

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.315

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-68-77>



Практическое исследование системы электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог

С.В. Кириллов¹, А.В. Виноградов^{2,3}

¹ Мичуринский ГАУ; г. Мичуринск, Россия

² Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия

³ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

¹ kirill_mich@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-5412-5441>

^{2,3} winaleksandr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>

Аннотация. Электроснабжение нетяговых потребителей электрических железных дорог, в том числе сельскохозяйственных предприятий, прекращается при отключении питающих их трансформаторных подстанций 25/0,4 кВ в период плановых и непредвиденных работ на инфраструктуре железной дороги. Это связано с отключением третьей фазы «С», передача которой осуществляется в нормальном режиме по рельсам в системах электроснабжения «Два дополнительных провода – рельс». При этом два других провода (фазы) системы могут находиться под напряжением. Нетяговые потребители (сельскохозяйственные предприятия) по причине перерывов в электроснабжении ухудшают свои экономические показатели. Цель исследований – повысить надежность электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог. Мы предлагаем при плановых работах на инфраструктуре РЖД подключать фазу «С» через рабочее заземление без использования рельса. Эксперимент провели на действующей подстанции, питаемой от системы «Два дополнительных провода – рельс» электрической железной дороги переменного тока номинальным напряжением 25 кВ, при использовании земли в качестве проводника фазы «С» на стороне высокого напряжения подстанции. В ходе эксперимента контролировали качество электрической энергии на соответствие ее показателям ГОСТ 32144-2013. Результаты практических исследований работы комплектной трансформаторной подстанции показали работоспособность схемы питания потребителей по системе «Два дополнительных провода – рельс» в вынужденном режиме. Данная схема позволяет в период «окон» по обслуживанию инфраструктуры железной дороги осуществлять электроснабжение сельскохозяйственных потребителей, избегая необоснованных отключений. В дальнейших исследованиях необходимо провести дополнительные полевые эксперименты и детально изучить все параметры и зависимости работы системы электроснабжения «Два дополнительных провода – рельс».

Ключевые слова: нетяговые потребители; система тягового электроснабжения; электроснабжение сельскохозяйственных потребителей; надежность электроснабжения; качество электрической энергии; система электроснабжения; «Два дополнительных провода – рельс»; рельс

Для цитирования: Кириллов С.В., Виноградов А.В. Практическое исследование системы электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 4. С. 68-77. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-68-77>

ORIGINAL ARTICLE

Practical study of the power supply system of rural consumers fed from railway-owned electricity networks

S.V. Kirillov¹, A.V. Vinogradov^{2,3}✉

¹ Michurinsk State Agrarian University; Michurinsk, Russia

² Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia

³ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

¹ kirill_mich@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-5412-5441>

^{2,3} winaleksandr@gmail.com✉; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>

Abstract. Power supply of non-traction consumers of electrified railways, including agricultural enterprises, is terminated when the 25/0.4 kV transformer substations feeding them are disconnected during scheduled and unforeseen railway infrastructure works. This is due to the disconnection of the third phase “C”, the transmission of which is carried out in normal mode along the rails in the “two additional wires – rail” power supply systems. At the same time, the other two wires (phases) of the system may be energized. Non-traction consumers (agricultural enterprises) deteriorate their economic indicators due to interruptions in power supply. The purpose of the study was to increase the reliability of power supply to agricultural consumers fed from the electricity networks of railways. The authors propose connecting phase “C” through working grounding without using a rail during scheduled infrastructure works of Russian Railways. The experiment was conducted at an operating substation fed from the “two additional wires – rail” system of an alternating current railway with a rated voltage of 25 kV, using the ground as a conductor of phase “C” on the high-voltage side of the substation. During the experiment, the quality of electric energy was monitored to ensure the compliance with the indicators of GOST 32144-2013. The results of practical studies for a complete transformer substation showed the operability of the power supply circuit for consumers using the “two additional wires – a rail” system in a forced mode. This circuit provides agricultural consumers with electricity during “gaps” (track possessions) for servicing the railway infrastructure, avoiding occasional shutdowns. In further studies, it is necessary to conduct additional field experiments and study in detail all the parameters and dependencies of the “two additional wires – a rail” power supply system.

Keywords: non-traction consumers; traction power supply system; power supply to agricultural consumers; reliability of power supply; quality of electric energy; “two additional wires – a rail” power supply system; rail

For citation: Kirillov S.V., Vinogradov A.V. Practical study of the power supply system of rural consumers fed from railway-owned electricity networks. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):68-77 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-68-77>

Введение

Открытое акционерное общество Российские железные дороги (ОАО «РЖД»), являясь основным железнодорожным перевозчиком в Российской Федерации и балансодержателем железнодорожной инфраструктуры общего пользования, одновременно является и одной из наиболее значительных электросетевых компаний в стране, которая имеет на своем балансе генерирующие мощности, трансформаторные подстанции, питающие и распределительные центры, большую протяженность питающих и распределительных сетей разного уровня напряжений. От электрических сетей ОАО «РЖД» получают питание более 430 тыс. сторонних потребителей (сельскохозяйственных, промышленных и др.) [1, 2].

Электроснабжение нетяговых потребителей, в том числе сельскохозяйственных, питаемых от инфраструктуры ОАО «РЖД», имеет свои особенности по обеспечению надежности электроснабжения

и качеству электрической энергии, которую потребители получают от поставщика.

Проблему взаимного влияния источников электропитания и различных потребителей, особенности схем питания сторонних потребителей от системы тягового железнодорожного электроснабжения поднимали специалисты и ученые [3-7]. Во всех исследованиях признается специфика работы данной системы электроснабжения, приводятся расчеты влияния токов в тяговой сети на сторонних потребителей и линии связи, поднимаются вопросы электромагнитной совместимости и обеспечения надежности электроснабжения.

Вопросами надежности и качества электроснабжения сельскохозяйственных потребителей занимались Н.Ф. Молоснов, Л.Е. Эбин и другие на базе Всероссийского института электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ). В своих работах они рассматривали варианты электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, расположенных в первую

очередь на межподстанционной зоне и на перегонах железных дорог, с различными вариантами питания сельскохозяйственных потребителей по системам «Контактный провод – рельсы – дополнительная фаза», «Один дополнительный провод – рельс» и «Два дополнительных провода – рельс».

До настоящего времени проблемы обеспечения надежности и качества электроснабжения не решены в полной мере, и ОАО «РЖД» уделяет особое внимание данным вопросам [6-8]. Это отражается в организационных и технических мероприятиях, основанных на анализе обращений потребителей и фактической работы устройств и систем электроснабжения, в том числе сельскохозяйственных потребителей.

В работах [3, 4, 7] и др. рассматриваются различные предложения организационного и технического характера для решения проблем надежности и качества электроснабжения. Предлагаемые решения основаны на современных научных исследованиях с использованием современной технической базы, имеют определенный научный и технический интерес и могут в определенной степени обеспечить решение указанных проблем. Решения предлагаются и зарубежными учеными: например, рассматривается разработка отказоустойчивых систем тягового электроснабжения [9]. Исследуются возможности применения возобновляемых источников энергии для повышения надежности электроснабжения и качества электроэнергии в системах электроснабжения железных дорог [10] и проводится моделирование таких систем [11]. Предлагаются

варианты применения принципов интеллектуальных сетей [12], решений по компенсации реактивной мощности [13]. Рассматриваются варианты секционирования и резервирования электрических сетей, в том числе при резервировании питания сельских потребителей, система электроснабжения которых может быть запитана от сетей железных дорог [7, 14]. Однако необходима оценка существующих технических возможностей повышения надежности электроснабжения потребителей с использованием действующих средств и технологий, применяемых в ОАО «РЖД». Очевидно, что указанные проблемы представляют научный и практический интерес.

Линии электропередачи, расположенные вдоль железнодорожных линий и подключенные к центрам питания электрических железных дорог – тяговым подстанциям, относятся к железнодорожной инфраструктуре. Линии электропередачи системы «Два дополнительных провода – рельс» (ДПР) расположены практически на всей протяженности электрической железной дороги переменного тока по системе 25 кВ, служат для резервного и основного электроснабжения железнодорожных потребителей и в качестве основного источника питания населения и производителей, как правило, вне городских территорий.

На рисунке 1 приведен участок железной дороги, электрифицированной по системе 25 кВ переменного тока, с линией ВЛ ДПР, расположенной на опоре контактной сети с указанием отдельных элементов (токопроводов и электроприемников трехфазной системы

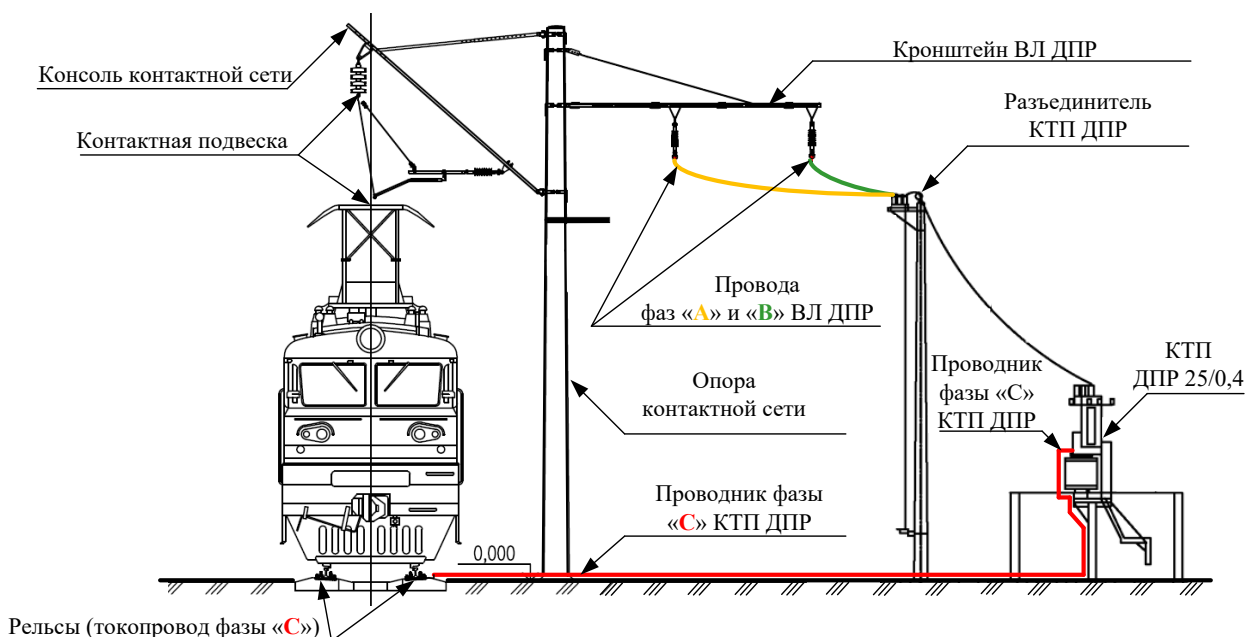


Рис. 1. Участок электрической железной дороги, электрифицированной по системе 25 кВ переменного тока с КТП ДПР 25/0,4 кВ

Fig. 1. Section of electric railway electrified by 25 kV AC system with a packaged (complete) transformer substation with two wires and a rail (KTP DPR) 25/0.4 kV

питания). На рисунке показаны все виды связей между тяговой сетью и сторонними электроприемниками – нетяговыми потребителями.

Ввиду того, что линия ДПР расположена на несущих конструкциях контактной сети и имеет общую фазу с тяговой сетью, приходится производить ее отключение при проведении монтажа, демонтажа, регламентных (плановых) и неплановых работ при обслуживании инфраструктуры железной дороги: железнодорожного пути, контактной сети, опорных и поддерживающих конструкций контактной сети, прожекторных мачт и других высотных конструкций, мостов, путепроводов, переездов, при строительстве и ремонтных работах на объектах, расположенных в зоне влияния линий электропередач, и др. [15].

Все работы на ОАО «РЖД», связанные с обеспечением движения поездов, проводятся в «окна» в соответствии с требованиями инструкции¹. «Окно» – время, в течение которого прекращается движение поездов по перегону, отдельным путям перегона или путям железнодорожной станции для производства работ на инфраструктуре.

При обслуживании инфраструктуры продолжительность «окна» составляет от 2 до 4 ч. Длительное закрытие (закрытый перегон) необходимо при капитальном ремонте пути и контактной сети или других объектов, когда производится закрытие пути и снятие напряжения с контактной сети и в линии ДПР на несколько суток (как правило, от 1 до 7); в среднем продолжительность одного закрытия составляет трое суток. Как правило, в данные «окна» производится отсоединение устройств линии ДПР с отключением КТП 25/0,4, питающих сельскохозяйственных и других потребителей. Очевидно, что на период проведения «окна» отсутствует возможность подачи напряжения потребителям, подключенным к КТП ДПР, так как отсутствует проводник фазы «С» – участок рельсовой тяговой сети.

Согласно приказу Минэнерго РФ от 8 июля 2002 г. № 204 «Об утверждении глав Правил устройств электроустановок» для объектов третьей категории есть четкие параметры допустимых сроков отключения: например, для потребителей 3 категории надежности – не более 24 ч в сутки и не более 72 ч в год. Для 1 и 2 категорий надежности эти сроки индивидуальны, но не могут превышать сроки отключения объектов третьей группы. Очевидно, что при технических и технологических особенностях работы

¹ Инструкция о порядке планирования, предоставления, использования и учета «окон» для работ на инфраструктуре ОАО «РЖД»: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 28 декабря 2023 г. № 3403.

системы ДПР переменного тока напряжением 25 кВ, в случае необходимости отключения линии ДПР для производства работ на инфраструктуре железной дороги, возникает риск невыполнения указанных выше требований.

Можно предположить, что использование земли в качестве основного проводника фазы «С» подстанции, подключенной к системе «Два дополнительных провода – рельс» электрической железной дороги, позволит питать потребителей без перерывов в электроснабжении.

Цель исследований: повышение надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог.

Материалы и методы

Обзор источников литературы, нормативных документов и анализ практики эксплуатации систем электроснабжения потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог, показали необходимость поиска решений для электроснабжения потребителей во время технологических «окон». В качестве одного из таких решений Н.Ф. Молосновым, Л.Е. Эбиным предложено использовать землю в качестве фазного провода системы ДПР, в том числе для ТП мощностью выше 25 кВА.

В работе использовали метод проведения эксперимента на действующей подстанции, питаемой от системы «Два дополнительных провода – рельс» электрической железной дороги переменного тока номинальным напряжением 25 кВ, при использовании земли в качестве проводника фазы «С» на стороне высокого напряжения подстанции. В ходе эксперимента проводили контроль качества электрической энергии на соответствие ее показателям ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Провели проверку работоспособности комплектной трансформаторной подстанции, подключенной к системе «Два провода – рельс» электрифицированной железной дороги переменного тока 25 кВ мощностью более 25 кВА в вынужденном режиме с использованием земли в качестве проводника фазы «С». В ходе исследований использовали вольтамперфазометр цифровой РЕТО-МЕТР-М2 (зав. № 9878. Дата поверки – 09.10.2024 г. Зарегистрирован в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений, рег. № 84175-21) и анализатор качества электроэнергии АКЭ-824 (рег. № 36526-07; заводской № 20062498. Дата поверки – 08.04.2024 г. Зарегистрирован

в государственном реестре средств измерений РФ, рег. № 36526-07).

Измерение электрических характеристик контура заземления подстанции производили измерителем сопротивления заземления ИС-10 [16].

Результаты и их обсуждение

В соответствии с требованиями «Инструкции по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах» от 10 июня 1993 г. ЦЭ-191 «...заземление комплектных трансформаторных подстанций (КТП) питания нетяговых потребителей по системе ДПР (два провода – рельс) осуществляют на тяговую рельсовую сеть с соблюдением требований, исключающих влияние на работу рельсовых цепей автоблокировки. При этом заземление выполняет функции как рабочего, так и защитного заземления. Для КТП мощностью до 25 кВА включительно, кроме заземления на рельсовую сеть, допускается рабочее и защитное заземление осуществлять на самостоятельный контур с сопротивлением заземления не более 5 Ом, выполняемый как выравнивающий с дополнением вертикальных электродов, количество которых определяется расчетом» [п. 3.10. ЦЭ-191].

На основании данного требования и типовыми проектными решениями комплектные трансформаторные подстанции питания нетяговых потребителей по системе ДПР электрифицированных железных дорог переменного тока системы 25 кВ мощностью выше 25 кВА должны иметь обязательное электрическое присоединение к тяговой рельсовой сети как напрямую, так и через дроссель-трансформатор, который применяется для снижения влияния рабочего

тока фазы «С» КТП на работу рельсовых цепей автоблокировки.

В таблице 1 приведены электрические характеристики силовых трансформаторов, применяемых в комплектных трансформаторных подстанциях, в системе электроснабжения по системе «Два провода – рельс» электрических железных дорог.

На рисунке 2 приведена схема подключения трехфазных КТП ДПР питания нетяговых потребителей электрифицированной железной дороги. Особенности данной системы электроснабжения:

– от общих шин номинальным напряжением 25 кВ получают питание электроподвижной состав (ЭПС), который является нестационарной (движущейся) нагрузкой, и нетяговые потребители, подключенные к линии ВЛ системы «Два дополнительных провода – рельс»;

– данная система электроснабжения по своему техническому исполнению является трехфазной, но не является симметричной, так как имеется общая мощная однофазная нестационарная нагрузка – ЭПС, и фазные токопроводы, которые выполнены проводниками с различными электрическими свойствами и различными расстояниями между собой: фазы «А» и «В» – воздушные линии, фаза «С» – рельсы.

На рисунке 3 приведена схема подключения КТП ДПР мощностью свыше 25 кВА с использованием тяговой рельсовой сети в качестве проводника фазы «С». Данная схема является типовой и обязательной в соответствии с требованиями «Инструкции по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах» от 10 июня 1993 г. ЦЭ-191 и типовыми проектными решениями, применяемыми на электрифицированных железных дорогах Российской Федерации.

Электрические характеристики силовых трансформаторов, применяемых в КТП ДПР электрических железных дорог

Table 1

Electrical characteristics of power transformers used in a packaged (complete) transformer substation with two wires and a rail (KTP DPR) of electrified railways

Мощность трансформатора КТП ДПР, кВА <i>Power of a KTP DPR transformer substation, kVA</i>	Исполнение КТП (однофазное/трехфазное) <i>KTP version (single-phase / three-phase)</i>	Группа соединений обмоток трансформатора <i>Group of connections of transformer windings</i>	Номинальный ток на стороне высокого напряжения КТП (фазный), А <i>Rated current on the high-voltage side of KTP (phase), A</i>
1,25	однофазное	1/1-0	0,045
2,5	однофазное	1/1-0	0,091
4,0	однофазное	1/1-0	0,145
10	однофазное	1/1-0	0,364
25	трехфазное	Y/Y _H -0	0,525
100	трехфазное	Y/Y _H -0	2,102
250	трехфазное	Y/Y _H -0	5,255
400	трехфазное	Y/Y _H -0	8,417

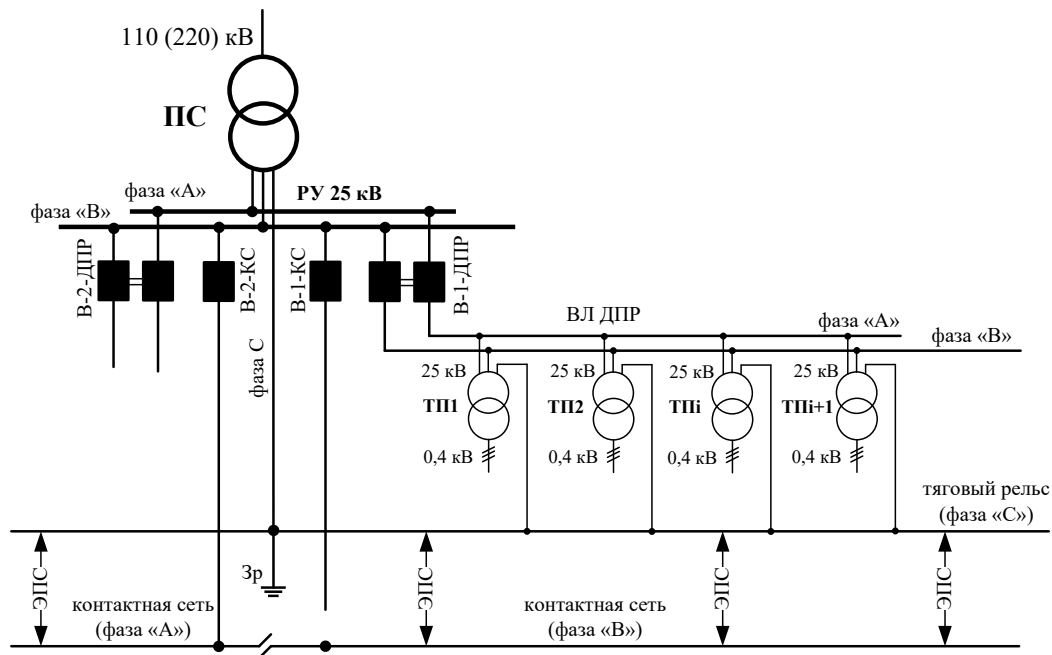


Рис. 2. Схема подключения трехфазных KTP DPR питания нетяговых потребителей электрифицированной железной дороги:

ПС – тяговая (трансформаторная) подстанция 110 (220)/25 кВ; Зр – рабочее сопротивление тяговой подстанции;
 В-1-КС, В-2-КС – высоковольтные выключатели фидеров контактной сети;
 В-1-ДПР, В-2-ДПР – высоковольтные выключатели фидеров ДПР;
 ТП-1, ТПi – трансформаторные подстанции, питаемые по системе ДПР;
 ЭПС – электроподвижной состав (нестационарная нагрузка)

Fig. 2. Connection diagram of three-phase KTP DPR substations for power supply of non-traction consumers of electrified railways:

PS – traction (transformer) substation 110 (220) / 25 kV; Зр – working resistance of traction substation; В-1-КС, В-2-КС – high-voltage circuit breakers of contact network feeders; В-1-ДПР, В-2-ДПР – high-voltage circuit breakers of DPR feeders; ТП-1, ТПi – transformer substations fed by the “two wires and a rail” (DPR) system; ЭПС – electric rolling stock (non-stationary load)

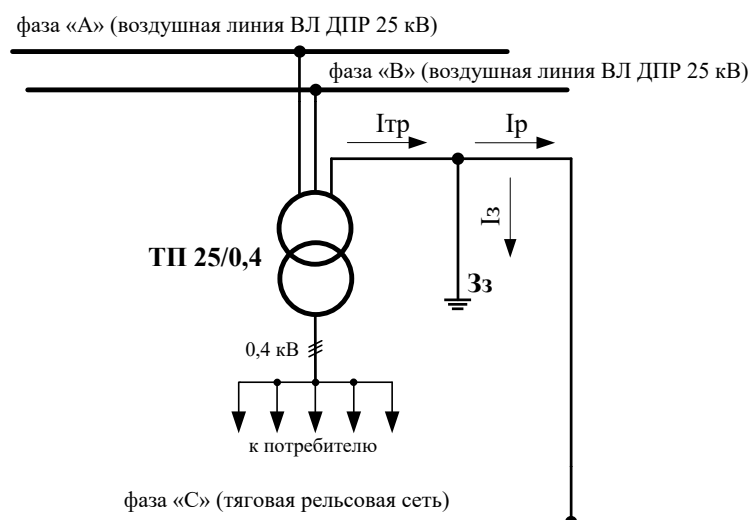


Рис. 3. Схема подключения KTP DPR мощностью свыше 25 кВА с использованием тяговой рельсовой сети в качестве проводника фазы «С»:

$I_{тр}$ – ток нагрузки KTP (трансформатора); I_p – ток в цепи присоединения KTP к рельсовой тяговой сети);
 I_z – ток в проводнике присоединения KTP к контуру заземления; Зз – защитное заземление

Fig. 3. Connection diagram of a packaged (complete) transformer substation with two wires and a rail (KTP DPR) with a capacity of over 25 kVA using the traction rail network as a conductor of “C” phase:

$I_{тр}$ – KTP (transformer) load current; I_p – current in the KTP connection circuit to the traction rail network);
 I_z – current in the KTP connection conductor to the grounding circuit; Зз – protective grounding

На рисунке 4 приведена предлагаемая к реализации схема подключения КТП ДПР мощностью свыше 25 кВА с использованием рабочего заземления и земли в качестве проводника фазы «С». Применение данной схемы позволяет питать потребителей без перерывов в электроснабжении в период обслуживания рельсовой сети, поскольку в качестве третьей фазы используется земля без присоединения к рельсу.

Экспериментальные исследования использования схемы, представленной на рисунке 4, проводили на комплектной трансформаторной подстанции, подключенной к системе «Два дополнительных провода – рельс» электрифицированной железной дороги переменного тока 25 кВ. Мощность трансформатора КТП – 400 кВА, максимальная мощность нагрузки – 200 кВт. Контур заземления был дополнительно усилен вертикальными заземлителями (сталь круглая, d = 18 мм) в количестве 6 шт., длиной 3 м, смонтированных (заглубленных в грунт) по периметру КТП.

Подстанция расположена на расстоянии 18 м от крайнего тягового рельса, в полосе отвода железной дороги.

Электрические характеристики контура заземления подстанции приведены в таблице 2.

В ходе эксперимента фиксировали значения токов в контрольных точках ($I_{тр}$, I_p , I_z) согласно схемам рисунков 3, 4. В таблице 3 приведены основные данные эксперимента.

Анализируя данные таблицы 3 (по схеме рисунка 3), видим, что ток нагрузки КТП (трансформатора) ($I_{тр}$), ток в цепи присоединения КТП к рельсовой тяговой сети (I_p) и ток в проводнике присоединения КТП к контуру заземления (I_z) зависят от фактической нагрузки трансформатора, но действительные значения тока в данной цепи не соответствуют значению тока нагрузки КТП (трансформатора), то есть имеет место неравенство:

$$I_{тр} \neq I_p + I_z.$$

(1)

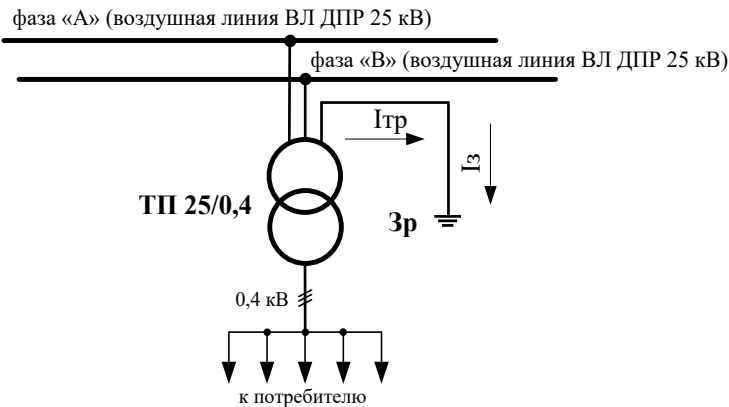


Рис. 4. Схема подключения КТП ДПР мощностью свыше 25 кВА с использованием рабочего заземления в качестве проводника фазы «С» (схема эксперимента):
 $I_{тр}$ – ток нагрузки КТП (трансформатора); I_z – ток в проводнике присоединения КТП к контуру заземления;
 $Зр$ – рабочее заземление подключения фазы «С»

Fig. 4. Connection diagram of the DPR KTP with a capacity of over 25 kVA using the working grounding as a conductor of “C” phase (experimental diagram):
 $I_{тр}$ – KTP (transformer) load current; I_z – current in the KTP connection conductor to the grounding circuit;
 $Зр$ – working grounding of the “C” phase connection

Таблица 2

Электрические характеристики контура заземления подстанции

Table 2

Electrical characteristics of the substation grounding loop

Измеряемый параметр заземления <i>Measured grounding parameter</i>	Количество измерений <i>Number of measurements</i>	Измеренное значение (диапазон значений) <i>Measured value (range of values)</i>
Удельное сопротивление грунта, Ом · м <i>Specific soil resistance, Ohm · m</i>	5	14,4...21,5
Сопротивление контура заземления, Ом <i>Grounding loop resistance, Ohm</i>	5	0,65...0,75

Таблица 3

Измеренные значения тока элементов подстанции в различных режимах нагрузки

Table 3

Measured values of current of substation elements in different load modes

Измеренные значения тока <i>Measured values of current</i>	Минимальная нагрузка <i>Minimum load</i>	Среднее значение нагрузки <i>Average load value</i>	Максимальная нагрузка <i>Maximum load</i>
По схеме рисунка 3 / According to the diagram in Figure 3			
$I_{тр}, A$	0,55	0,70	2,26
I_p, A	1,52	1,63	2,37
I_3, A	2,10	2,35	4,65
По схеме рисунка 4 / According to the diagram in Figure 4			
$I_{тр}, A$	0,26	0,67	2,50
I_3, A	0,26	0,67	2,50

По схеме рисунка 4 ток нагрузки КТП (трансформатора) $I_{тр}$ соответствует току в проводнике присоединения КТП к контуру заземления I_3 , то есть имеет место равенство:

$$I_{тр} = I_3. \quad (2)$$

В ходе эксперимента установлено, что заземление КТП ДПР, которая имеет связь с тяговой рельсовой сетью, выполняет функции не только заземления КТП ДПР (рабочего или защитного), но и используется для пропуска токов, протекающих в тяговой рельсовой сети, из данной сети в землю. Земля в данном случае рассматривается как параллельный проводник, обеспечивающий пропуск токов стационарных (нетяговых) и нестационарных (тяговых) потребителей системы электроснабжения электрической железной дороги системы переменного тока напряжением 25 кВ. Электропроводные свойства грунта (земли) в полосе отвода железной дороги имеют свои отличительные особенности в сравнении с другими грунтами, которые используются для работы электроустановок общегражданского назначения [5, 16].

В результате проведенного эксперимента подтверждена гипотеза о возможности использования земли в качестве основного проводника фазы «С» подстанции, подключенной к системе «Два провода – рельс» электрической железной дороги напряжением 25 кВ и мощностью выше 25 кВА с обеспечением требуемого качества электрической энергии. Это позволяет в период обслуживания инфраструктуры железной дороги («окон») осуществить питание

потребителей, в том числе сельских, подключенных к сетям РЖД, и избежать необоснованных отключений.

Выводы

1. Электроснабжение нетяговых потребителей по системе «Два дополнительных провода – рельс» электрифицированных железных дорог переменного тока имеет свои особенности в надежности электроснабжения, которые напрямую связаны с техническим исполнением системы электроснабжения и выполняемыми работами на инфраструктуре железной дороги.

2. В результате проведенного эксперимента выявлена возможность использования земли в качестве основного проводника фазы «С» подстанции, подключенной к системе «Два дополнительных провода – рельс» электрической железной дороги напряжением 25 кВ, мощностью выше 25 кВА с обеспечением требуемого качества электрической энергии.

3. Для формирования в будущих исследованиях объемной математической модели процесса функционирования отдельной подстанции и системы электроснабжения нетяговых потребителей по системе «Два провода – рельс» электрифицированных железных дорог переменного тока и разработки технических решений в целях повышения надежности нетяговых, в том числе сельскохозяйственных потребителей, необходимо проведение дополнительных полевых экспериментов и исследований, а также детальное изучение всех параметров и зависимостей работы данной системы электроснабжения.

Список источников

1. Кириллов С.В., Малутина С.А. Современная концепция оценки последствий невыполнения показателей надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей // Вестник Курганской ГСХА. 2025. № 1 (53). С. 56-66. EDN: RTXWAJ
2. Ярош В.А., Логачева Е.А., Жданов В.Г. и др. Системы электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: Материалы 18-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, Тула – Минск – Донецк, 2-3 ноября 2022 г. Тула: Тульский государственный университет, 2022. С. 422-426. EDN: VOAODY
3. Бадер М.П., Лобынцев В.В. Диагностирование электромагнитной совместимости системы тягового электроснабжения и транспортной инфраструктуры // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте: Материалы Четвертой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 75-летию победы в Великой Отечественной войне; 100-летию со дня рождения академика А.Д. Сахарова; 120-летию основания Омского государственного университета путей сообщения, Омск, 29-30 октября 2020 г. Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2020. С. 163-174. EDN: TIYRVD
4. Крюков А.В., Любченко И.А. Улучшение качества электроэнергии в системах электроснабжения стационарных объектов железнодорожного транспорта // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23, № 6. С. 53-65. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-6-53-65>
5. Вуколов В.Ю., Колесников А.А., Обалин М.Д., Шарыгин М.В. Особенности обеспечения надежности электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Материалы 95-го заседания Международного научного семинара, пос. Хужир (оз. Байкал), 9-15 июля 2023 г. Иркутск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, 2023. Вып. 74. С. 431-440. EDN: DQTTUD
6. Макашева С.И., Пинчуков П.С. Оценка уровня напряжения линий продольного электроснабжения нетяговых железнодорожных потребителей // Вестник Института тяги и подвижного состава. 2023. № 19. С. 13-15. EDN: VHLOCE
7. Коркин Э.Б., Ранта А.Р. Новые подходы к организации электроснабжения нетяговых потребителей в условиях ОАО «РЖД» // Локомотив. 2022. № 9 (789). С. 38-40. EDN: HNKNDH
8. Кочешкова А.М., Грибанов А.А. Разработка мероприятий по повышению надежности сельских электрических сетей // Актуальные вопросы энергетики в АПК: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Благовещенск, 19 декабря 2024 г. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2025. С. 40-45. EDN: BEPJZC
9. Cheng P., Kong H., Ma J., Jia L. Overview of resilient traction power supply systems in railways with interconnected microgrid. CSEE Journal of Power and Energy Systems. 2021;7(5):1122-1132. <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2020.02110>
10. Suslov K., Kryukov A., Ilyushin P. et al. Modeling of modes of traction power supply systems equipped with renewable energy sources. Energy Reports. 2023;9(S9):447-461. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.06.034>

References

1. Kirillov S.V., Malyutina S.A. Modern concept for assessing the consequences of non-fulfillment of reliability indicators of electricity supply to agricultural consumers. *Vestnik Kurganskoy GSKHA*. 2025;1:56-66. (In Russ.)
2. Yarosh V.A., Logacheva E.A., Zhdanov V.G. et al. Power supply systems for agricultural consumers. *Socio-economic and environmental problems of the mining industry, construction and power industry: Proceedings of the 18th International Conference on Problems of the Mining Industry, Construction and Energy*, Tula – Minsk – Donetsk, November 02-03, 2022. Tula: Tula State University, 2022. Pp. 422-426. (In Russ.)
3. Bader M.P., Lobyntsev V.V. Diagnosis of electromagnetic compatibility of the traction power supply system and transport infrastructure. *Instruments and methods of measurements, quality control and diagnostics in industry and transport: Proceedings of the fourth All-Russian scientific and technical conference with international participation dedicated to the 75th anniversary of the victory in the Great Patriotic War; the 100th anniversary of Academician A.D. Sakharov; the 120th anniversary of Omsk State Transport University*, Omsk, October 29-30, 2020. Omsk: Omsk State Transport University, 2020. Pp. 163-174. (In Russ.)
4. Kryukov A.V., Lyubchenko I.A. Improving the quality of electricity supply systems in stationary objects of railway transport. *Power Engineering: Research, Equipment, Technology*. 2021;23(6):53-65. (In Russ.) <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-6-53-65>
5. Vukolov V.Yu., Kolesnikov A.A., Obalin M.D., Sharygin M.V. Features of ensuring the reliability of electricity supply to non-traction consumers of railways. *Methodological issues of studying the reliability of large energy systems: Proceedings of the 95th Session of the International Scientific Seminar*, Khuzhir (Lake Baikal), July 9-15, 2023. Volume/Issue 74. Irkutsk: Energy Systems Institute named after L.A. Melentyev (the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences), 2023;74:431-440. (In Russ.)
6. Makasheva S.I., Pinchukov P.S. Voltage assessment for non-traction railway consumers power supply lines. *Vestnik Instituta Tyagi i Podvizhnogo Sostava*. 2023;19:13-15. (In Russ.)
7. Korokin E.B., Ranta A.R. New approaches to organizing the power supply of non-traction consumers used by JSC Russian Railways. *Lokomotiv*. 2022;9:38-40. (In Russ.)
8. Kocheshkova A.M., Griбанov A.A. Development of measures to improve the reliability of rural electric networks. *Current issues of energy in the agro-industrial complex: Proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference*, Blagoveshchensk, December 19, 2024. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University, 2025. Pp. 40-45. (In Russ.)
9. Cheng P., Kong H., Ma J., Jia L. Overview of resilient traction power supply systems in railways with interconnected microgrid. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*. 2021;7(5):1122-1132. <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2020.02110>
10. Suslov K., Kryukov A., P. Ilyushin et al. Modeling of modes of traction power supply systems equipped with renewable energy sources. *Energy Reports*. 2023;9(S9):447-461. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.06.034>
11. Lyubchenko I.A. Simulation of emergency modes of power supply systems of non-traction consumers. *Sovremennye Tekhnologii i Nauchno-Tekhnicheskii Progress*. 2021;8:233-234. (In Russ.)
12. Makhmudova A.A. Improving the quality of electrical energy of the traction power supply system using smart grids. *Vestnik Sovremennykh Issledovaniy*. 2018;12.10 (27):267-270. (In Russ.)

11. Любченко И.А. Моделирование аварийных режимов систем электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2021. № 8. С. 233-234. EDN: TMXXYX

12. Махмудова А.А. Повышение качества электрической энергии системы тягового электроснабжения при помощи применения интеллектуальных сетей // Вестник современных исследований. 2018. № 12.10 (27). С. 267-270. EDN: YVNCFF

13. Галкин Е.А. Особенности компенсации реактивной мощности при тяговой нагрузке // Modern Science. 2020. № 12-5. С. 337-341. EDN: EHEVDO

14. Виноградов А.В., Виноградова А.В., Крамской С.В. Обоснование совместного применения средств секционирования и мобильных энергетических платформ для резервирования электроснабжения сельских потребителей // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70, № 2 (51). С. 26-36. EDN: DHFGBZ

15. 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. EDN: AOZMAI

16. Кириллов С.В. Исследование электропроводных свойств грунта полосы отвода железной дороги // Наука и Образование. 2024. Т. 7, № 3. EDN: ATPHUI

13. Galkin E.A. Features of reactive power compensation under traction load. *Modern Science*. 2020;12-5:337-341. (In Russ.)

14. Vinogradov A.V., Vinogradova A.V., Kramskoy S.V. Justification of the joint use of partitioning tools and mobile energy platforms for reserving electricity supply to rural consumers. *Electrical Technologies and Electrical Equipment in Agriculture*. 2023;70(2):26-36. (In Russ.)

15. Kirillov S.V. Vinogradov A.M. The fundamentals of the concept of the improved power supply to rural consumers from the electrified railway power supply system. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024;7:42-45. (In Russ.)

16. Kirillov S.V. Investigation of electrically conductive properties the soil of the railway right-of-way. *Nauka i Obrazovanie*. 2024;7(3). (In Russ.)

Информация об авторах

¹ Кириллов Сергей Викторович, канд. техн. наук, начальник Мичуринской дистанции электроснабжения ОАО «РЖД», доцент кафедры агроинженерии и электроэнергетики; kirill_mich@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-5412-5441>; SPIN-код: 8680-1953, AuthorID: 699962

² Виноградов Александр Владимирович, д-р техн. наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией электроснабжения, электрооборудования и возобновляемой энергетики; профессор кафедры электроснабжения и теплообеспечения; winaleksandr@gmail.com[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>; SPIN-код: 6652-9426, AuthorID: 690615

¹ Мичуринский государственный аграрный университет; 393760, Российская Федерация, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101

² Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Author Information

Sergey V. Kirillov¹, CSc (Eng), Head of Michurinsk Power Supply Department of JSC Russian Railways, Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering and Electric Power Engineering; kirill_mich@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-5412-5441>

Aleksandr V. Vinogradov², DSc (Eng), Associate Professor, Head of the Laboratory of Power Supply; winaleksandr@gmail.com[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>

¹ Michurinsk State Agrarian University; 393760, Russia, Tambov region, Michurinsk, Internatsionalnaya Str., 101

² Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russia, Moscow, 1st Institutskiy Proezd Str., 5; Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

Статья поступила 05.12.2024, после рецензирования и доработки 26.06.2025, принята к публикации 27.06.2025

Received 05.12.2024; Revised 26.06.2025; Accepted 27.06.2025