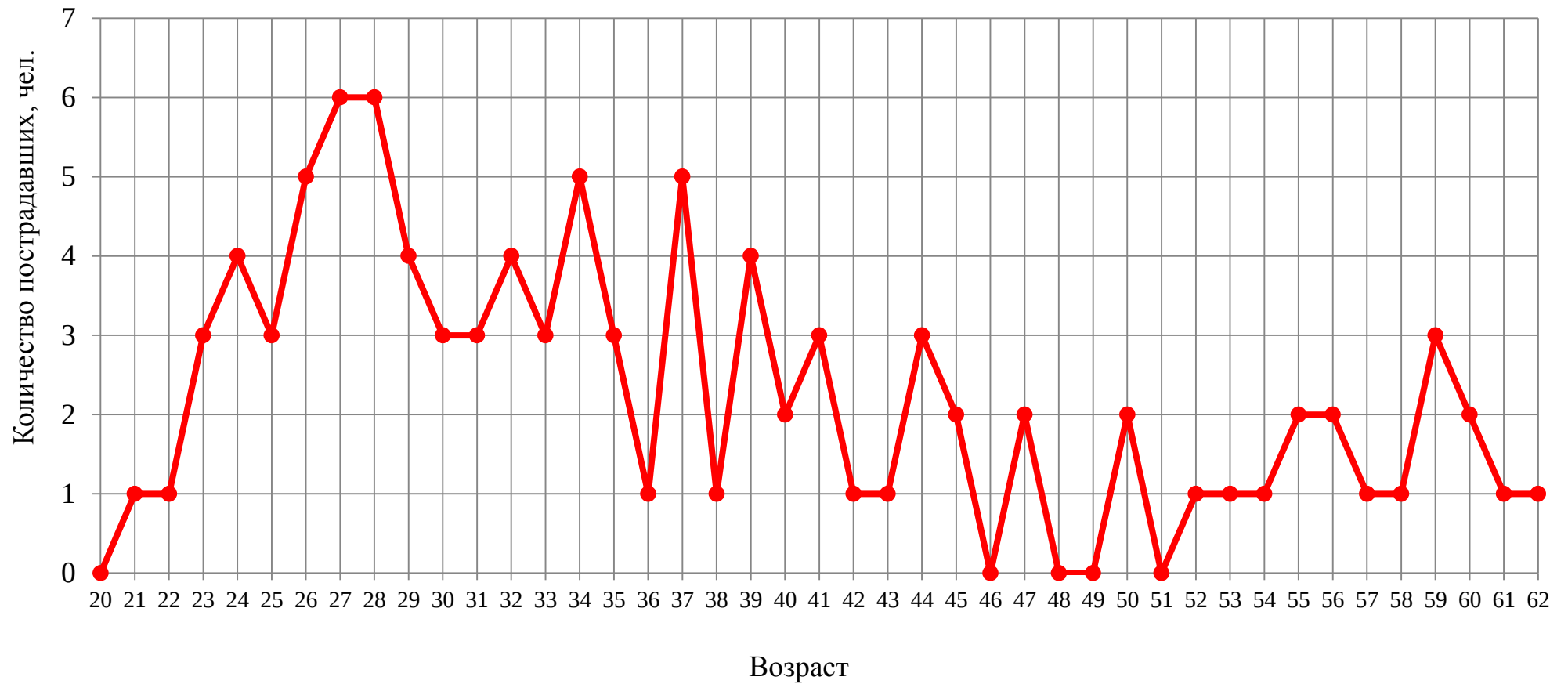


Рисунок А.25 – Распределение пострадавших от электрических травм в зависимости от возраста за период с 2012 по 2020 гг. в энергетическом комплексе ОАО «РЖД»

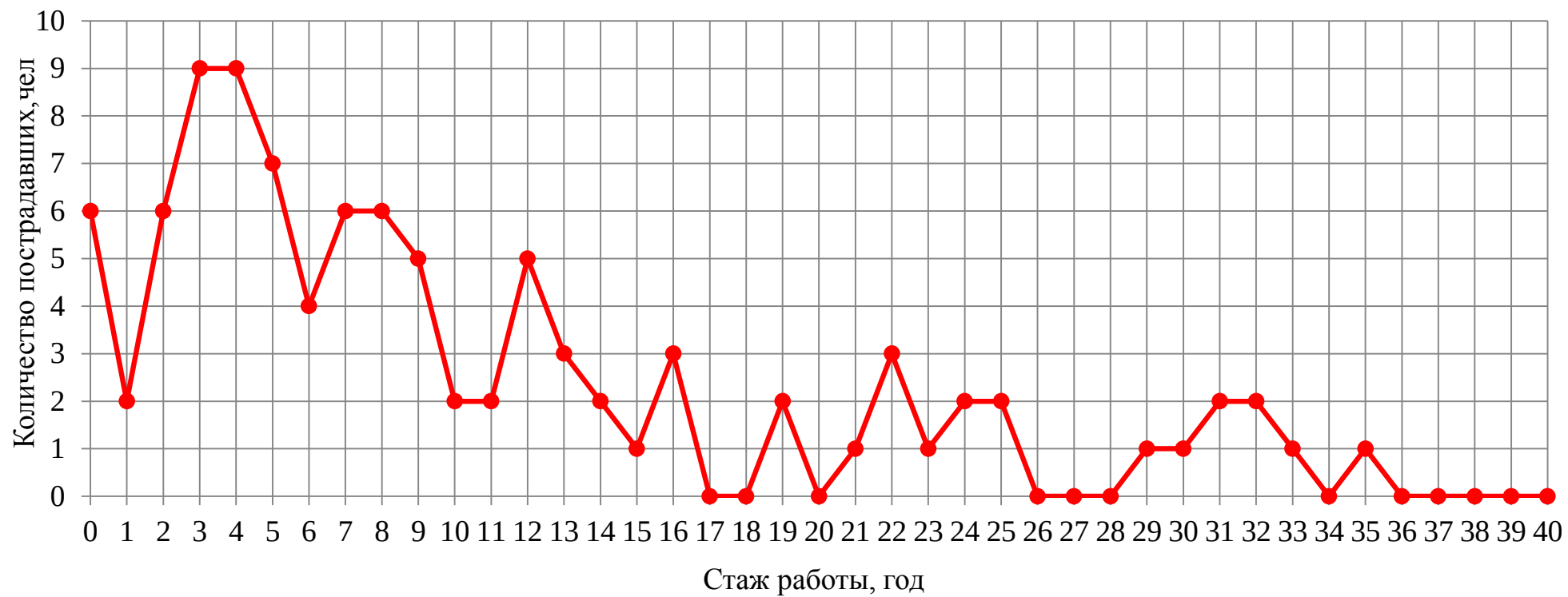


Рисунок А.26 – Распределение пострадавших от электрических травм по стажу работы в электроустановках за период с 2012 по 2020 гг.

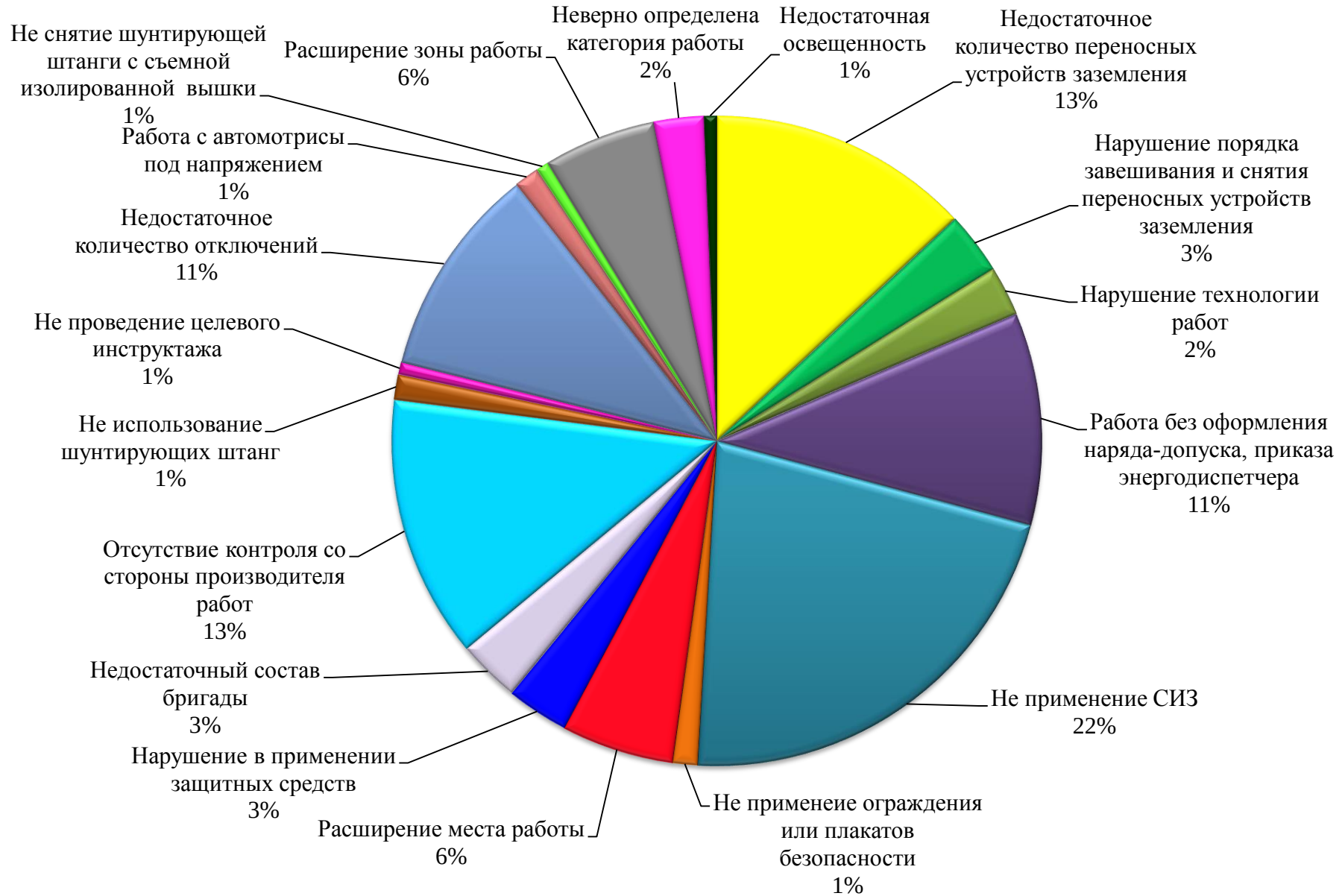


Рисунок А.27 – Основные причины электрических травм в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» с 2012 по 2020 гг.

188

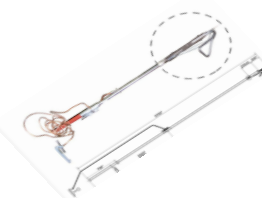


Рисунок А.28 – Основные причины электрических травм на устройствах контактной сети в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» с 2012 по 2020гг.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

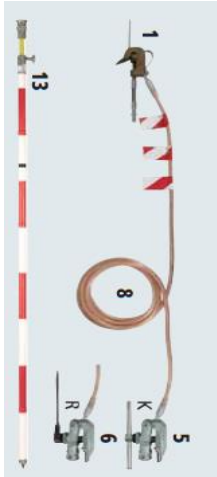
КАТАЛОГ ИЗОЛИРУЮЩИХ И ШУНТИРУЮЩИХ ШТАНГ, ПРИМЕНЯЕМЫХ
НА КОНТАКТНОЙ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Таблица Б1 - Изолирующие штанги для наложения заземления, применяемые на контактной сети железных дорог

№	Наименование	Изготовитель, страна	Внешний вид	Масса, кг	Длина устройства, мм	Длина сложенного устройства, мм	Исполнение заземляющего башмака	Сечение заземляющего провода, мм ²	Срок службы, лет	Ток термической стойкости, кА/3 сек	Ток динамической стойкости, кА	Максимальный ток короткого замыкания кА/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Устройства заземляющие переносные УЗП-3	ООО «Симферопольский электротехнический завод» (РФ, г.Симферополь)		13,5	5700	3179	С блокировкой безопасности (ключ-ручка)	50	15	7	17	-
2	Переносное заземление УЗП-2	ООО «ЭлРоском» (РФ, г. Москва)		12,5	5200	3000	С блокировкой безопасности (ключ-ручка)	50	15	7	17	-
3	Заземление переносное УЗП-3Н-КС	ООО «Энергозащита» (РФ, г. Москва)		9	6000	3000	Без блокировки безопасности	50	15	8	44	-
4	Заземление переносное для контактной сети УЗП-3-КС	ООО ТД «ЭНЗА» (Россия, г.Владимир)		12	6000	3000	С блокировкой безопасности (ключ-ручка)	50	15	7,2	44,25	-
5	Заземление переносное ЗПМЗ-К	ООО ЭТК Оникс – электрооборудование (Россия, г. Смоленск)		20	6000	3300	С блокировкой безопасности (ключ-ручка)	50	15	8	44	-
6	Заземление для контактной сети ж/д УЗП-2КС	ООО «Энергозащита» (Армения, г. Ереван)		10,5	5600	4600	С блокировкой безопасности (ключ-ручка)	50	8	8	44	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7	Заземление переносное для контактной сети железных дорог УЗП-ЗН-КС	ООО «Энергозащита» (Армения, г. Ереван)		12	6000	3000	Без блокировки безопасности	50	15	7	17	-
8	1- фазное заземляющее устройство JK22-8WL	RAGNAR STALSKOG AB (Швеция, г. Стокгольм, Уппландс Весбю)		7,9-11,3	6400	2000	Магнитный зажим 8WL7162-6 без блокировки безопасности	25-70	20	-	-	25 / 0,06
9	1- фазное заземляющее устройство JK22-JK152	RAGNAR STALSKOG AB (Швеция, г. Стокгольм, Уппландс Весбю)		3,1-7	6400	2000	Без блокировки безопасности	25-75	20	-	-	16/1
10	1- фазное заземляющее устройство JK27M1-JK27H	RAGNAR STALSKOG AB (Швеция, г. Стокгольм, Уппландс Весбю)		2,1-7,5	6400	2000	Без блокировки безопасности	25-95	20	-	-	21/1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
11	1- фазное заземляющее устройство JK74- JK78T	RAGNAR STALSKOG AB (Швеция, г. Стокгольм, Уппландс Весбю)		2,1-7,5	6400	2000	Без блокировки безопасности	25-70	20	-	-	16/1
12	Заземляющее устройство JK 152/1, JK 152/2	RAGNAR STALSKOG AB (Швеция, г. Стокгольм, Уппландс Весбю)		5,8	6400	2000	Без блокировки безопасности	25-70	20	-	-	16/1
13	Заземляющие штанги для железнодорожных применений	DEHN SE + Co KG (Германия, г.Ноймаркт)		9,5	4915	1055	Без блокировки безопасности	до 120	20	-	-	23,7/1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	Комплект заземления для контактной сети	DEHN SE + Co KG (Германия, г.Ноймаркт)		2,1-7,5	8500	5000	Без блокировки безопасности	до 120	20	-	-	23,7/ 1
15	Провод заземления контактной сети	Завод электрооборудования Bazhou Kangxianzhuang Taixiang (Япония, г.Хэбэй Бачжоу)		8,5	8000	2000	Без блокировки безопасности	до 120	20	-	-	-
16	Заземляющий провод 27,5 кВ	Завод электрооборудования Bazhou Kangxianzhuang Taixiang (Япония, г.Хэбэй Бачжоу)			6400	1500	Без блокировки безопасности	25-70	20	-	-	-

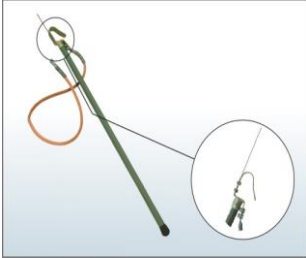
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
17	Провод заземления контактной сети	Завод электрооборудования Bazhou Kangxianzhuang Taixiang (Япония, г.Хэбэй Бачжоу)	 DC接触网直流接地线 n节n米杆 卡规器1个 70平方线n米	7	6000	3000	Без блокировки безопасности	до 120	20	-	-	-
18	Комплект заземления для контактной сети	CATU (Франция, Париж)		9	6400	3000	Без блокировки безопасности	до 120	20	-	-	-
19	Переносное заземление	Honeywell (США, Морристауне)		7	6400	3000	Без блокировки безопасности	до 120	20	-	-	-
20	Переносное заземление	Hubbell Power Systems (США, г.Сентрейлия)		7	6400	3000	Без блокировки безопасности	до 120	20	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
21	Переносное заземление	Shijiazhuang Career Electric Co (КНР, г.Цзиньчжоу)		5	2000	2000	Без блокировки безопасности	50	20	-	-	-
22	Оборудование для короткого замыкания и заземления для железнодорожной линии соприкосновения 3 кВ постоянного тока	Work Italia srl (Италия, г. Милан)		7,5	4600	2500	Без блокировки безопасности	95	15	-	-	16/1
23	Заземляющее устройство для контактной сети	ARCUS ELEKTROTECHNIK (Германия, г.Мюнхен)		8	6675	1050	Без блокировки безопасности	50	15	-	-	16/1

Таблица Б 2 - Шунтирующие штанги, применяемые на контактной сети железных дорог

№	Наименование	Изготовитель, страна	Внешний вид	Масса, кг	Длина устройства, мм	Сечение заземляющего провода, мм ²	Срок службы, лет	Ток термической стойкости, кА/3сек	Ток динамической стойкости, кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Штанги шунтирующие ШУН-1А	ООО «Симферопольский электротехнический завод» (РФ, г.Симферополь)		4,2	1210	50	10	8	44
2	Штанги шунтирующие ШУН-2А	ООО «Симферопольский электротехнический завод» (РФ, г.Симферополь)		4,28	1172	50	10	8	44

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Штанга шунтирующая для контактной сети постоянного тока ШШК-1А	ООО ЭТК Оникс – электрооборудование (РФ, г. Смоленск)		2,2	2100	50	10	8	44
4	Штанга шунтирующая для контактной сети переменного тока ШШК-1Б	ООО ЭТК Оникс – электрооборудование (РФ, г. Смоленск)		2,1	2100	50	10	8	44
5	Штпнга шунтирующая для контактной сети постоянного тока ШШК 1АН	ООО "Торговые Связи" (РФ, г. Казань)		2,6	1100	50	10	7,2	44,2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	Штанга шунтирующая ШШК-2	ООО «Завод «Электромашина» (Украина, г. Киев)		2,7	1360	50	10	7,2	44
7	Штанга шунтирующая	"НПП Харьковский электрохимический завод" (Украина, г. Харьков)		2,2	1705	50	10	8	44
8	Штанга шунтирующая	Завод электрооборудования Bazhou Kangxianzhuang Taixiang (КНР, г.Хэбэй Бачжоу)		3,2	1100	50	10	8	44
9	Штанга шунтирующая для электрифицирован ных железных дорог типа ШШК-2- ELPRIB	АООТ "ЭЛЕКТРОПРИБОР" (Армения, г.Ереван)		2	300	50	15	8	44

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТРАВМЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНТАКТНОЙ СЕТИ
ПО КАТЕГОРИИ РАБОТ СО СНЯТИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ И ЗАЗЕМЛЕНИЕМ
БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНТРОЛИРУЮЩЕГО
УСТРОЙСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕНОСНЫХ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ ШТАНГ

Определим значение вероятности получения электрической травмы по категории работ со снятием напряжения и заземлением, не применяя системы контроля, по рассмотренной ранее модели расчета

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

Определим числовые значения:

$$1 - \tilde{p}_9 = (0,969; 1; 1) - (7,9 \cdot 10^{-2}; 8,7 \cdot 10^{-2}; 9,5 \cdot 10^{-2}) = (8,7 \cdot 10^{-1}; 9,1 \cdot 10^{-1}; 9,2 \cdot 10^{-1}),$$

$$1 - \tilde{p}_{13} = (0,969; 1; 1) - (2,1 \cdot 10^{-1}; 2,6 \cdot 10^{-1}; 3,1 \cdot 10^{-1}) = (6,59 \cdot 10^{-1}; 7,4 \cdot 10^{-1}; 7,9 \cdot 10^{-1}),$$

$$1 - \tilde{p}_{15} = (0,969; 1; 1) - (2,9 \cdot 10^{-1}; 3,0 \cdot 10^{-1}; 3,2 \cdot 10^{-1}) = (6,5 \cdot 10^{-1}; 7,0 \cdot 10^{-1}; 7,1 \cdot 10^{-1}),$$

$$1 - \tilde{p}_7 = (0,969; 1; 1) - (7,9 \cdot 10^{-2}; 8,7 \cdot 10^{-2}; 9,5 \cdot 10^{-2}) = (8,7 \cdot 10^{-1}; 9,1 \cdot 10^{-1}; 9,2 \cdot 10^{-1}),$$

$$1 - \tilde{p}_{10} = (0,969; 1; 1) - (3,9 \cdot 10^{-2}; 4,3 \cdot 10^{-2}; 4,8 \cdot 10^{-2}) = (9,2 \cdot 10^{-1}; 9,6 \cdot 10^{-1}; 9,6 \cdot 10^{-1}),$$

$$1 - \tilde{p}_{14} = (0,969; 1; 1) - (1,8 \cdot 10^{-1}; 2,2 \cdot 10^{-1}; 2,6 \cdot 10^{-1}) = (7,1 \cdot 10^{-1}; 7,8 \cdot 10^{-1}; 8,2 \cdot 10^{-1}),$$

$$(1 - \tilde{p}_9) \cdot (1 - \tilde{p}_{13}) = (8,7 \cdot 10^{-1}; 9,1 \cdot 10^{-1}; 9,2 \cdot 10^{-1}) \cdot (6,59 \cdot 10^{-1}; 7,4 \cdot 10^{-1}; 7,9 \cdot 10^{-1}) = (5,7 \cdot 10^{-1}; 6,7 \cdot 10^{-1}; 7,2 \cdot 10^{-1}),$$

$$(1 - \tilde{p}_9) \cdot (1 - \tilde{p}_{13}) \cdot (1 - \tilde{p}_{15}) = (5,7 \cdot 10^{-1}; 6,7 \cdot 10^{-1}; 7,2 \cdot 10^{-1}) \times (6,59 \cdot 10^{-1}; 7,4 \cdot 10^{-1}; 7,9 \cdot 10^{-1}) = (3,7 \cdot 10^{-1}; 4,7 \cdot 10^{-1}; 5,2 \cdot 10^{-1}),$$

$$1 - (1 - \tilde{p}_9) \cdot (1 - \tilde{p}_{13}) \cdot (1 - \tilde{p}_{15}) = (0,969; 1; 1) - (3,7 \cdot 10^{-1}; 4,7 \cdot 10^{-1}; 5,2 \cdot 10^{-1}) = (4,5 \cdot 10^{-1}; 5,3 \cdot 10^{-1}; 6,4 \cdot 10^{-1}),$$

$$(1 - \tilde{p}_7) \cdot (1 - \tilde{p}_{10}) = (8,7 \cdot 10^{-1}; 9,1 \cdot 10^{-1}; 9,2 \cdot 10^{-1}) \cdot (9,2 \cdot 10^{-1}; 9,6 \cdot 10^{-1}; 9,6 \cdot 10^{-1}) = (8,0 \cdot 10^{-1}; 8,7 \cdot 10^{-1}; 8,8 \cdot 10^{-1}),$$

$$(1 - \tilde{p}_7) \cdot (1 - \tilde{p}_{10}) \cdot (1 - \tilde{p}_{14}) = (8,0 \cdot 10^{-1}; 8,7 \cdot 10^{-1}; 8,8 \cdot 10^{-1}) \times (7,1 \cdot 10^{-1}; 7,8 \cdot 10^{-1}; 8,2 \cdot 10^{-1}) = (5,6 \cdot 10^{-1}; 6,8 \cdot 10^{-1}; 7,2 \cdot 10^{-1}),$$

$$1 - (1 - \tilde{p}_7) \cdot (1 - \tilde{p}_{10}) \cdot (1 - \tilde{p}_{14}) = (0,969; 1; 1) - (5,6 \cdot 10^{-1}; 6,8 \cdot 10^{-1}; 7,2 \cdot 10^{-1}) = \\ = (2,5 \cdot 10^{-1}; 3,2 \cdot 10^{-1}; 4,4 \cdot 10^{-1}),$$

$$\tilde{p}_3 \cdot [1 - (1 - \tilde{p}_9) \cdot (1 - \tilde{p}_{13}) \cdot (1 - \tilde{p}_{15})] = (0,9 \cdot 10^{-1}; 1,4 \cdot 10^{-1}; 1,8 \cdot 10^{-1}) \times \\ \times (4,5 \cdot 10^{-1}; 5,3 \cdot 10^{-1}; 6,4 \cdot 10^{-1}) = (3,7 \cdot 10^{-2}; 7,4 \cdot 10^{-2}; 1,1 \cdot 10^{-1}),$$

$$\tilde{p}_3 \cdot [1 - (1 - \tilde{p}_9) \cdot (1 - \tilde{p}_{13}) \cdot (1 - \tilde{p}_{15})] \cdot [1 - (1 - \tilde{p}_7) \cdot (1 - \tilde{p}_{10}) \cdot (1 - \tilde{p}_{14})] = \\ = (3,7 \cdot 10^{-2}; 7,4 \cdot 10^{-2}; 1,1 \cdot 10^{-1}) \cdot (2,5 \cdot 10^{-1}; 3,2 \cdot 10^{-1}; 4,4 \cdot 10^{-1}) = \\ = (6,4 \cdot 10^{-3}; 2,4 \cdot 10^{-2}; 4,4 \cdot 10^{-2}),$$

$$\tilde{p}_3 \cdot [1 - (1 - \tilde{p}_9) \cdot (1 - \tilde{p}_{13}) \cdot (1 - \tilde{p}_{15})] \cdot [1 - (1 - \tilde{p}_7) \cdot (1 - \tilde{p}_{10}) \cdot (1 - \tilde{p}_{14})] \cdot \tilde{p}_{11} = \\ = (6,4 \cdot 10^{-3}; 2,4 \cdot 10^{-2}; 4,4 \cdot 10^{-2}) \cdot (9,0 \cdot 10^{-2}; 1,3 \cdot 10^{-1}; 1,7 \cdot 10^{-1}) = \\ = (5,7 \cdot 10^{-4}; 3,1 \cdot 10^{-3}; 6,6 \cdot 10^{-3}),$$

$$\tilde{p}_3 \cdot [1 - (1 - \tilde{p}_9) \cdot (1 - \tilde{p}_{13}) \cdot (1 - \tilde{p}_{15})] \cdot [1 - (1 - \tilde{p}_7) \cdot (1 - \tilde{p}_{10}) \cdot (1 - \tilde{p}_{14})] \cdot \tilde{p}_{11} \cdot \tilde{p}_{12} = \\ = (5,7 \cdot 10^{-4}; 3,1 \cdot 10^{-3}; 6,6 \cdot 10^{-3}) \cdot (7,9 \cdot 10^{-2}; 8,7 \cdot 10^{-2}; 9,5 \cdot 10^{-1}) = \\ = (0,3 \cdot 10^{-4}; 2,7 \cdot 10^{-4}; 6,0 \cdot 10^{-4}),$$

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

Расчет показал, что разработанная логико-вероятностная модель соответствует реальным условиям, что проверено с использованием статистики травматизма. Например, с 2012 по 2019 гг. среднее значение вероятности электрической травмы со смертельным исходом по категории работ со снятием напряжения и заземлением в расчете на одного человека составляла $1,9 \cdot 10^{-4}$.

Определим значение вероятности получения электрической травмы по категории работ со снятием напряжения и заземлением при использовании системы контроля по рассмотренной ранее модели расчета

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

Определим числовые значения:

$$1 - \tilde{p}_{23} = (0,969; 1; 1) - (6,1 \cdot 10^{-2}; 6,8 \cdot 10^{-2}; 7,5 \cdot 10^{-2}) = (8,9 \cdot 10^{-1}; 9,3 \cdot 10^{-1}; 9,4 \cdot 10^{-1}),$$

$$\tilde{p}_{24} \cdot \tilde{p}_{25} = (8,0 \cdot 10^{-2}; 8,8 \cdot 10^{-2}; 9,6 \cdot 10^{-2}) \cdot (8,8 \cdot 10^{-2}; 9,7 \cdot 10^{-2}; 1,1 \cdot 10^{-1}) = (6,9 \cdot 10^{-2}; 8,5 \cdot 10^{-2}; 1,0 \cdot 10^{-2}),$$

$$1 - (\tilde{p}_{24} \cdot \tilde{p}_{25}) = (0,969; 1; 1) - (6,9 \cdot 10^{-2}; 8,5 \cdot 10^{-2}; 1,0 \cdot 10^{-2}) = (9,6 \cdot 10^{-1}; 9,9 \cdot 10^{-1}; 9,9 \cdot 10^{-1}),$$

$$(1 - \tilde{p}_{23})(1 - (\tilde{p}_{24} \cdot \tilde{p}_{25})) = (8,9 \cdot 10^{-1}; 9,3 \cdot 10^{-1}; 9,4 \cdot 10^{-1}) \cdot (9,6 \cdot 10^{-1}; 9,9 \cdot 10^{-1}; 9,9 \cdot 10^{-1}) = \\ = (8,9 \cdot 10^{-1}; 9,3 \cdot 10^{-1}; 9,4 \cdot 10^{-1}),$$

$$1 - (1 - \tilde{p}_{23})(1 - (\tilde{p}_{24} \cdot \tilde{p}_{25})) = (0,969; 1; 1) - (8,9 \cdot 10^{-1}; 9,3 \cdot 10^{-1}; 9,4 \cdot 10^{-1}) = (3,7 \cdot 10^{-2}; 7,6 \cdot 10^{-2}; 1,4 \cdot 10^{-1}),$$

$$\tilde{p}_3 \cdot [1 - (1 - \tilde{p}_9) \cdot (1 - \tilde{p}_{13}) \cdot (1 - \tilde{p}_{15})] \cdot [1 - (1 - \tilde{p}_{23})(1 - (\tilde{p}_{24} \cdot \tilde{p}_{25}))] \cdot [1 - (1 - \tilde{p}_7) \cdot (1 - \tilde{p}_{10}) \cdot (1 - \tilde{p}_{14})] \cdot \tilde{p}_{11} \cdot \tilde{p}_{12} = \\ = (0,3 \cdot 10^{-4}; 2,7 \cdot 10^{-4}; 6,0 \cdot 10^{-4}) \cdot (3,7 \cdot 10^{-2}; 7,6 \cdot 10^{-2}; 1,4 \cdot 10^{-1}) = (0,9 \cdot 10^{-5}; 2,0 \cdot 10^{-5}; 6,4 \cdot 10^{-5}).$$

Вероятность возникновения получения электрической травмы по категории работ со снятием напряжения и заземлением при применении разработанных систем контроля составила $\approx 2,0 \cdot 10^{-5}$ чел./год.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ
НА ПЕРЕГОНЕ КОМАРИХИНСКАЯ – КУТАМЫШ СВЕРДЛОВСКОЙ
ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

**Стационарная и передвижная электролаборатория Чусовской дистанции электроснабжения –
структурного подразделения Свердловской дирекции инфраструктуры – структурного
подразделения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД»**

(наименование испытательной лаборатории)

Юридический адрес: г. Чусовой, ул. Дальняя, 1а

Свидетельство о регистрации электролаборатории № 40

Выдано: Западно-Уральским управлением Федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору (РОСТЕХНАДЗОР)

сроком до « 11 » декабря 2016г.
(дата)

Заказчик УрГУПС, 620034 Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

(наименование и адрес организации)

Объект перегон Комарихинская – Кутамыш ЭЧК-432 ЭЧ-6

(наименование и адрес)

Дата проведения испытаний: «22» июля 2016г.

**ПРОТОКОЛ № 1/ЭЧК-432
Измерения сопротивления заземляющих устройств**

1. Состояние погоды ясно, +26 °C
2. Характер грунта суглинок
3. Результаты измерений

Объект	Измеренное значение (Ом)	Поправочный коэффициент	Приведенное значение (Ом)
1 измерение на 78км 5пк	164		
2 измерение на 79км 5пк	156		
3 измерение на 80км 5пк	187		
4 измерение на 81км 5пк	179		
5 измерение на 82км 5пк	144		
6 измерение на 83км 5пк	134		
7 измерение на 84км 5пк	135		
8 измерение на 85км 5пк	128		
9 измерение на 86км 5пк	123		

Норма: сопротивление заземляющих устройств не более 4 Ом

Заключение: сопротивления искусственных заземлителей, погруженных механическим способом в грунт на глубину 1,2 метра, не соответствуют нормам ЦЭ-881, ПУЭ

Приборы:

Наименование	Тип	Заводской №	Дата поверки	№ свид-ва
Мост	М-416	241660	24.08.15	170 ДЦМ

Испытания произвели: Кулябин К.Л. /ЭЧК-432 Кулябин К.Л./ Пазуха А.А. /магистрант Пазуха А.А./

Протокол принял: Кузнецов К.Б. /доктор технических наук, профессор Кузнецов К.Б./



Руководитель электролаборатории

Индюков А.В. /

«22» июля 2016г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

ПАТЕНТЫ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2672041

ПЕРЕНОСНАЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩАЯ ШТАНГА

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный университет путей сообщения" (УрГУПС) (RU)*

Авторы: *Кузнецов Константин Борисович (RU),
Пазуха Александр Александрович (RU)*

Заявка № 2017138888

Приоритет изобретения 08 ноября 2017 г.

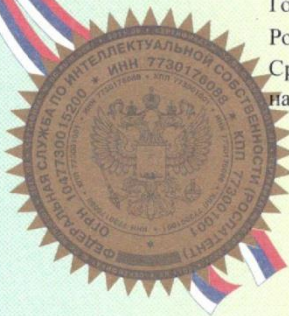
Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 08 ноября 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 08 ноября 2037 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 672 041** ⁽¹³⁾ **C1**
 (51) МПК
G01R 19/155 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(52) СПК
G01R 19/155 (2018.05)

(21)(22) Заявка: 2017138888, 08.11.2017 (24) Дата начала отсчета срока действия патента: 08.11.2017 Дата регистрации: 08.11.2018 Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 08.11.2017 (45) Опубликовано: 08.11.2018 Бюл. № 31 Адрес для переписки: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, ФГБОУ ВО УрГУПС, отдел докторантуры и аспирантуры	(72) Автор(ы): Кузнецов Константин Борисович (RU), Пазуха Александр Александрович (RU) (73) Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный университет путей сообщения" (УрГУПС) (RU) (56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 100678 U1, 23.04.2010. RU 77214 U1, 18.06.2008. RU 17104 U1, 10.03.2001. JPH 09251035 A, 14.03.1996.
--	---

(54) **ПЕРЕНОСНАЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩАЯ ШТАНГА**

(57) Формула изобретения

Переносная заземляющая штанга, включающая ручку, состоящую из нижней изолирующей части и верхней токопроводящей части в виде трубы, к которой прикреплены крюк, усовик, фиксирующая пружина изогнутой формы, нижний конец которой прикреплен к токопроводящей трубе, а верхний конец расположен вплотную с передней верхней частью крюка, и заземляющий трос, отличающаяся тем, что токопроводящая часть заземляющей штанги снабжена контролирующим устройством с автономным пультом, причем контролирующее устройство размещено на токопроводящей трубе заземляющей штанги со стороны фиксирующей пружины, включает корпус с хомутом крепления, в котором размещены микроконтроллер с радиомодулем, входом соединенный с источником питания, а выходом со светодиодом, светящийся элемент которого выходит на внешнюю часть корпуса, также на внешней поверхности корпуса со стороны фиксирующей пружины установлена кнопка включения, соединенная входом с источником питания, выходом с микроконтроллером, а автономный пульт находится у обслуживающего персонала и включает корпус, в котором на печатной плате размещены микроконтроллер, радиомодуль, блок питания, часы, жидкокристаллический экран, разъем с SD картой, два светодиода, разъем под кабель, кнопка включения, соединенная входом с источником питания, а выходом с микроконтроллером, при этом оба светодиода, жидкокристаллический экран, кнопка включения и разъем под кабель рабочими частями выходят на наружную поверхность

корпуса автономного пульта, а для закрепления заземляющего троса при транспортировке заземляющей штанги на поверхности токопроводящей трубы на расстоянии 300 мм от верхнего и нижнего ее концов размещены крюки.

R U 2 6 7 2 0 4 1 C 1

R U 2 6 7 2 0 4 1 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2714282

ПЕРЕНОСНОЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный университет путей сообщения" (RU)*

Авторы: *Кузнецов Константин Борисович (RU),
Пазуха Александр Александрович (RU)*

Заявка № 2019107627

Приоритет изобретения 18 марта 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 13 февраля 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 18 марта 2039 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

2 714 282⁽¹³⁾ C1

(51) МПК
H01R 4/66 (2006.01)
G01S 19/42 (2010.01)
B60M 1/28 (2006.01)
H01H 13/14 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(52) СПК

H01R 4/66 (2019.08); *G01S 19/42* (2019.08); *B60M 1/28* (2019.08); *H01H 13/14* (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019107627, 18.03.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 18.03.2019

Дата регистрации:
 13.02.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.03.2019

(45) Опубликовано: 13.02.2020 Бюл. № 5

Адрес для переписки:

620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,
 УрГУПС, гл. специалисту по ИС Душаниной
 Л.В.

(72) Автор(ы):

Кузнецов Константин Борисович (RU),
 Пазуха Александр Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 образования "Уральский государственный
 университет путей сообщения" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: SU 1628113 A1, 15.02.1991. CN
 201490618 U, 26.05.2010. RU 137541 U1,
 20.02.2014. US 2010/0238033 A1, 23.09.2010. RU
 2194208 C2, 10.12.2002.

(54) **ПЕРЕНОСНОЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО**(57) **Формула изобретения**

1. Переносное заземляющее устройство, включающее ручку в виде трубы, состоящую из нижней изолирующей части и верхней токопроводящей части, к которой прикреплены крюк, усовик, фиксирующая пружина изогнутой формы, нижний конец которой прикреплен к токопроводящей трубе, а верхний конец расположен вплотную к передней верхней части крюка, и заземляющий трос, при этом токопроводящая часть снабжена корпусом, в котором расположены GPS-трекер или ГЛОНАСС-трекер и кнопка включения трекера, выполненная с выходом на внешнюю часть корпуса, отличающееся тем, что кнопка включения трекера расположена со стороны фиксирующей пружины.

2. Переносное заземляющее устройство по п. 1, отличающееся тем, что корпус с GPS-трекером или с ГЛОНАСС-трекером закреплен на токопроводящей части при помощи хомута крепления.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2714276

**СПОСОБ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ КОНТАКТНОЙ
СЕТИ ПРИ ЗАМЕНЕ РЕЛЬСО-ШПАЛЬНОЙ РЕШЕТКИ
ШИРОКИМ ФРОНТОМ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Уральский государственный университет путей
сообщения" (RU)*

Авторы: *Кузнецов Константин Борисович (RU),
Пазуха Александр Александрович (RU)*

Заявка № 2019116937

Приоритет изобретения 31 мая 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 13 февраля 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 31 мая 2039 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

2 714 276⁽¹³⁾ C1

(51) МПК

B60M 1/28 (2006.01)

H01R 4/66 (2006.01)

H01R 4/38 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(52) СПК

B60M 1/28 (2019.08); H01R 4/66 (2019.08); H01R 4/38 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019116937, 31.05.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
31.05.2019Дата регистрации:
13.02.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 31.05.2019

(45) Опубликовано: 13.02.2020 Бюл. № 5

Адрес для переписки:

620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,
УрГУПС, гл. специалисту по ИС Душаниной
Л.В.

(72) Автор(ы):

Кузнецов Константин Борисович (RU),
Пазуха Александр Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Уральский государственный
университет путей сообщения" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 155366 U1, 10.10.2015. SU 1141026
A, 23.02.1985. SU 654462 A1, 30.03.1979. SU
1088965 A, 30.04.1984. RU 2265930 C2, 10.12.2005.(54) **СПОСОБ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПРИ ЗАМЕНЕ РЕЛЬСО-ШПАЛЬНОЙ РЕШЕТКИ ШИРОКИМ ФРОНТОМ**(57) **Формула изобретения**

1. Способ защитного заземления контактной сети при замене рельсо-шпальной решетки широким фронтом, включающий заземление контактной подвески, электрически соединенной с рельсами, переносными заземляющими штангами контактной сети и искусственными заземлителями, погруженными механическим способом в грунт на глубину не менее одного метра на расстоянии друг от друга не более 200 метров, отличающийся тем, что контактную подвеску дополнительно заземляют, электрически соединяя при помощи заземляющих проводов с заземляющими контурами сигнальных точек, с заземляющими контурами постов электрической сигнализации, с заземляющими контурами комплектных трансформаторных подстанций и с заземляющими контурами комплектных трансформаторных подстанций однофазных.

2. Способ защитного заземления контактной сети при замене рельсо-шпальной решетки широким фронтом по п. 1, отличающийся тем, что используют заземляющие провода сечением в медном эквиваленте не менее 50 мм².

3. Способ защитного заземления контактной сети при замене рельсо-шпальной решетки широким фронтом по п. 1, отличающийся тем, что при соединении одного конца заземляющего провода с заземляющими контурами применяют зажимы типа КС-054.

4. Способ защитного заземления контактной сети при замене рельсо-шпальной

решетки широким фронтом по п. 1, отличающийся тем, что при соединении второго конца заземляющего провода с контактной подвеской применяют зажимы типа КС-053.

RU 2 7 1 4 2 7 6 C 1

RU 2 7 1 4 2 7 6 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2729096

ПОДЪЕМНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный университет путей сообщения" (RU)*

Авторы: *Кузнецов Константин Борисович (RU),
Пазуха Александр Александрович (RU)*

Заявка № 2019118693

Приоритет изобретения 14 июня 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 04 августа 2020 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 14 июня 2039 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

2 729 096⁽¹³⁾ C1

(51) МПК

B61D 15/12 (2006.01)

B60M 1/28 (2006.01)

H02H 3/16 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(52) СПК

B61D 15/12 (2020.02); B60M 1/28 (2020.02); H02H 3/16 (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2019118693, 14.06.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.06.2019Дата регистрации:
04.08.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.06.2019

(45) Опубликовано: 04.08.2020 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,
УрГУПС, гл. специалисту по ИС Душаниной
Л.В.

(72) Автор(ы):

Кузнецов Константин Борисович (RU),
Пазуха Александр Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Уральский государственный
университет путей сообщения" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 122617 U1, 10.12.2012. SU 266814
A1, 01.04.1970. SU 336193 A1, 21.04.1972. SU
1823825 A3, 23.06.1993. CN 2014019717 Y,
10.03.2010.(54) **ПОДЪЕМНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА КОНТАКТНОЙ СЕТИ**(57) **Формула изобретения**

1. Подъемное устройство для обслуживания и ремонта контактной сети, содержащее опорную раму, изолированную рабочую площадку с механизмами ее подъема и поворота, размещенную на железнодорожном транспортном средстве, защитное устройство работника при попадании высокого напряжения на изолированную рабочую площадку железнодорожного транспортного средства, снабженное двумя модулями, один из которых расположен на рабочей площадке и состоит из датчика наличия высокого напряжения, блока преобразования и передачи информации на радиочастоте, кнопки проверки работоспособности, а второй расположен в кабине железнодорожного транспортного средства и состоит из блока приема информации на радиочастоте и ее преобразования, блока коммутации, светового табло и блока преобразования и передачи информации в стандарте GSM, отличающееся тем, что защитное устройство работника при попадании высокого напряжения на изолированную рабочую площадку соединяет заземляющий токоприемник железнодорожного транспортного средства с контактным проводом, при этом заземляющий токоприемник подключен к блоку коммутации и к звуковой информационной сигнализации, подключенной к блоку коммутации.

2. Подъемное устройство для обслуживания и ремонта контактной сети по п. 1, отличающееся тем, что заземляющий токоприемник подключен к блоку коммутации короткозамыкателем управления.

3. Подъемное устройство для обслуживания и ремонта контактной сети по п. 1,

отличающееся тем, что звуковая информационная сигнализация выведена на внешнюю часть кабины железнодорожного транспортного средства со стороны изолированной рабочей площадки.

RU 2 7 2 9 0 9 6 C 1

RU 2 7 2 9 0 9 6 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2744066

ПЕРЕНОСНАЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩАЯ ШТАНГА
КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный университет путей сообщения" (RU)*

Автор: *Пазуха Александр Александрович (RU)*

Заявка № 2020129825

Приоритет изобретения 09 сентября 2020 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 02 марта 2021 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 09 сентября 2040 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Иблиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

2 744 066⁽¹³⁾ C1

(51) МПК

B60M 1/28 (2006.01)

H01R 11/14 (2006.01)

H01R 4/66 (2006.01)

G01S 19/42 (2010.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(52) СПК

B60M 1/28 (2020.08); H01R 11/14 (2020.08); H01R 4/66 (2020.08); G01S 19/42 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2020129825, 09.09.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.09.2020Дата регистрации:
02.03.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.09.2020

(45) Опубликовано: 02.03.2021 Бюл. № 7

Адрес для переписки:

620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,
УрГУПС, гл. специалисту по ИС Душиной
Л.В.

(72) Автор(ы):

Пазуха Александр Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Уральский государственный
университет путей сообщения" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2714282 C1, 13.02.2020. RU
2672041 C1, 08.11.2018. RU 100678 U1, 20.12.2010.
US 2019312366 A1, 10.10.2019.

(54) ПЕРЕНОСНАЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩАЯ ШТАНГА КОНТАКТНОЙ СЕТИ

(57) Формула изобретения

1. Переносная заземляющая штанга контактной сети, включающая ручку в виде трубы, состоящую из нижней изолирующей части и верхней токопроводящей части, к которой прикреплены крюк, усовик, фиксирующая пружина и заземляющий трос, при этом токопроводящая часть снабжена корпусом, в котором расположены GPS-трекер или ГЛОНАСС-трекер и кнопка включения трекера, выполненная с выходом на внешнюю часть корпуса, отличающаяся тем, что токопроводящая часть оснащена внешней антенной, подключенной к GPS-трекеру или ГЛОНАСС-трекеру, а в корпусе дополнительно размещены аккумулятор, светодиод с выходом линзы на внешнюю часть корпуса, разъем для зарядки аккумулятора и кабель, соединяющий антенну с GPS-трекером или ГЛОНАСС-трекером.

2. Переносная заземляющая штанга контактной сети по п. 1, отличающаяся тем, что корпус закреплен в разрезе верхней токопроводящей части трубы.

3. Переносная заземляющая штанга контактной сети по п. 1, отличающаяся тем, что корпус закреплен при помощи болтов.

4. Переносная заземляющая штанга контактной сети по п. 3, отличающаяся тем, что болтами крепления корпуса закреплен медный проводник сечением по меди не менее 50 мм².

5. Переносная заземляющая штанга контактной сети по п. 1, отличающаяся тем, что

внешняя антенна зафиксирована вверху токопроводящей части.

6. Переносная заземляющая штанга контактной сети по п. 1, отличающаяся тем, что разъем зарядки аккумулятора размещен с выходом на внешнюю часть корпуса.

R U 2 7 4 4 0 6 6 C 1

R U 2 7 4 4 0 6 6 C 1

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ



**ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»
ДИРЕКЦИЯ КАПИТАЛЬНОГО
РЕМОНТА И РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

**Ректору Уральского
государственного
университета путей
сообщения
(ФГБОУ ВО УрГУПС)**

**СВЕРДЛОВСКАЯ ДИРЕКЦИЯ
КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА И РЕКОНСТРУКЦИИ
ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

А.Г. Галкину

ул. Станционная, д.9 б, ст.Хрустальная, г. Первоуральск, 623141
Тел.: 2-33-17, факс: (343) 310-43-34
e-mail: S2SRDKREsek@svrw.rzd

«05» 09 2019г. № ИСХ- 1146 /СВЕРДКРЭ

О результатах опытной эксплуатации
переносного заземляющего устройства

Уважаемый Александр Геннадьевич!

Участком по ремонту устройств электроснабжения №2 ст. Кунгур Свердловской дирекция капитального ремонта и реконструкции объектов электрификации и электроснабжения с мая по август 2019 года проведена опытная эксплуатация переносного заземляющего устройства на контактной сети постоянного тока напряжением 3,3кВ (заявка на изобретение № 2019107627 РФ, МПКВ60М1/28. Переносное заземляющее устройство / Кузнецов К.Б., Пазуха А.А.; заявитель УрГУПС; заявл. 18.03.2019).

Токопроводящая часть переносного заземляющего устройства оснащена корпусом, в котором расположен ГЛОНАСС-трекер, который при завешивании заземляющей штанги на контактную сеть, передает в режиме реального времени, на энергодиспетчерский пункт (при необходимости на любой ЭВМ подключенный к сети интернет или на мобильный телефон в формате SMS сообщения) информацию о времени, месте и порядковом номере, применяемого переносного заземляющего устройства.

По результатам испытаний установлено: устройство позволяет в режиме реального времени с точностью до 2 метров определить место и время установки переносной заземляющей штанги, передавать данные на неограниченное расстояние на ЭВМ. Данное устройство имеет встроенный аккумулятор и имеется возможность его зарядки от внешнего источника напряжением 12-24В. Данные о применении переносного заземляющего устройства хранятся на сайте sinotreker.com (ip 45.112.204.217) при необходимости имеется возможность выгрузить статистику применения заземляющих штанг. На удаленном расстоянии имеется возможность

контролировать применение переносных заземляющих штанг, а также местонахождение бригады, соблюдение зоны работы. Во время испытания мест с отсутствием сигнала ГЛОНАСС не выявлено.

Считаем целесообразным применение переносной заземляющей штанги с контролирующим устройством, так как его применение позволит снизить риск получения электрической травмы при эксплуатации контактной сети, повысить уровень электробезопасности электротехнического персонала, работающих на контактной сети переменного и постоянного тока, а также корпоративную культуру безопасности труда.

Главный инженер

Е.В. Мясников

Начальник ПУ №2

С.О. Ворончихин



**АКТ О ВНЕДРЕНИИ КОНТРОЛИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ПРИМЕНЕНИЯ
ПЕРЕНОСНОЙ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЙ ШТАНГИ КОНТАКТНОЙ СЕТИ**

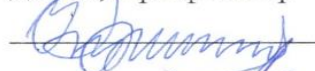
АКТ

о внедрении контролирующего устройства применения переносной
заземляющей штанги контактной сети

от « 25 » МАЯ 2020г.

Мы нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Уральского государственного университета путей сообщения и от Чусовской дистанции электроснабжения – структурного подразделения Свердловской дирекции по энергообеспечению – структурного подразделения Трансэнерго – филиала ОАО «РЖД» составили акт о том, что опытный образец контролирующего устройства применения переносной заземляющей штанги контактной сети передан и смонтирован для опытной эксплуатации на заземляющей штанге контактной сети №330 в районе контактной сети станции Чусовская Чусовской дистанции электроснабжения – структурного подразделения Свердловской дирекции по энергообеспечению – структурного подразделения Трансэнерго – филиала ОАО «РЖД».

От организации исполнителя
ФГБОУ ВО Уральский
государственный университет путей
сообщения
д.т.н., профессор

 К.Б. Кузнецов

Ответственный исполнитель
 А.А.Пазуха

От структурного подразделения
ОАО «РЖД»
начальник Чусовской дистанции
электроснабжения – СП
Свердловской дирекции по
энергообеспечению – СП
Трансэнерго филиала ОАО «РЖД»

 А.С. Мингалёв

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

СПРАВКА О ПРАКТИЧЕСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАУЧНЫХ
РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ



ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»
ТРАНСЭНЕРГО
 СВЕРДЛОВСКАЯ ДИРЕКЦИЯ
 ПО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЮ
 ЧУСОВСКАЯ ДИСТАНЦИЯ
 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

УТВЕРЖДАЮ:

Начальник Чусовской дистанции
 электроснабжения

А.С. Мингалёв



«25» мая 2020г. № ИСХ-112 /СВДЭ ЭЧ-6

СПРАВКА

о практическом использовании научных результатов диссертационной
 работы

Результаты научных исследований Пазухи Александра Александровича «Развитие способов и технических средств защиты персонала железных дорог от электрического травмирования» использовались для схемных решений и конструкторской разработки контролирующего устройства применения переносных заземляющих штанг контактной сети железных дорог с внедрением в районе контактной сети станции Чусовская Чусовской дистанции электроснабжения – структурного подразделения Свердловской дирекции по энергообеспечению – структурного подразделения Трансэнерго – филиала ОАО «РЖД».

В работе было выполнено математическое моделирование возникновения электрической травмы персонала при обслуживании и ремонте устройств контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением без применения контролирующего устройства и с его применением. Математическое моделирование эффективности разработанного устройства показало, что использование контролирующего устройства применения переносных заземляющих штанг контактной сети в 13 раз повысит уровень электробезопасности персонала при обслуживании контактной сети по категории работ со снятием напряжения и заземлением.

Результаты научных исследований Пазухи А.А., полученные в диссертационной работе, а также результат опытной эксплуатации доказали практическую возможность применения разработанного устройства дистанционного контроля за выполнением технических мероприятий при подготовке рабочего места в части установки переносных заземляющих штанг контактной сети, что значительно повышает уровень ответственности исполнителей, так и уровень электробезопасности при обслуживании и ремонте устройств контактной сети железных дорог.

Заместитель начальника дистанции

Кукушкин О.Н.