4.3.2. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья
УДК 632.1
DOI: 10.53914/issn2071-2243_2025_3_67 EDN: VKTPLY

Анализ проблем электроснабжения сельских потребителей, получающих питание от электрических сетей железных дорог

Сергей Викторович Кириллов[1], Александр Владимирович Виноградов[2]✉

[1] Мичуринская дистанция электроснабжения ОАО «Российские железные дороги», Мичуринск, Россия
[1] Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия
[2] Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия
[2] winaleksandr@gmail.com✉

Аннотация. Питание сельских потребителей от систем электроснабжения электрифицированных железных дорог имеет ряд особенностей. Линии электропередачи выполнены по системе «два провода – рельс» (ДПР) на напряжение 25 кВ. Для проведения работ, необходимых для обслуживания сетей, требуется предоставление технологических «окон» продолжительностью от 2 до 4 часов, а иногда и более суток. Все это время электроснабжение сельских потребителей отключается. Представлены результаты исследования, проведенного с целью изучения проблем электроснабжения сельских потребителей от электрических сетей железных дорог и причин их возникновения. Выполнен анализ литературных источников и статистических данных по системам электроснабжения сельских потребителей от электрических сетей железных дорог. Выявлены конструктивные и технологические особенности электрических сетей железных дорог, приведены сведения о технологических «окнах» на участках между тяговыми подстанциями переменного тока 25 кВ за период 2021–2023 гг., обобщено количество обращений и жалоб потребителей за этот же период. Рассмотрены причины перерывов в электроснабжении данной категории потребителей. Установлено, что суммарная продолжительность перерывов в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей может превышать регламентируемую приказом Минэнерго РФ от 08.07.2002 № 204. Для повышения надежности электроснабжения предложены направления устранения выявленных проблем, к которым относятся: минимизация количества и продолжительности отключений участков электрических сетей за счет рациональной организации работ по обслуживанию сетей; использование дополнительных источников электроснабжения для резервного электроснабжения потребителей; совершенствование схем питания за счет обеспечения возможностей управления конфигурацией сетей.

***Ключевые слова*:** электрифицированная железная дорога, тяговое электроснабжение, система электроснабжения 25 кВ, надежность электроснабжения, инфраструктура железной дороги, нетяговые потребители, технологические «окна»

***Для цитирования*:** Кириллов С.В., Виноградов А.В. Анализ проблем электроснабжения сельских потребителей, получающих питание от электрических сетей железных дорог // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2025. Т. 18, № 3(86). С. 67–77. https//:doi.org/10.53914/issn2071-2243_2025_3_67–77.

4.3.2. ELECTROTECHNICS, ELECTRICAL EQUIPMENT AND ELECTRICAL POWER SUPPLY FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Analysis of the difficulties over the power supply to rural consumers fed from railway electrical grids

Sergey V. Kirillov[1], Aleksandr V. Vinogradov[2]✉

[1] Michurinsk Power Supply Division, OAO Russian Railways, Michurinsk, Russia
[1] Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia
[2] Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Moscow, Russia
[2] winaleksandr@gmail.com✉

Abstract. The power supply to rural consumers from the electricity supply systems of railways electrical grids has a number of features. The power transmission lines are made according to the “two wires – rail” (TWR) system at a voltage of 25 kV. To carry out various operations necessary for network maintenance, it is required to provide technological free periods, so called “curfews”, lasting from 2 to 4 hours, and sometimes more than 24 hours. All

this time, the electricity supply to rural consumers fed from railways electrical grids must been shut off. The authors present the results of a study aimed at analysing current prevailing problems and causes of power supply to rural consumers fed from railways electrical grids. The analysis of published literature and statistical data on existing power supply systems for rural consumers was carried out. The design and technological features of electric railway networks were revealed. The information on the technological free periods in the sections between 25 kV AC traction substations for the period 2021-2023 and the generalized number of consumer appeals and complaints for the same period are given. The reasons for interruptions in the power supply of agricultural consumers fed from railway sources are considered. It has been established that the total duration of interruptions in the electricity supply to agricultural consumers may exceed that regulated by the Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation of 08.07.2002 No. 204. To improve the reliability of the power supply, the directions for eliminating the identified problems are proposed, which include: minimizing the number and duration of outages of sections of electrical networks due to the rational organization of network maintenance; using additional power sources for backup power supply to consumers; improving power supply schemes by providing network configuration management capabilities.
***Keywords*:** electrified railway, traction power supply system, 25 kV power supply system, reliability of electricity supply, railway infrastructure, non-traction loads, technological free periods (“curfews”)
***For citation*:** Kirillov S.V., Vinogradov A.V. Analysis of the difficulties over the power supply to rural consumers fed from railway electrical grids. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2025;18(3):67-77. (In Russ.). https//:doi.org/10.53914/issn2071-2243_2025_3_67-77.

Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (далее 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. Российские железные дороги – крупнейшая электросетевая организация в Российской Федерации, которая имеет на своем балансе генерирующие мощности, трансформаторные подстанции, питающие и распределительные центры, большую протяженность питающих и распределительных сетей разного уровня напряжений. Объекты электросетевого хозяйства ОАО «РЖД» территориально присутствуют в 76 субъектах Российской Федерации, из них компания оказывает услуги по передаче электроэнергии сторонним потребителям в границах 70 субъектов. К электрическим сетям ОАО «РЖД» подключено более 430 тыс. сторонних потребителей. По объемам распределительных (нетяговых) электросетевых активов и оказываемых услуг потребителям в части их электроснабжения ОАО «РЖД» занимает второе место, уступая только ПАО «Российские сети», объединившему ОАО «Холдинг МРСК» и ОАО «ФСК ЕЭС» [13].

В организационную структуру ОАО «РЖД» входят 16 самостоятельных филиалов – железных дорог, которые охватывают значительную часть территории Российской Федерации. Эксплуатационная длина железных дорог составляет более 85,6 тыс. км при протяженности электрифицированных линий (электрических железных дорог) 43,8 тыс. км, из них более 26 тыс. км электрифицированы по системам переменного тока 25 кВ и 2×25 кВ с системой электроснабжения нетяговых (железнодорожных, городских и сельскохозяйственных) потребителей.

Юго-Восточная железная дорога, являясь одним из филиалов ОАО «РЖД», находится в границах Центрально-Черноземного региона России, который благодаря умеренному климату и плодородным черноземным почвам характеризуется развитым сельским хозяйством при значительном количестве сельских поселений и производственных объъектов.

За обслуживание и обеспечение надежной работы устройств электроснабжения в границах железных дорог отвечают дистанции электроснабжения. В границах Юго-Восточной железной дороги осуществляют свою деятельность 9 дистанций электроснабжения, 8 из них электрифицированы по системе переменного тока номинальным напряжением 25 кВ. Общая протяженность железнодорожных линий Юго-Восточной железной дороги, электрифицированных на переменном токе, составляет более 1700 км. В границах Юго-Восточной железной дороги эксплуатируются 36 тяговых трансформаторных под-

станций переменного тока системы 25 кВ, питающих разнородную нагрузку, на которых имеется от 1 до 3 тяговых силовых понизительных трансформатора с первичным уровнем напряжения 110 или 220 кВ, мощностью от 20 до 40 МВА каждый. Основные сведения, характеризующие электроснабжение стационарных нетяговых потребителей от системы тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ (на примере Юго-Восточной железной дороги), приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные сведения, характеризующие электроснабжение стационарных нетяговых потребителей от системы тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ (на примере Юго-Восточной железной дороги)

Показатель	Ед. изм.	Значение
Количество силовых трансформаторов тяговых подстанций напряжением 110 (220) / 25 кВ	шт.	74
Суммарная мощность силовых трансформаторов тяговых подстанций напряжением 110 (220) / 25 кВ	МВА	2732
Количество силовых трансформаторов, питающих сельскохозяйственных и других нетяговых потребителей, подключенных к ВЛ ДПР 25 / 0,4 кВ	шт.	324
Суммарная мощность силовых трансформаторов, питающих сельскохозяйственных и других нетяговых потребителей, подключенных к ВЛ ДПР 25 / 0,4 кВ	МВА	50,4
Количество сторонних потребителей (бытовые потребители, физические и юридические лица, находящихся вне городских территорий), подключенных к КТП ДПР	шт.	13 870

Отличительной особенностью всех стационарных (нетяговых) электропотребителей, расположенных вблизи железнодорожных линий и присоединенных к электрической сети, питаемой от тяговой подстанции переменного тока, является то, что в качестве одного фазного проводника питающей линии используются рельсы железнодорожной линии, согласно установившейся практике – это фаза «С». Данная система имеет название ДПР (два дополнительных провода – рельс), она достаточно широко внедрялась при масштабной электрификации железных дорог СССР, проводимой в 50–80-х гг. XX в. Эти особенности необходимо учитывать как в практике электроснабжения потребителей, так и в моделировании таких систем [5].

Очевидно, что линия электропередачи системы ДПР как элемент системы тягового электроснабжения имеет кондуктивную и индуктивную связи с тяговой сетью, ввиду особенностей расположение цепей, источников питания и размещения. Данная линия электропередачи является линией технологического назначения и связана с инфраструктурой железной дороги.

Проблема электромагнитной совместимости, а также взаимного влияния источников электроснабжения и различных потребителей, особенности схем питания сторонних потребителей от системы тягового электроснабжения существует давно и достаточно подробно рассмотрена в работах М.П. Бадера [1], Р.Н. Карякина [6], А.В. Крюкова и И.А. Любченко [9], Р.Р. Мамошина [10], А.А. Махмудовой [11] и других специалистов и ученых в области тягового электроснабжения.

Многие исследователи признают наличие специфики работы данной системы электроснабжения, а также особенностей учета электроэнергии в электрических сетях железных дорог [3], приводят расчеты влияния токов в тяговой сети на сторонних потребителей и линии связи [1]. В опубликованных источниках информации приводятся

сведения, касающиеся проблем функционирования низковольтных сетей с глухозаземленной нейтралью, подключенных к комплектным трансформаторным подстанциям (КТП ДПР) [9], а также условий работы приборов и систем учета электрической энергии и аспектов их электромагнитной совместимости в системах тягового электроснабжения, питающих разнородную нагрузку [8].

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

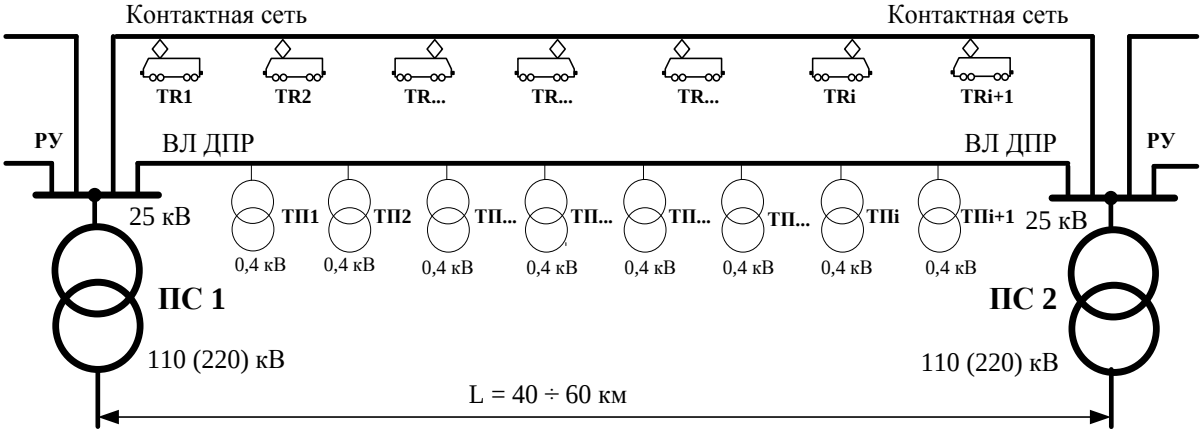

Рис. 1. Структурная схема системы тягового электроснабжения 25 кВ: ПС 1, ПС 2 – тяговые подстанции переменного тока системы 25 кВ; ТПi – линейные подстанции; ВЛ ДПР – воздушная линия системы ДПР; TRi – электроподвижной состав (электровозы и электропоезда); L – расстояние между тяговыми подстанциями;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

Как известно, системы электроснабжения специального технологического назначения, которые дополнительно используются для электроснабжения общегражданских объектов, имеют особенности и существенные отличия от классических питающих и распределительных электрических сетей. Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что вопросы качества и надежности электроснабжения сельских потребителей, получающих питание от железнодорожных источников электроснабжения, остаются актуальными, требующими детальной проработки и изучения с использованием современных ресурсов и методологии.

Представлены результаты исследования, проведенного с целью изучения проблем электроснабжения сельских потребителей, получающих питание от электрических сетей железных дорог, и причин их возникновения. Выполнен анализ литературных источников и статистических данных по системам электроснабжения таких потребителей, выявлены конструктивные и технологические особенности электрических сетей железных дорог.

Линии электропередачи системы ДПР расположены практически на всем протяжении электрифицированных участков железной дороги переменного тока по системе 25 кВ и служат для резервного и основного электроснабжения железнодорожных потребителей и в качестве основного источника питания населения и производителей, как правило, вне городских территорий [12].

На рисунке 2 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 питания.

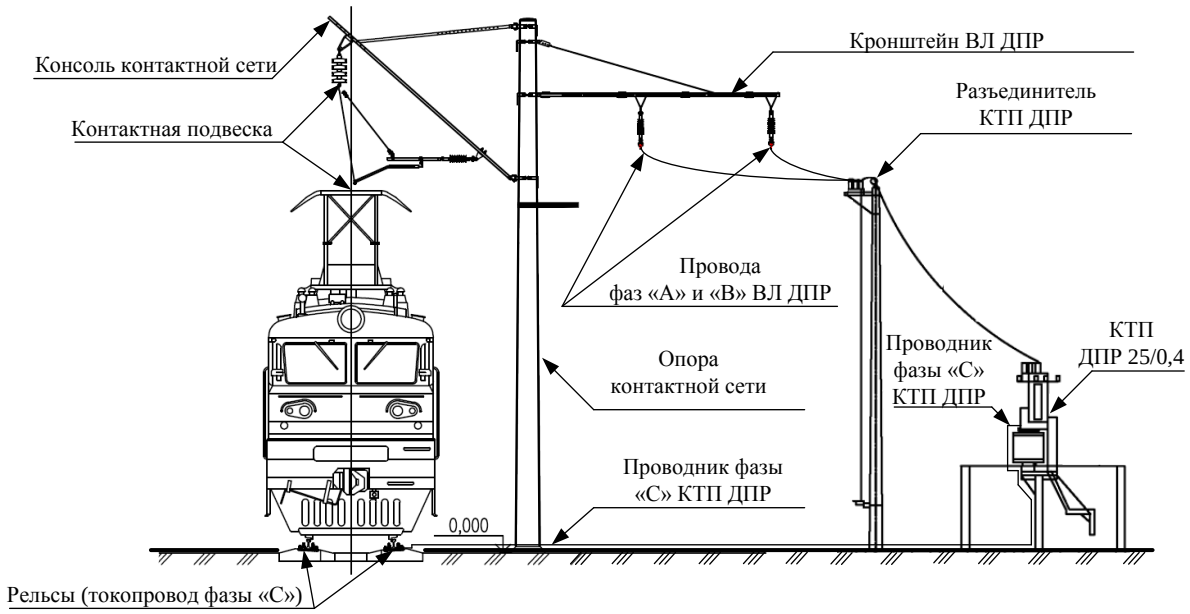

Рис. 2. Участок железной дороги, электрифицированной по системе 25 кВ переменного тока с КТП ДПР 25/0,4 кВ

Особенности линий электропередачи системы ДПР, питаемой от тяговой подстанции переменного тока системы 25 кВ, заключаются в следующем:

- все оборудование данной линии расположено на несущей конструкции (опоре, жесткой поперечине) контактной сети и имеет непосредственную близость к цепи питания объектов с меняющейся нестационарной нагрузкой (ЭПС) с независимой системой коммутации и секционирования, но одного уровня напряжения;
- в качестве одной фазы (фаза «С») для контактной сети и линии ДПР используется общие проводники – рельс и земля;
- линия ДПР является объектом инфраструктуры железнодорожного транспорта и в первую очередь линией технологического электроснабжения для резервного питания устройств СЦБ и связи железной дороги [7].

Ввиду того, что линия ДПР расположена на опорах и несущих конструкциях контактной сети и имеет общую фазу с тяговой сетью, приходится производить отключение данной линии и не только при работах, связанных с ее обслуживанием. Необходимость отключения линии ДПР возникает 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, а также при проведении строительных и ремонтных работ на объектах, расположенных в зоне влияния линий электропередач и др. Также отключение линии ДПР в обязательном порядке производится при нарушении цепи возврата обратного тока на тяговую подстанцию – фазы «С», в качестве которой используются рельсы.

Расстояние между тяговыми подстанциями переменного тока системы 25 кВ составляет 40–60 км и определяется тяговыми расчетами, источниками внешнего электроснабжения уровнем напряжения 110 или 220 кВ, сечением применяемой контактной подвески и другими факторами (география местности, профиль пути, перспективы развития и др.). В данную межподстанционную зону попадают несколько железнодорожных станций, расстояние между которыми может составлять от 5 до 40 км и более. Среднее расстояние между железнодорожными станциями составляет 12–20 км. Особенностью питания участка электрифицированной железной дороги является двухсторонняя схема питания для контактной сети и возможность подачи напряжения в линию ДПР со стороны

одной из двух смежных тяговых подстанций. Все станции и перегоны выполнены секционированными, т.е. имеется возможность электрического отключения и выделения отдельного участка контактной сети, линии ДПР и железнодорожного пути для производства работ на нем. Смежные участки контактной сети линии ДПР находятся под напряжением и обеспечивают нормальную подачу электрической энергии всем потребителям [14].

На рисунке 3 представлен пример схемы питания и секционирования контактной сети и ВЛ ДПР при системе тягового электроснабжения 25 кВ.

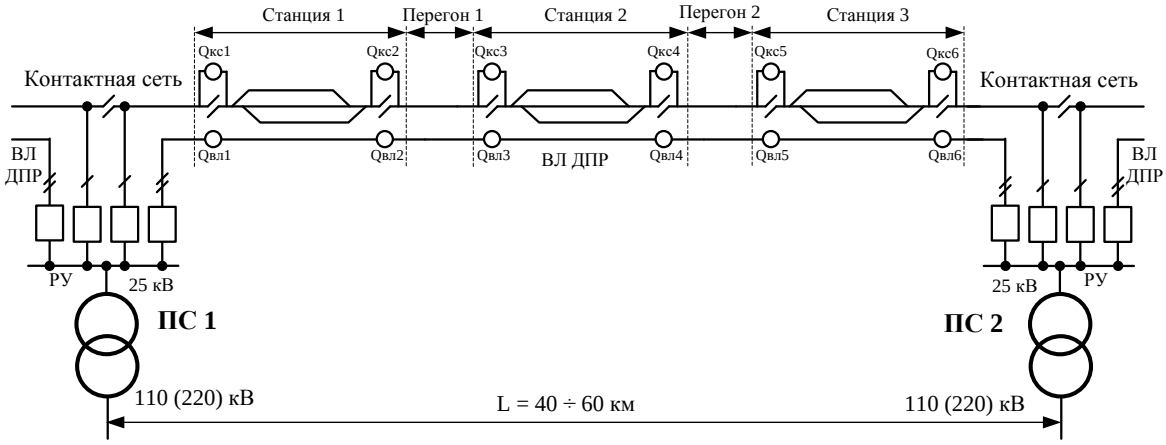

Рис. 3. Пример схемы питания и секционирования контактной сети и ВЛ ДПР при системе тягового электроснабжения 25 кВ: ПС 1, ПС 2 – тяговые подстанции переменного тока системы 25 кВ; ВЛ ДПР – воздушная линия системы ДПР; Qкс – разъединители, секционирующие участки контактной сети, Qвл – разъединители, секционирующие участки воздушной линии ДПР

Все работы на железной дороге для обслуживания железнодорожной инфраструктуры, связанной с обеспечением движения поездов, проводятся в «окна» в соответствии с требованиями «Инструкции о порядке планирования, предоставления, использования и учета «окон» для работ на инфраструктуре ОАО «РЖД», утвержденной распоряжением от 28.12.2023 № 3403/р. Для производства работ на инфраструктуре железной дороги необходимо предоставлять «окна», продолжительностью от 2 до 4 часов. Для производства крупных работ предоставляются «окна» большей продолжительности.

«Окно» – время, в течение которого прекращается движение поездов по перегону, отдельным путям перегона или путям железнодорожной станции для производства работ на инфраструктуре.

Длительное закрытие (перегона, пути перегона, станционного пути) – «окно», предоставляемое для ремонта, реконструкции или строительства железнодорожной инфраструктуры, – имеет продолжительность более 24 часов.

Длительное закрытие (закрытый перегон) необходимо при производстве работ капитального характера по ремонту пути, контактной сети или других объектов широким фронтом, когда производится закрытие пути и снятие напряжения с контактной сети и линии ДПР на несколько суток (как правило, от 1 до 7), в среднем продолжительность одного закрытия составляет трое суток. В данные «окна» производится разборка рельсового пути на протяжении нескольких километров, отсоединение заземления опор контактной сети от рельсов, демонтаж и монтаж устройств, расположенных на опорах контактной сети, в т.ч. устройств линии ДПР с отключением КТП 25/0,4, питающих сельскохозяйственных и других потребителей. И, очевидно, что в течение всего периода проведения «окна» с отключением линии ДПР отсутствует возможность подачи напряжения потребителям, подключенным к линии ДПР.

Основные документы, определяющие регламентные работы объектов инфраструктуры железной дороги – это распоряжение ОАО «РЖД» от 17.12.2021 № 2888

«Об утверждении Правил назначения ремонтов железнодорожного пути», распоряжение ОАО «РЖД» от 18.08.2021 № 1812 «О совершенствовании системы содержания объектов энергетического комплекса» и др.

На электрифицированных участках железной дороги в 90–95% случаев работы в «окна» проводятся со снятием напряжения с контактной сети, при этом в 30–35% случаев организации «окон» возникает необходимость отключения линии ДПР на участке производства работ.

Вопрос планирования и предоставления «окон» достаточно хорошо изучен и регламентирован в железнодорожной отрасли. Однако отсутствует научный и практически обоснованный подход к рациональному определению количества «окон» и их продолжительности. Весь расчет в большинстве случаев сводится к субъективному мнению исполнителей работ.

В соответствии с нормативными документами ОАО «РЖД» (распоряжение ОАО «РЖД» от 18.01.2013 № 75р (ред. от 19.12.2018) «Об утверждении и введении в действие откорректированной редакции Технических условий на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути» (с изменениями и дополнениями); распоряжение ОАО «РЖД» от 25.12.2014 № 3154р «Об утверждении Инструкции о порядке предоставления и использования «окон» для ремонтных и строительно-монтажных работ на железных дорогах ОАО «РЖД»), продолжительность «окон» для работ по ремонту пути определяется по самой лимитирующей машине из всего перечня машин, используемых при производстве работ. Как правило, такой является щебнеочистительная машина. Необходимый период времени для выполнения планового объема работ с закрытием перегона определяется по следующей формуле:

$$T_{\text{пер}} = \frac{W_n}{l_{\text{фщ}} \cdot t_m}, \text{ сут.},$$

где W_n – планируемый годовой объем ремонта пути на поездоучастке, км;

$l_{\text{фщ}}$ – расчетная норма выработки щебнеочистительной машины, км/ч;

t_m – время работы щебнеочистительной машины в течение суток, ч/сут.

Как видно из представленной выдержки из методики расчета количества и продолжительности «окон», основой расчета является норма выработки. Если для расчета продолжительности окон для производства путевых работ имеется определенная нормативная база, то для производства других работ в режиме закрытых перегонов (обновление и реконструкция контактной сети, строительство или ремонт мостов, путепроводов и др.) нормативная база отсутствует.

В таблице 2 приведены обобщенные сведения о количестве проведенных «окон» на участке Юго-Восточной железной дороги между тяговыми подстанциями переменного тока 25 кВ Никольское и Богоявленск за период 2021–2023 гг. и суммарное время отключений линии ДПР на данном участке.

Таблица 2. Сведения о технологических «окнах» на участках между тяговыми подстанциями переменного тока 25 кВ Никольское и Богоявленск Юго-Восточной железной дороги за период 2021–2023 гг.

Наименование	Ед. изм.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Количество «окон» продолжительностью от 2 до 4 часов	шт.	756	811	817
Количество «окон» продолжительностью от 4 до 24 часов	шт.	84	72	96
Количество «окон» продолжительностью свыше 24 часов	шт.	5	7	4
Общее время отключения различных участков линии ДПР на межподстанционной зоне	ч	1215	1452	1435

Согласно приказу Минэнерго РФ от 08.07.2002 № 204 «Об утверждении глав Правил устройств электроустановок» для объектов третьей категории установлены четкие параметры допустимых сроков отключения: для потребителей третьей категории надежности – не более 24 часов в сутки и не более 72 часов в год. Для потребителей первой и второй категорий надежности эти сроки индивидуальны, но не могут превышать сроки отключения объектов третьей группы.

Очевидно, что при технических и технологических особенностях работы системы ДПР переменного тока напряжением 25 кВ в случае необходимости отключения линии ДПР для производства работ на инфраструктуре железной дороги невозможно обеспечить в полном объеме выполнение указанных выше требований.

Значительная часть потребителей, получающих питание от линии электропередачи системы ДПР, являются объектами третьей категории надежности электроснабжения. Перед производством работ, связанных с продолжительным отключением линий ДПР, сетевой организацией проводится определенная работа предупредительного характера с населением, физическими и юридическими лицами, попадающими в зону отключения, местными органами власти. Однако регулярно возникают конфликтные ситуации, связанные с недовольством потребителей длительными отключениями электроэнергии. Такая ситуация обостряется не только в холодное время года (из-за невозможности использования системы отопления, т.к. автоматика современных газовых отопительных котлов зависит от электроснабжения), но и во время подготовки и проведения экзаменов и аттестации учащихся и студентов, в случаях использования режима удаленного обучения и работы и др.

В таблице 3 приведены сведения о количестве обращений и жалоб потребителей, подключенных к линии ДПР.

Таблица 3. Обобщенное количество обращений и жалоб потребителей, получающих питание по системе ДПР на участке между тяговыми подстанциями переменного тока 25 кВ Никольское и Богоявленск Юго-Восточной железной дороги за период 2021–2023 гг. по поводу отключений электроэнергии

Наименование	Ед. изм.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Устные обращения	шт.	452	404	511
Письменные обращения в сетевую и электроснабжающую организации	шт.	61	53	44
Жалобы и обращения в органы государственной власти, надзорные органы	шт.	4	7	5
Досудебное урегулирование жалоб и обращений потребителей	шт.	4	2	2

Несмотря на то что система электроснабжения ДПР является частью системы тягового электроснабжения электрифицированной железной дороги и относится к инфраструктуре железной дороги, из-за наличия подключенных сельскохозяйственных и других потребителей общегражданского назначения данная система должна обеспечивать надежность и качество электроснабжения потребителей в соответствии с нормативными документами РФ.

В настоящее время при эксплуатации инфраструктуры железной дороги в малой степени учитываются интересы сельскохозяйственных потребителей (населения и предприятий), получающих питание от железнодорожных сетей. При организации ремонтных работ приоритетом является ремонт элементов инфраструктуры железной дороги и организация движения поездов с заданными параметрами.

Очевидно, что для выполнения государственных норм, предъявляемых к надежности и качеству электроснабжения, необходима разработка и принятие определенных мер, которые позволят снизить количество жалоб и претензий от потребителей.

Приведем примерный перечень необходимых мер:

1) минимизация продолжительности и количества отключений участков электрических сетей. Для этого необходимо усовершенствовать систему расчета количества и продолжительности «окон», связанных с отключением смежных линий электропередачи;

2) использование дополнительного источника электроснабжения для резервного электроснабжения потребителей;

3) временное изменение схемы питания и секционирования линии электропередачи, изменение конфигурации сети.

В работах различных авторов предлагаются решения, направленные на минимизацию негативного влияния указанных факторов и поиск решений по повышению эффективности систем электроснабжения потребителей, подключенных к электрическим сетям электрифицированных железных дорог. В частности, А.А. Махмудова анализирует перспективное направление развития электроснабжения на основе так называемых «Умных сетей» («Smart Grid») [11]. Ю.Н. Булатов, А.В. Крюков и А.П. Куцый предлагают использовать модель мультиагентной системы управления установками распределенной генерации в системах электроснабжения железных дорог для улучшения качества процессов управления их режимами [2]. М.В. Шевлюгин, И.В. Зеленская и А. Жуматова рассматривают возможности применения альтернативных источников энергии, в частности ветровых, в системе тягового электроснабжения железных дорог [15].

Следует отметить публикации сотрудников Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, в частности пример применения устройств секционирования (деления сети) для реализации управления конфигурацией сети 0,4 кВ [4]. Принципы, изложенные в работах ВИМовцев, могут быть перенесены (с определенными доработками) и на сети электроснабжения сельских потребителей, питаемых от систем электроснабжения электрифицируемых железных дорог.

В то же время практически не рассмотрены особенности электроснабжения именно сельских потребителей (бытовых и юридических лиц разных форм собственности) от электрических сетей железных дорог, нет тщательного анализа влияния специфики режимов работы данных сетей и режимов их эксплуатации на показатели надежности электроснабжения сельских потребителей и качество поставляемой электроэнергии.

Отсутствие проработки отмеченных вопросов и нерешенность указанных проблем приводят к значительному количеству жалоб и исков в адрес ОАО «РЖД» как сетевой организации, что указывает на актуальность разработки концепции повышения эффективности систем электроснабжения сельских потребителей, получающих питание от электрических сетей железных дорог. По мнению авторов, указанная концепция должна предусматривать решение по повышению надежности электроснабжения и качества поставляемой электроэнергии с принятием мер организационного и технического характера.

Выводы

Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» является крупнейшей по величине в Российской Федерации электросетевой организацией, которая предоставляет услуги недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии. От электрических сетей железных дорог получает питание значительное количество сельскохозяйственных предприятий, а также сельских населенных пунктов, расположенных вблизи железной дороги.

Суммарная присоединенная мощность трансформаторов, передающих электрическую энергию сельскохозяйственным потребителям от системы электроснабжения ДПР (на примере Юго-Восточной железной дороги), составляет 50,4 МВА, количество потребителей – физических и юридических лиц – 13 870.

Особенности расположения элементов системы электроснабжения и линий электропередач, выполненных по системе «два дополнительных провода – рельс» в непосредственной близости от инфраструктуры железной дороги, оказывают влияние на качество и надежность электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Рассмотрены причины перерывов в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей, получающих питание от железнодорожных источников. Установлено, что суммарная продолжительность перерывов в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей может превышать регламентируемую приказом Минэнерго РФ от 08.07.2002 № 204.

Предложены направления решения указанных проблем для повышения надежности электроснабжения, к которым относятся:

- минимизация количества и продолжительности отключений участков электрических сетей за счет рациональной организации работ по обслуживанию сетей;
- использование дополнительных источников электроснабжения для резервного электроснабжения потребителей;
- совершенствование схем питания за счет обеспечения возможностей управления конфигурацией сетей.

Список источников

1. 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 IV 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.

2. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Куцый А.П. Мультиагентный подход к управлению режимами систем электроснабжения железных дорог // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21, № 4(123). С. 108–126. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-4-108-126.

3. Варенцов В.М., Бурьяноватый А.И., Иванов М.А. Учет энергии на подстанциях переменного тока при протекании по контактной сети транзитных токов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2017. Т. 76, № 5. С. 294–300. DOI: 10.21780/2223-9731-2017-76-5-294-300.

4. Виноградова А.В., Виноградов А.В. Устройство деления электрической сети и вариант его применения // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69, № 2(47). С. 42–46. DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-2-42-46.

5. Ивлев В.А., Евдасев И.С. Имитационная модель совместной работы тяговой сети и линий «два провода – рельс» // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. 2010. № 2(21). С. 20–23.

6. Карякин Р.Н. Тяговые сети переменного тока. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Транспорт, 1987. 279 с.

7. Кириллов С.В., Гордеев А.С. Надежность электроснабжения сельских поселений от подстанций Мичуринской дистанции электроснабжения ОАО «РЖД» // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: сборник материалов международной научно-практической конференции (Мичуринск, 25–27 октября 2023 г.). Мичуринск: Изд-во ФГОУ ВПО МичГАУ, 2024. С. 45–51.

8. Кириллов С.В. Снижение погрешности учета электроэнергии в системах электроснабжения с преобладающей нелинейной нагрузкой: дис. … канд. техн. наук: 05.09.03. Мичуринск, 2006. 154 с.

9. 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. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-6-53-65.

10. Мамошин Р.Р. Повышение качества энергии на тяговых подстанциях дорог переменного тока. Москва: Транспорт, 1973. 224 с.

11. 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.

12. Ратнер М.П., Могилевский Е.Л. Электроснабжение нетяговых потребителей железных дорог. Москва: Транспорт, 1985. 295 с.

13. Санько В.М. О реформировании энергетического комплекса ОАО «РЖД» и развитии электросетевой деятельности [Электронный ресурс] // Евразия Вести. Международное информационно-аналитическое обозрение. XI 2017. URL: http://eav.ru/publ1.php?publid=2017-11a01 (дата обращения: 30.11.2024).

14. Черемисин В.Т., Третьяков Е.А., Головнев Г.Е. Управление секционированием и режимами потоков мощности в интеллектуальных распределительных электрических сетях железных дорог // Вестник Чувашского университета. 2019. № 3. С. 225–237.

15. Шевлюгин М.В., Зеленская И.В., Жуматова А. Оценка потенциала ветровой электроэнергетики для использования в системе тягового электроснабжения железных дорог // Электроника и электрооборудование транспорта. 2017. № 6. С. 41–45.

References

1. Bader M.P., Lobyntsev V.V. Diagnostics of electromagnetic compatibility of traction power supply system and transport infrastructure. Devices and methods of measurements, quality control and diagnostics in industry and transport: Proceedings of the IV All-Russian Research and Technical Conference with International Participation dedicated to the 75th anniversary of the Victory in the Great Patriotic War; 100th anniversary of the birth of Academician A.D. Sakharov; 120th anniversary of the foundation of Omsk State Transport University (Omsk, October 29-30, 2020). Omsk: Omsk State Transport University Publishers; 2020:163-174. (In Russ.).

2. Bulatov Yu.N., Kryukov A.V., Kutsiy A.P. Multi-agent approach to railroad power supply system modes control. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2017;21(4):108-126. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-4-108-126. (In Russ.).

3. Varentsov V.M., Bur'yanovatyy A.I., Ivanov M.A. Energy accounting in AC substations in case of transit currents flowing through the contact network. *Russian Railway Science Journal*. 2017;76(50):294-300. DOI: 10.21780/2223-9731-2017-76-5-294-300. (In Russ.).

4. Vinogradova A.V., Vinogradov A.V. The device for dividing the electrical network and a variant of its application. *Electrical engineering and electrical equipment in agriculture*. 2022;69(2):42-46. DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-2-42-46. (In Russ.).

5. Ivlev V.A, Evdasev I.S. Simulation model of joint operation of traction network and "two wires – rail" lines. *Bulletin of Belarusian State University of Transport: Science and Transport*. 2010;2(21):20-23. (In Russ.).

6. Karyakin R.N. AC traction networks. 2nd edition, revised and enlarged. Moscow: Transport Publishers; 1987. 279 p. (In Russ.).

7. Kirillov S.V., Gordeev A.S. Reliability of power supply to rural settlements from substations of Michurinsk power supply division of OAO Russian Railways. In: Engineering support for innovative technologies in Agro-Industrial Complex: Proceedings of the International Research-to-Practice Conference (Michurinsk, October 25-27, 2023). Michurinsk: Michurinsk State Agrarian University Publishers; 2024:45-51. (In Russ.).

8. Kirillov S.V. Reducing the error of electricity metering in power supply systems with a predominant nonlinear load: Candidate Dissertation in Engineering Sciences: 05.09.03. Michurinsk; 2006. 154 p. (In Russ.).

9. 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. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-6-53-65. (In Russ.).

10. Mamoshin R.R. Improving the Quality of Energy at AC Traction Substations of Railways. Moscow: Transport Publishers; 1973. 224 p. (In Russ.).

11. Makhmudova A.A. Improving the Quality of Electric Power in the Traction Power Supply System Using Smart Grids. *Vestnik sovremennyh issledovanij*. 2018;12.10(27):267-270. (In Russ.).

12. Ratner M.P., Mogilevsky E.L. Electricity supply of non-traction consumers of railways. Moscow: Transport Publishers; 1985. 295 p. (In Russ.).

13. San'ko V.M. On the reform of the energy complex of OAO Russian Railways and the development of electric grid activities. *Eurasia Vesti. International Information and Analytical Review*. XI 2017. URL: http://eav.ru/publ1.php?publid=2017-11a01. (In Russ.).

14. Cheremisin V.T., Tretyakov E.A., Golovnev G.E. Control of sectioning and power flow modes in intelligent distribution electric networks for railways. *Bulletin of the Chuvash University*. 2019;3:225-237. (In Russ.).

15. Shevliugin M.V., Zelenskaya I.V., Zhumatova A. Estimation of the potential of wind power for use in traction power supply system of railways. *Electronics and electrical equipment of transport*. 2017;6:41-45. (In Russ.).

Информация об авторах

С.В. Кириллов – кандидат технических наук, начальник Мичуринской дистанции электроснабжения ОАО «РЖД», доцент кафедры агроинженерии и электроэнергетики ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», kirill_mich@mail.ru.

А.В. Виноградов – доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории электроснабжения, электрооборудования и возобновляемой энергетики, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», winaleksandr@gmail.com.

Information about the authors

S.V. Kirillov, Candidate of Engineering Sciences, Head of Michurinsk Power Supply Division, OAO Russian Railways, Docent, the Dept, of Agroengineering and Electric Power Engineering, Michurinsk State Agrarian University, kirill_mich@mail.ru.

A.V. Vinogradov, Doctor of Engineering Sciences, Docent, Chief Research Scientist, Laboratory of Electric Power Supply, Electric Equipment and Renewable Energy, Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, winaleksandr@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 15.05.2025; одобрена после рецензирования 20.06.2025; принята к публикации 05.07.2025.

The article was submitted 15.05.2025; approved after reviewing 20.06.2025; accepted for publication 05.07.2025.

© Кириллов С.В., Виноградов А.В., 2025