**УДК 332.1**

**ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ, ПИТАЕМЫХ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

**Сергей Викторович Кириллов1,2**

кандидат технических наук, доцент

kirill\_mich@mail.ru

Мичуринск, Россия

**Михаил Алексеевич Шатохин1**

инженер

shatohinmihail@gmail.com

1Мичуринская дистанция электроснабжения ОАО «РЖД»

2Мичуринский государственный аграрный университет

Мичуринск, Россия

**Аннотация.** Высоковольтные линии электроснабжения электрических железных дорог служат источником питания различных потребителей, в т.ч. сельскохозяйственных, расположенных вблизи инфраструктуры ОАО «РЖД». Для выявления и отключения аварийных и ненормальных режимов в системах электроснабжения применяются устройства релейной защиты. В статье рассмотрены особенности работы релейной защиты системы электроснабжения «два дополнительных провода - рельс» электрической железной дороги. Предложены технические решения для повышения надежной работы релейной защиты данной системы, безопасности эксплуатации и повышения надежности электроснабжения сельскохозяйственных и других объектов, получающих питание от электрических сетей железных дорог.

**Ключевые слова:** система электроснабжения "два дополнительных провода – рельс", релейная защита, короткое замыкание, электроснабжение сельскохозяйственных потребителей от электрических сетей железных дорог, надежность электроснабжения.

Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» являются владельцем развитой инфраструктуры, которая обеспечивает работу не только транспортной сферы холдинга. ОАО «РЖД» так же является крупнейшей электросетевой организацией в Российской Федерации, предоставляя услуги по передаче электрической энергии юридическим и физическим лицам, расположенным вблизи железных дорог. Система «два дополнительных провода – рельс» (далее ДПР), является основной системой передачи электрической энергии различным сторонним (нетяговым), в т.ч. сельскохозяйственным потребителям, расположенным вблизи железных дорог и питаемых от железнодорожных электрических сетей [1, 2, 3].

Особенности электроснабжения сельских потребителей от электрических сетей железных дорог являются объектом практического интереса и научных исследований с начала обширной электрификации железнодорожной транспортной отрасли времён СССР и до настоящего времени [1, 2, 3].

Линия ДПР электрических железных дорог представляет собой трехфазную систему электроснабжения номинальным напряжением 25 кВ, в которой два фазных провода расположены на несущих конструкциях и опорах контактной сети, а рельсы используются в качестве третьего фазного проводника. Такое решение позволяет эффективно передавать электроэнергию к объектам, расположенным вблизи железнодорожных путей. Центрами питания системы ДПР являются тяговые подстанции переменного тока. Электроэнергия в данной системе электроснабжения передается по фазным проводам и рельсам, а затем преобразуется до необходимых значений с помощью комплектных трансформаторных подстанций (КТП) 25/0,4 кВ. Размещение линии ДПР на опорах контактной сети значительно снижает затраты на строительство линий электропередачи, обеспечивает компактность системы и упрощает ее эксплуатацию [2, 3].

Структурная схема системы тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ, питающей разнородную нагрузку, приведена на рисунке 1.



*Рисунок 1* - Структурная схема системы тягового электроснабжения 25 кВ, питающая разнородную нагрузку

(ПС 1, ПС 2 – тяговые подстанции переменного тока системы 25 кВ; ТПi – линейные подстанции; ВЛ ДПР – воздушная линия системы ДПР; TRi – электроподвижной состав (электровозы и электропоезда); L – расстояние между тяговыми подстанциями; РУ – распределительное устройство).

Одним из преимуществ питания сельскохозяйственных объектов от линии ДПР является близость электросетевой и транспортной инфраструктуры, что позволяет сократить затраты на строительство линий электропередачи и имеется непосредственный выход на железнодорожные пути. Данное преимущество используется для электроснабжения крупных сельскохозяйственных предприятий – элеваторов, животноводческих и перерабатывающих комплексов, сахарных заводов и т.п., у которых помимо потребности в электроснабжении энергоемких производств, имеется необходимость прямого выхода на железнодорожную инфраструктуру.

Необходимо отметить, что электроснабжение сельскохозяйственных потребителей с использованием линий ДПР имеет определенные особенности [2, 4]:

- все оборудование данной линии расположено на несущих конструкциях (опорах, жестких поперечинах и др.) контактной сети, и имеет непосредственное приближение к цепи питания нестационарных объектов с меняющейся нагрузкой (электроподвижной состав) с независимой системой коммутации и секционирования, но одного уровня напряжения;

- в качестве одной фазы (фаза «С») для контактной сети и линии ДПР используются общие проводники - рельс и земля;

- линия ДПР является объектом инфраструктуры железнодорожного транспорта и, в первую очередь - линией технологического электроснабжения для резервного питания специальных устройств железной дороги.

Кроме того, необходимо учитывать влияние протекающих в земле блуждающих токов, токов утечки и переходных сопротивлений рельсового проводника, а также состояние устройств заземления оборудования – опор и других несущих конструкций, а также состояние контуров заземлений подстанций.

**Дополнительной особенностью работы системы «два дополнительных провода – рельс» является то, что в качестве проводника двух фаз используется воздушная линия, а рельсы и земля используются в качестве проводника третьего фазного провода, образуя собой несимметричную трехфазную линию электропередачи номинальным напряжением 25 кВ.**

Согласно «Инструкции по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах» от 10.06.1993 г. ЦЭ-191 опоры контактной сети «должны иметь электрическое соединение с тяговой рельсовой сетью **(заземление на тяговую рельсовую сеть)**. Данный вариант заземления опор контактной сети играет важную роль в обеспечении безопасности людей и животных, а также защиты оборудования, в т.ч. для линий системы ДПР, размещенных на опорах. Оно позволяет снизить напряжение прикосновения, что минимизирует риск поражения электрическим током при повреждении высоковольтной изоляции. Также отдельное заземление создает путь для тока короткого замыкания, предотвращая разрушение опор. И, наконец, наличие заземления на рельс, обеспечивает устойчивую и надежную работу устройств релейной защиты, что ускоряет процесс выявления и отключения аварийных участков, повышая эффективность работы защит и снижая вероятность серьезных последствий аварии.

Для условий работы системы ДПР, не заземленная опора (на рельс) представляет собой конструкции, у которой отсутствует электрическая связь с токопроводом фазы «С» - рельсом. Данная ситуация может возникнуть по разным причинам: механические повреждения заземляющих проводников в результате аварий или износа, коррозия и износ соединений, а также ошибки при монтаже или ремонте. В результате отсутствия заземления (присоединения к рельсу) соответствующего техническим нормам, может возникнуть высокое напряжение прикосновения, опасное для человека и животных, а при коротком замыкании на этой опоре или КТП токи короткого замыкания, протекающие через конструкцию опоры или другое оборудование, могут привести к потере механических свойств и разрушению, вследствие отжига арматуры и разрушению бетона, и другим негативным факторам [5, 6].

Для защиты электрических сетей и систем электроснабжения применяется комплекс специальных устройств – релейная защита. Основной задачей релейной защиты являются – отключение поврежденного участка или элемента сети при возникновении аварийного или ненормального режима работы [6].

Особенностями работы релейной защиты линий электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог являются:

- линия ДПР расположена на несущих конструкциях контактной сети и имеет индуктивную и кондуктивную связь с тяговой сетью;

- в нормальном режиме работы данной линии в качестве одной фазы (фаза «С») для контактной сети и линии ДПР используется общий проводник – тяговый рельс;

- возможен вариант изменения основного проводника фазы «С» и пропуска тока линии не по рельсу, а по земле.

Причем, как показывает практика и исследования, случай изменения основного проводника фазы «С» с рельса на землю в системе ДПР, не является проблемным для электроснабжения потребителей, однако этот вариант изменения режима работы системы электроснабжения является критичным для работы устройств релейной защиты.

В современных цифровых релейных защитах линий контактной сети предусмотрены алгоритмы и способы обнаружения коротких замыканий, возникающих при отсутствии металлической связи опор с рельсами. Однако в системах защиты линий ДПР такие алгоритмы не предусмотрены, используются простые токовые защиты, которые резервируются защитой по минимальному напряжению, что повышает риск возникновения аварийных ситуаций с последующей неселективной работой релейной защиты и развития аварии [7]. Хотя линия ДПР так же расположена на опорах контактной сети, и она имеет кондуктивную и индуктивную связь с тяговой сетью [2, 6].

**Характеристики работы цепи, не имеющее явное и абсолютное активное сопротивление, необходимо рассматривать с учетом активных и реактивных составляющих цепи протекания рабочих токов и токов короткого замыкания.**

Для защиты данных линий и потребителей от аварийных и ненормальных режимов, имеется необходимость и возможность использования сложных защит с реализацией функций дистанционной защиты. В данных защитах входными параметрами являются токи и напряжения линии, далее производится выявление, обработка, расчет и анализ параметров, характеризующих аварийные и ненормальные режимы работы системы электроснабжения.

**Принцип работы дистанционной защиты с использование фазных и угловых характеристик сопротивления линии (цепи), приведен на рисунке 2.**



*Рисунок 2 -* Комплексная плоскость сопротивлений, характеризующая различные режимы работы цепи и зону срабатывания релейной защиты

ϕp – зона изменения угла сопротивление цепи; Zp - комплексное сопротивление цепи в нормальном (рабочем режиме); Rp – активная составляющая сопротивления; Xp - реактивная составляющая сопротивления; Zср – зона срабатывания защиты.

**На рисунке 2 приведена** комплексная плоскость сопротивлений, поясняющая особенности работы цепи с реактивным сопротивлением, которые используются при реализации сложных защит, основанных на различии фазных и угловых характеристик цепей рабочих режимов от аварийных режимов. На данной схеме необходимо выделить следующие зоны: Zp - комплексное сопротивление цепи в нормальном (рабочем режиме) и Zср – зона срабатывания релейной защиты [6, 7].

Таким образом, для повышения надежности работы линии системы электроснабжения бытовых и сельскохозяйственных потребителей от электрических сетей железных дорог возможно применение следующих технических решений:

- регулярная диагностика состояния устройств присоединения опорных и несущих конструкций к токопроводу фазы «С» - рельсу (визуальные осмотры и инструментальный контроль);

- применение способов дистанционного контроля состояния заземляющих проводников и контуров заземлений;

- использование алгоритмов работы релейных защит, способных обнаруживать аварийные и ненормальные режимы при изменении пути протекания тока.

**Выводы**. Линия ДПР представляет собой эффективное решение для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, расположенных вблизи инфраструктуры железной дороги. Однако потенциальные риски, связанные с различными вариантами изменения режима работы данной системы электропередачи, требуют разработки и внедрения дополнительных мер защиты. Разработка и внедрение новых алгоритмов работы и параметров релейных защит, позволят повысить надежность работы данной системы электроснабжения. Для выбора параметров релейных защит и расчета уставок требуется дальнейшее изучение электропроводных свойств земли с разработкой математической модели при различных режимах работы данной системы электроснабжения.

**Список литературы:**

1. Кириллов С. В. Проблемы надежности электроснабжения сельских потребителей, питаемых от инфраструктуры электрических железных дорог и пути решения данных проблем // Международная научно-техническая конференция «ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ АПК». Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Москва, 12-13 декабря 2024 г.
2. Ратнер, М.П., Могилевский Е.Л. Электроснабжение нетяговых потребителей железных дорог // Москва, Транспорт, 1985. - 295 с.
3. Имшенецкий В. Н., Рожавский С. М. Сельские электрические сети: [Для фак. электрификации сел. хоз-ва] // Москва: Колос, 1970. 392 с.
4. Кириллов С. В., Виноградов А. В. Основы концепции совершенствования электроснабжения сельских потребителей от системы электроснабжения электрифицированной железной дороги // Техника и оборудование для села. 2024. № 7(325). С. 42-45. DOI 10.33267/2072-9642-2024-7-42-45. EDN AOZMAI.
5. Карякин Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергосервис, 2006. - 519 с.
6. Фигурнов Е.П. Релейная защита: Учебник для вузов ж-д. трансп. М.: Желдориздат, 2002. 720 с.
7. Сборник СТО РЖД. Защита систем электроснабжения железной дороги от коротких замыканий и перегрузки. Часть 1-5. М: ООО «Центр Инноваций и Развития «Техинформ», 2019 г. 304 стр.

**UDC 332.1**

**FEATURES OF OPERATION OF RELAY PROTECTION OF POWER SUPPLY LINES OF RURAL CONSUMERS, SUPPLIED FROM RAILWAY ELECTRIC NETWORKS**

**Sergey V.Kirillov1, 2**

candidate of technical sciences, associate professor

kirill\_mich@mail.ru

**Mikhail Al. Shatokhin1**

engineer

shatohinmihail@gmail.com

1Michurinskaya power supply distance of JSC "Russian Railways"

2Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** High-voltage power lines of electric railways serve as a source of power for various consumers, including agricultural ones, located near the infrastructure of JSC Russian Railways. Relay protection devices are used to detect and disable emergency and abnormal modes in power supply systems. The article discusses the features of the relay protection of the power supply system "two additional wires - rail" of an electric railway. Technical solutions are proposed to improve the reliable operation of the relay protection of this system, operational safety and improve the reliability of power supply to agricultural and other facilities powered by electric networks of railways.

**Key words:** power supply system "two additional wires - rail", relay protection, short circuit, power supply of agricultural consumers from electric networks of railways, reliability of power supply.

Статья поступила в редакцию 30.01.2025; одобрена после рецензирования 21.03.2025; принята к публикации 31.03.2025.

The article was submitted 30.01.2025; approved after reviewing 21.03.2025; accepted for publication 31.03.2025.