17. Buyakova N.V., Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Electromagnetic safety in points of overhead power lines and electrified railroads crossing. *International Scientific Electric Power Conference – 2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 643 (2019) 012018 IOP Publishing*. DOI: 10.1088 / 1757-99X / 643/1/012018.

18. Buyakova N., Zakarukin V., Kryukov A. Imitative Modeling of Electromagnetic Safety Conditions in Smart Power Supply Systems. *Advances in Intelligent Systems Research. Vol. 158. Vth International workshop "Critical infrastructures: contingency management, intelligent, agent-based, cloud computing and cyber security" (IWCI 2018)*, 2018. Pp. 20–25.

19. Buyakova N., Zakaryukin V., Kryukov A., Nguyen Tu. Electromagnetic Safety Enhancing in Railway Electric Supply Systems. *E3S, Web of Conferences* 58, 01006 (2018) RSES 2018. Pp. 1–6.

20. Buyakova N.V., Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Modeling of electrical fields in railway engineering structures. *Advances in Engineering Research. Vol. 158. International Conference on Aviamechanical Engineering and Transport (AviaENT 2018)*. 2018. Pp. 219–225.

21. Anisimova N.D., Venikov V.A., Ezhov V.V. at al. Primery analiza i raschetov rezhimov elektroperedach, imeyushchikh avtomaticheskoe regulirovanie i upravlenie [Examples of analysis and calculation of power transmission modes with automatic regulation and control]. Moscow, 1967. 297 p.

22. Ivakin V.N., Magnitskii A.A., Shulga R.N. Primenenie ustanovok tiristorno-upravlyaemoi prodol'noi kompensatsii na liniyakh elektroperedachi peremennogo toka [The use of thyristor-controlled longitudinal compensation plants on alternating current power lines]. *Elektrotekhnika*, 2006. No. 9. Pp. 42–49.

23. Shamardin A.O. Issledovanie vliyaniya ustanovki prodol'noi kompensatsii na rezhimy dal'nei elektroperedachi [Investigation of the effect of the installation of longitudinal compensation on the modes of long-distance power transmission]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [*Modern scientific researches and innovations*], 2016. No. 6 (62). Pp. 164–173.

24. Finochenko T.E. Issledovanie rezhimov raboty i kachestva elektroenergii v liniyakh DPR [Study of operating modes and quality of electricity in the lines of the two wires and rails]. *Vestnik RGUPS*, 2002. No. 3. Pp. 60–62.

Информация об авторах

Буякова Наталья Васильевна **–** канд. техн. наук, доцент, Ангарский государственный технический университет, г Ангарск, e-mail: bn_900@mail.ru

Крюков Андрей Васильевич – д-р техн. наук, профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения; Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: and_kryukov@mail.ru

Середкин Дмитрий Александрович **–** аспирант, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: dmitriy987@mail.ru

Information about the authors

Natalia V. Buyakova – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: bn_900@mail.ru

Andrei V. Kryukov **–** Doctor of Engineering Science, Prof., Irkutsk State Transport University, Irkutsk National Research Technical University, e-mail: and_kryukov@mail.ru

Dmitry A. Seredkin **–** Ph.D. student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: dmitriy987@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.4(68).102-114 **УДК** 621.331:625.1

Перефазировка подключения тяговых трансформаторов на тяговых подстанциях с целью снижения несимметрии в питающей линии

Е. Ю. Пузина[1,2], И. А. Худоногов[1]✉
[1] *Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*
[2] *Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация*
✉ hudonogovi@mail.ru

Резюме

В связи с планируемым существенным увеличением объема грузоперевозок к 2025 г. по Восточному полигону остро стоит проблема ликвидации лимитирующих межподстанционных зон, ограничивающих пропускную способность участков железных дорог. Эта проблема решается путем усиления системы тягового электроснабжения различными способами: внедрением компенсирующих устройств, увеличением сечения контактной подвески, монтажом дополнительных постов секционирования. Кроме того, поэтапно осуществляется усиление системы внешнего электроснабжения. Одна из основных целей реализации этих мероприятий – повышение уровня напряжения в контактной сети для пропуска поездов повышенной массы с необходимыми межпоездными интервалами.Однако в имеющейся системе тягового электроснабжения есть «скрытые» резервы для повышения уровня напряжения в контактной сети, которые не потребуют значительных капитальных вложений. К таковым можно отнести проверку симметрии напряжения в питающей линии электропередачи и реализацию при необходимости перефазировки подключения тяговых трансформаторов к ее фазам.В данной работе выполнено моделирование систем внешнего и тягового электроснабжения участка З – Ж Восточного полигона. Результаты моделирования подтвердили наличие несимметрии напряжения в питающей линии электропередачи при пропуске тяжеловесных поездов. Для решения выявленной проблемы предложено произвести перефазировку подключения тяговых трансформаторов. Результаты реализации предложенного варианта фазировки подтвердили эффективность мероприятия, поскольку это привело как к повышению напряжения в контактной сети, так и к улучшению качества электроэнергии в питающей линии электропередачи.

 © Е. Ю. Пузина, И. А. Худоногов, 2020

Ключевые слова
система тягового электроснабжения, тяговые трансформаторы, несимметрия напряжения, перефазировка, питающая линия

Для цитирования
Пузина Е. Ю. Перефазировка подключения тяговых трансформаторов на тяговых подстанциях с целью снижения несимметрии в питающей линии / Е. Ю. Пузина, И. А. Худоногов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. –№ 4 (68). – С. 102–114. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).102-114

Информация о статье
поступила в редакцию: 02.11.2020, поступила после рецензирования: 11.11.2020, принята к публикации: 04.12.2020

Re-phasing of traction transformers connection at traction substations to reduce the unbalance in the supply line

E. Yu. Puzina[1,2], I. A. Khudonogov[1]✉
[1] *Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*
[2] *Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation*
✉ and_kryukov@mail.ru

Abstract
Due to the planned significant increase in the volume of cargo transportation by 2025 along the Eastern polygon, there is an urgent problem of eliminating the limiting inter-substation zones that restrict the throughput capacity of railway sections. This problem is solved by strengthening the traction power supply system in various ways: by introducing compensating devices, increasing the overhead catenary section, installing additional sectioning points. In addition, the external power supply system is being strengthened stage-by-stage. One of the main goals of the implementation of these measures is to increase the voltage level in the overhead contact system to handle trains of increased mass with the necessary inter-train intervals. However, in the existing traction power supply system there are “hidden” reserves for increasing the voltage level in the overhead contact system, which will not require significant capital investments. These include checking the voltage balance in the power transmission line and, if necessary, the implementation of re-phasing the connection of traction transformers to the phases of the power transmission line. This work carries out the simulation of the systems of external and traction power supply of the З – Ж section of the Eastern polygon. The simulation results confirmed the presence of voltage unbalance in the power transmission line when handling heavy trains. To solve the identified problem, it was proposed to re-phase the connection of traction transformers. The results of the implementation of the proposed phasing option confirmed the effectiveness of the measure, since it led both to an increase in the voltage in the overhead contact system and to an improvement in the quality of electricity in the power transmission line.

Keywords
traction power supply system, traction transformers, voltage unbalance, re-phasing, supply line

For citation
Puzina E. Yu., Khudonogov I. A. Perefazirovka podklyucheniya tyagovykh transformatorov na tyagovykh podstantsiyakh s tsel'yu snizheniya nesimmetrii v pitayushchei linii [Re-phasing of traction transformers connection at traction substations to reduce the unbalance in the supply line]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [*Modern Technologies. System Analysis. Modeling*], 2020, No. 4 (68), pp. 102–114. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).102-114

Article info
Received: 02.11.2020, Revised: 11.11.2020, Accepted: 04.12.2020

Введение

Правительство Российской Федерации, компания ОАО «РЖД», оценивая перспективы роста грузопотоков, уделяют первостепенное внимание развитию Транссибирской железнодорожной магистрали и, прежде всего, Восточного полигона. Главные векторы такого развития определены тремя основополагающими документами:

– паспорт инвестиционного проекта «Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожной магистралей с развитием пропускных и провозных способностей», утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 октября 2014 г. № 2116-р;

– паспорт Генеральной схемы развития сети железных дорог на период до 2025 г. и на перспективу до 2030 г., сформированный Институтом экономики и развития транспорта в 2019 г.;

– Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 г., утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 марта 2019 г. №466-р.

Этими документами предусмотрено увеличение провозной способности Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожной магистралей до 180 млн т к 2024 г. Развитие и обновление железнодорожной инфраструктуры БАМа и Транссиба даст возможность перспективного прироста грузопотока с основных месторождений Восточного полигона до 66,8 млн т дополнительно к уровню 2012 г. в направлении портов и пограничных переходов Дальнего Востока.

Главным фактором, обеспечивающим освоение перспективных объемов перевозок, является совершенствование перевозочного процесса. Основные его направления – это увеличение пропускной и провозной способности железнодорожных полигонов[1–3].

С целью повышения провозной способности Генеральной схемой развития сети железных дорог предусмотрено расширение полигонов обращения тяжеловесных поездов массой 7 100 т. В числе таких полигонов Кузбас – Дальний Восток. Таким образом, инфраструктура Транссибирского хода Восточно-Сибирской железной дороги должна обеспечивать по своим техническим характеристикам тяжеловесное движение[4–6].

В рамках реализации задач по модернизации инфраструктуры БАМа и Транссиба выполнен значительный объем работ по усилению устройств электроснабжения. Прежде всего это касается участка Тайшет–Лена–Таксимо[7–10].

В результате выполнения мероприятий в соответствии с первым этапом реализации программы развития пропускных способностей Восточного полигона к 2020 г. из 32 лимитирующих межподстанционных зон (МПЗ) ликвидировано 17, сокращены интервалы на 14 МПЗ. Количество зон для пропуска поездов весом 6 300 т с интервалом попутного следования 10 мин. и менее возросло с 4 до 21.

В рамках второго этапа программы развития Восточного полигона, которая формируется в настоящее время, рассматривается усиление так называемых «благоприятных» на первый взгляд участков, которые при усилении ранее проблемных зон и увеличении грузопотока могут стать лимитирующими. На этих участках увеличение объемов перевозок и все возрастающие тяговые нагрузки могут привести к отказам устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) вследствие нарушения качества электроэнергии, подводимой к ним. Так, согласно [11], «основной причиной перекрытия сигналов и отказов устройств автоблокировки является низкое качество электроэнергии на устройствах СЦБ». Эта задача может быть решена при правильно выбранных параметрах системы электроснабжения [2]. Вместе с тем в процессе эксплуатации действующих участков электрифицированных железных дорог при увеличении объема грузоперевозок крайне важно обеспечить их надежное функционирование, как в нормальных, так и в аварийных режимах работы [12–15], а также в режиме реального времени отслеживать состояние объектов и устройств системы тягового электроснабжения [16–24]. Кроме того, несмотря на грядущее увеличение объема грузоперевозок, одной из основных проблем в системах электроснабжения по-прежнему остается необходимость энергосбережения, определенная как одна из составляющих системы энергетического менеджмента [25–28]. В частности, с целью энергосбережения в системах внешнего и тягового электроснабжения следует решать проблему несимметрии напряжения в питающей линии, ухудшающей качество электроэнергии[29].

Описание проблемной ситуации и постановка задачи

С целью оценки показателей несимметрии напряжения в питающей линии в условиях существующей фазировки подключения тяговых трансформаторов к питающей линии электропередачи (ЛЭП) в данной работе рассмотрен участок системы тягового электроснабжения З – Ж Восточного полигона на текущий период времени с учетом пропуска существующего поездопотока.

В настоящее время на участке обращаются поезда с весовыми нормами в соответствии с приказом ЦТ – 3 от 12 января 2018 г. и межпоездными интервалами в соответствии с приказом ОАО «РЖД» от 30 июля 2014 г. № 169. Для оценки возможности системы тягового электроснабжения принят пакет, состоящий из восьми поездов весом 6 300 т. с межпоездным интервалом 8 мин. в четном направлении и поездов весом 3 000 т. с межпоездным интервалом 11 мин. в нечетном направлении.

Поскольку для оценки возможностей систем тягового электроснабжения участка необходимо учитывать схему и параметры внешней энергосистемы, расчеты произведены в программном комплексе «Fazonord».Для расчета приняты напряжение на шинах тяговых подстанций, равное 28 кВ, и параллельная работа тяговых трансформаторов на тяговых подстанциях З, Д, Ж.Далее приведен сформированный график движения поездов (рис. 1).

Полученные результаты расчета свидетельствуют о следующем:

1. Минимальные трехминутные напряжения на токоприемниках локомотивов нечетных поездов – U_{3min21} = 22,07кВ (МПЗ Д – З); U_{3min23} = 22,43кВ (МПЗ Д – З).

2. Минимальные трехминутные напряжения на токоприемниках локомотивов четных поездов – U_{3min14} = 21,49кВ (МПЗ Д – З); U_{3min12} = 21,7кВ (МПЗ Д – З); U_{3min8} = 21,8кВ (МПЗ Д – З); U_{3min10} = 21,87 кВ (МПЗ Д – З).

 © Е. Ю. Пузина, И. А. Худоногов, 2020

Представлены графики зависимости напряжений на токоприемниках локомотивов нечетных поездов с наименьшими показателями (рис. 2, 3), графики зависимости напряжений на токоприемниках локомотивов четных поездов с наименьшими напряжениями (рис. 4, 5).

Коэффициенты несимметрии напряжения обратной последовательности и время превышения допустимого значения в воздушных линиях 110 кВ внешнего электроснабжения приведены (табл. 1).

Таблица 1.Значения показателей при действующих параметрах системы в данный период времени
Table 1. Values of indicators for the acting current parameters of the system in a given period of time

Участок воздушной линии (ВЛ)	Среднее значение коэффициента несимметрии напряжения обратной последовательности K_{2umid},%	Максимальное Значение коэффициента несимметрии напряжения обратной последовательности $K_{2u\,max}$,%	Время превышения допустимого значения K_{2umid},% T_1, %	Время Превышения Допустимого Значения $K_{2u\,max}$,% T_2, %
З – Т	0,53	1,38	0	0
З – Д	0,53	1,38	0	0
Д – З	1,48	4,74	25,1	3,4
З – Г	1,39	4,37	25,7	1,4
Т – З	1,11	3,47	16	0
ЗЛ – Г	1,45	4,66	28,3	2,6
Г – ЗБ	1,35	4,2	25,7	0,3
ЗБ – Л	0,97	2,78	13,1	0
Г – К	1,35	4,2	25,7	0,3
К – Ж	1,22	3,59	223	0
Ж – Л	0,88	2,99	9,7	0

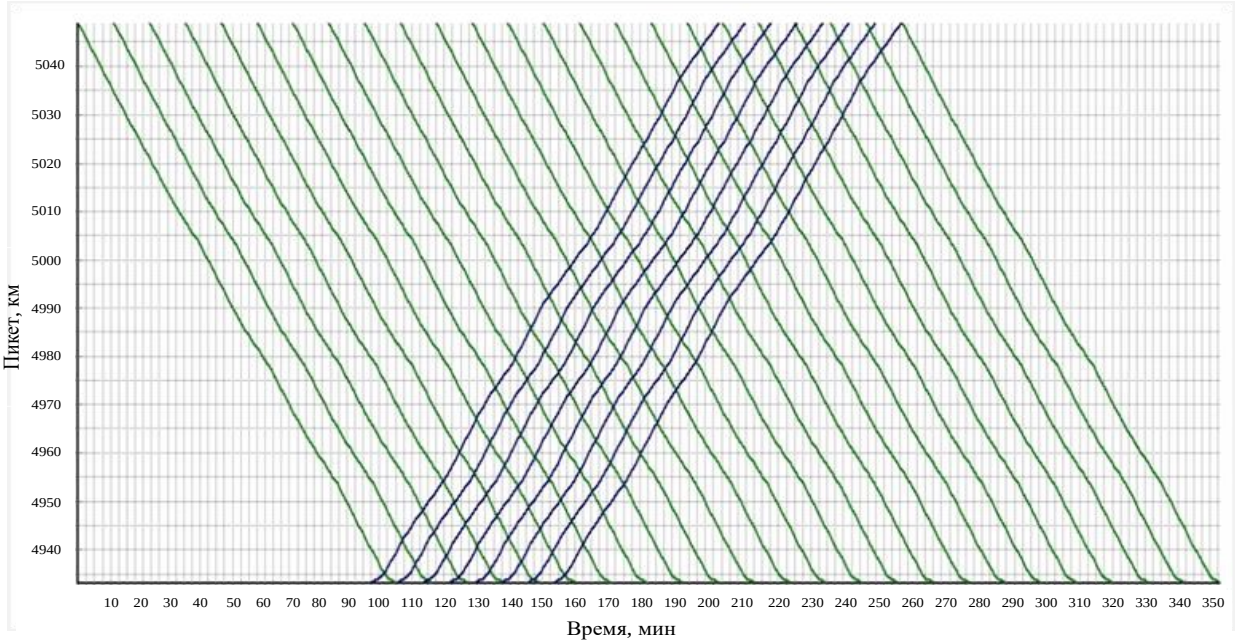

Рис. 1. График движения поездов на участке З – Ж
Fig. 1. Schedule of train traffic on the section З – Ж

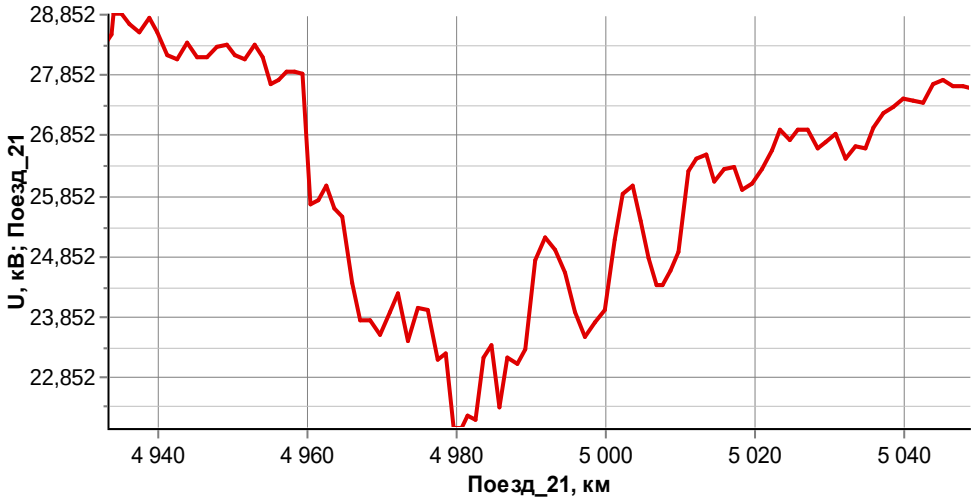

Рис. 2. График зависимости напряжения на токоприемнике локомотива поезда 21 от координаты
Fig. 2. The graph of the dependence of the voltage on the train 21 locomotive current collector on the coordinate

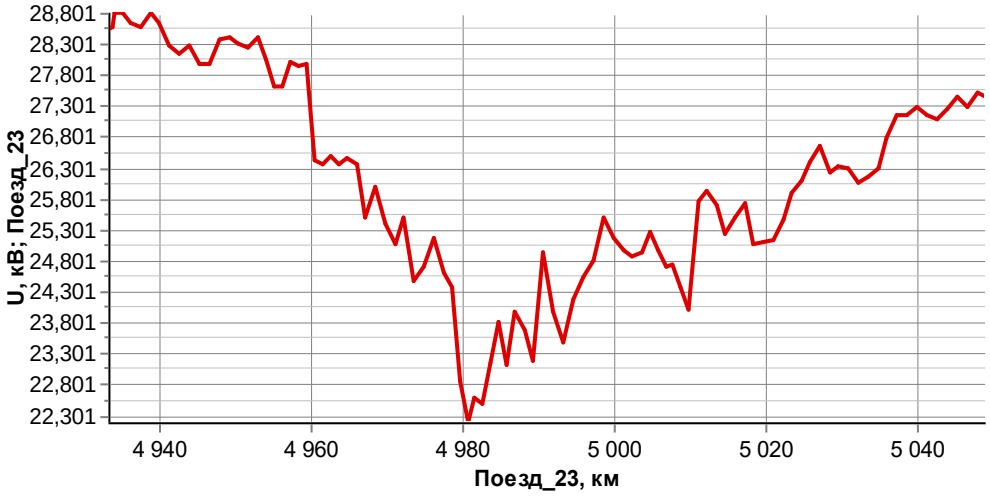

Рис. 3. График зависимости напряжения на токоприемнике локомотива поезда 23 от координаты
Fig. 3. The graph of the dependence of the voltage on the train 23 locomotive current collector on the coordinate

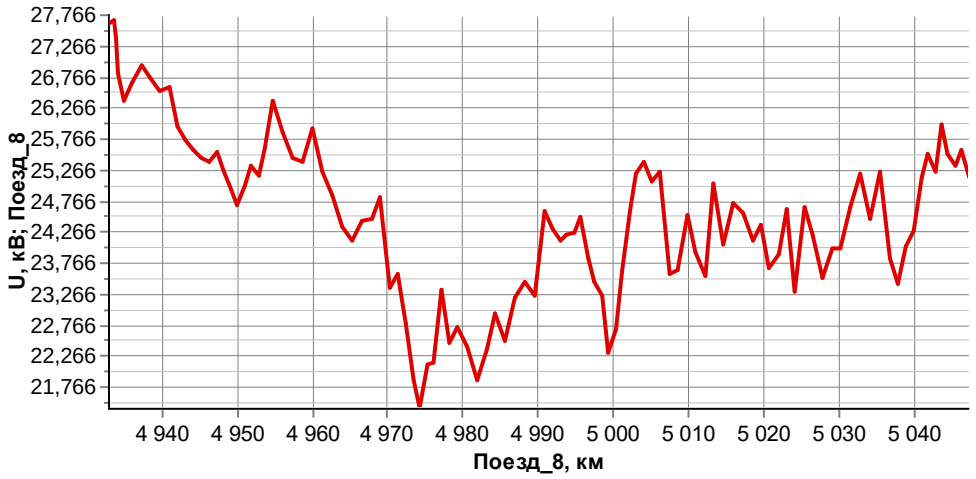

Рис.4. График зависимости напряжения на токоприемнике локомотива поезда 8 от координаты
Fig. 4. The graph of the dependence of the voltage on the train 8 locomotive current collector on the coordinate

 © Е. Ю. Пузина, И. А. Худоногов, 2020

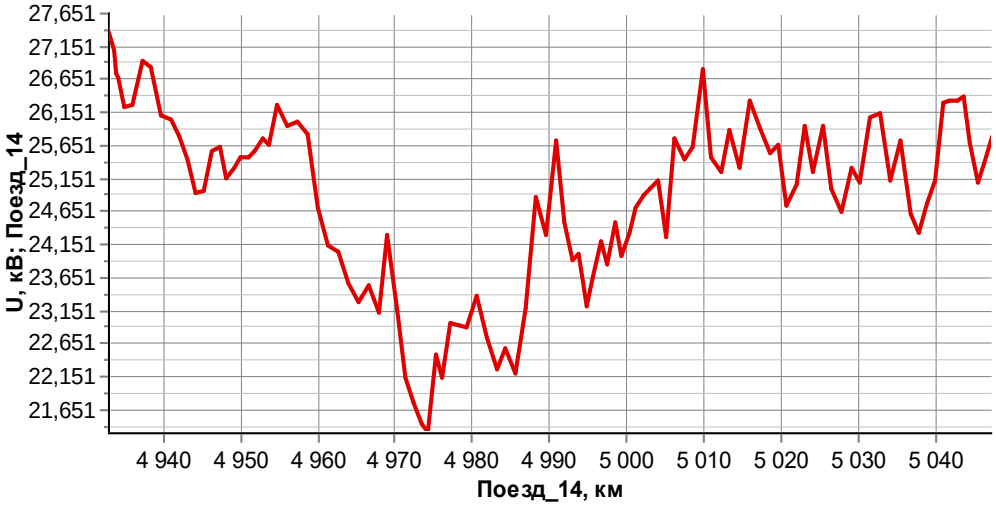

Рис. 5.График зависимости напряжения на токоприемнике локомотива поезда 14 от координаты
Fig. 5. The graph of the dependence of the voltage on the train 14 locomotive current collector of on the coordinate

Полученные результаты говорят том, что уровень напряжения на токоприемнике некоторых поездов близок к минимально допустимому значению. Это приводит к возникновению проблем пропуска пакета поездов 6 300 т с интервалом 8 мин. в режиме минимума системы или ремонтных работ.

Проанализировав результаты, видим, что проблемным является участок Д–З с наименьшим минимальным трехминутным напряжением на токоприемнике локомотива четного поезда 14, составляющим 21,49 кВ, и имеется несимметрия нагрузки по питающим фазам внешнего электроснабжения. Следует отметить, что средний коэффициент несимметрии напряжения обратной последовательности не выходит за пределы, установленные ГОСТ 33073-2014 (2%).

Однако при анализе максимального значения коэффициента несимметрии напряжения обратной последовательности видим, что имеется превышение допустимого значения – 4% (согласно ГОСТ 33073-2014) на участках ВЛ-110 кВ: Д – З – 4,74%; З – Г – 4,37%; ЗЛ – Г – 4,66%; Г – ЗБ – 4,2%; Г – К – 4,2%. При этом на указанных участках наблюдается превышение времени максимально допустимого значения коэффициента несимметрии напряжения обратной последовательности, которое в соответствии с ГОСТ 33073-2014 не должно превышать 0%: 3,4; 1,4; 2,6; 0,3 и 0,3% соответственно.

Меры по повышению минимального напряжения на токоприемниках локомотива

В качестве меры симметрирования нагрузки и, как следствие, возможности повышения напряжения на токоприемнике локомотива, предлагается произвести перефазировку подключения тяговых трансформаторов на тяговых подстанциях З, Д, ЗЛ.

В настоящее время чередование фаз на участке имеет стандартный вид:

1. На тяговой подстанции З выводы обмоток А, В, С высокой стороны трансформатора подключены к фазам ВЛ – 110 кВ внешней энергосистемы С, А, В соответственно (3 тип).
2. На тяговой подстанции Д выводы обмоток А, В, С высокой стороны трансформатора подключены к фазам ВЛ – 110 кВ внешней энергосистемы А, С, В соответственно (2 тип).
3. На тяговой подстанции ЗЛ выводы обмоток А, В, С высокой стороны трансформатора подключены к фазам ВЛ – 110 кВ внешней энергосистемы А, В, С соответственно (1 тип)[8–10].

Межподстанционная зона З – Д питается напряжением «– U_B», межподстанционная зона Д – ЗЛ напряжением «U_A».Исходная схема приведена далее (рис.6).

Предлагается подключить выводы обмоток А, В, С высокой стороны тягового трансформатора на тяговой подстанции З к фазам ВЛ – 110 кВ внешней энергосистемы С, В, А соответственно. Выводы обмоток А, В, С высокой стороны тягового трансформатора на тяговой подстанции Д к фазам ВЛ – 110 кВ внешней энергосистемы В, С, А соответственно. Выводы обмоток А, В, С высокой стороны тягового трансформатора на тяговой подстанции ЗЛ к фазам ВЛ – 110 кВ внешней энергосистемы В, А, С соответственно.

Таким образом, необходимо запитать межподстанционные зоны З – Д напряжением «–U_A»,Д – ЗЛ «U_B» (рис.7).

Результаты перефазировки на тяговых подстанциях З, Д, ЗЛ

Анализ результатов расчета после выполнения предложенного варианта перефазировки (участок ЗЛ – Г) показал следующее:

1. Минимальные трехминутные напряжения на токоприемниках локомотивов нечетных поездов – U_{3min25} = 22,79 кВ; U_{3min15} = 22,99кВ; U_{3min23} = 23,11 кВ; U_{3min21} = 23,2 кВ.

Минимальные трехминутные напряжения на токоприемниках локомотивов четных поездов – U_{3min10} = 21,65 кВ; U_{3min8} = 21,99 кВ; U_{3min4} = 22,14 кВ; U_{3min12} = 22,14 кВ; U_{3min14} = 23,13 кВ.

Далее представлены графики зависимости напряжений на токоприемниках локомотивов нечетных поездов с наименьшими напряжениями после проведения перефазировки (рис. 8,9).

Представлены также графики зависимости напряжений на токоприемниках локомотивов четных поездов с наименьшими показателями после проведения перефазировки (рис. 10, 11).

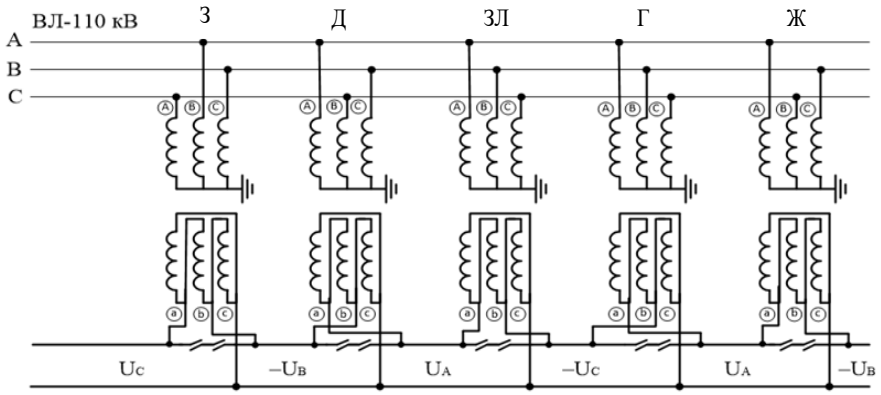

Рис.6. Исходная схема
Fig. 6. Original scheme

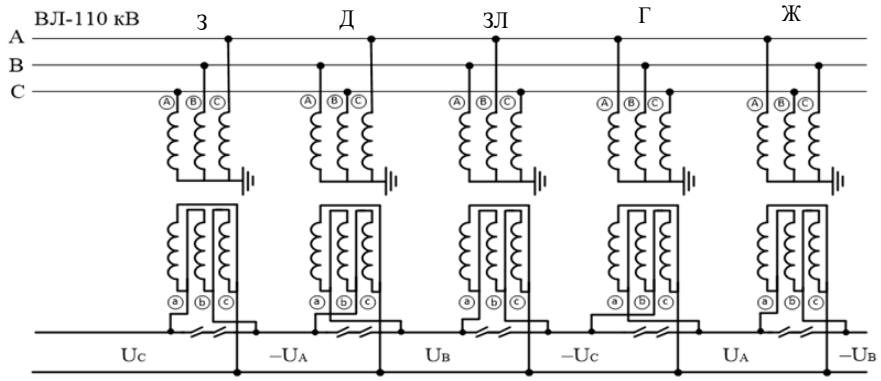

Рис.7. Предлагаемая схема
Fig. 7. Proposed scheme

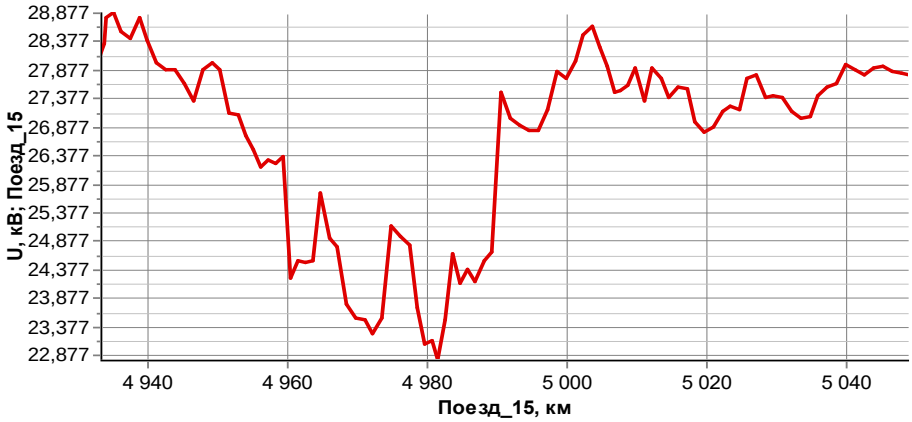

Рис.8.График зависимости напряжения на токоприемнике локомотива поезда 15 от координаты
Fig. 8. The graph of the dependence of the voltage on the train 15 locomotive current collector on the coordinate

 © Е. Ю. Пузина, И. А. Худоногов, 2020

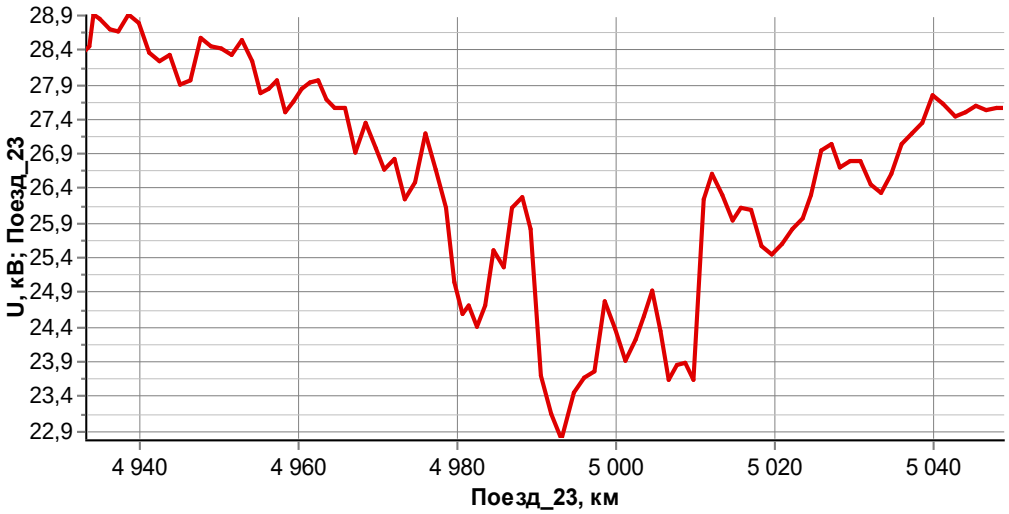

Рис. 9. График зависимости напряжения на токоприемнике локомотива поезда 23 от координаты
Fig. 9. The graph of the dependence of the voltage on the train 23 locomotive current collector on the coordinate

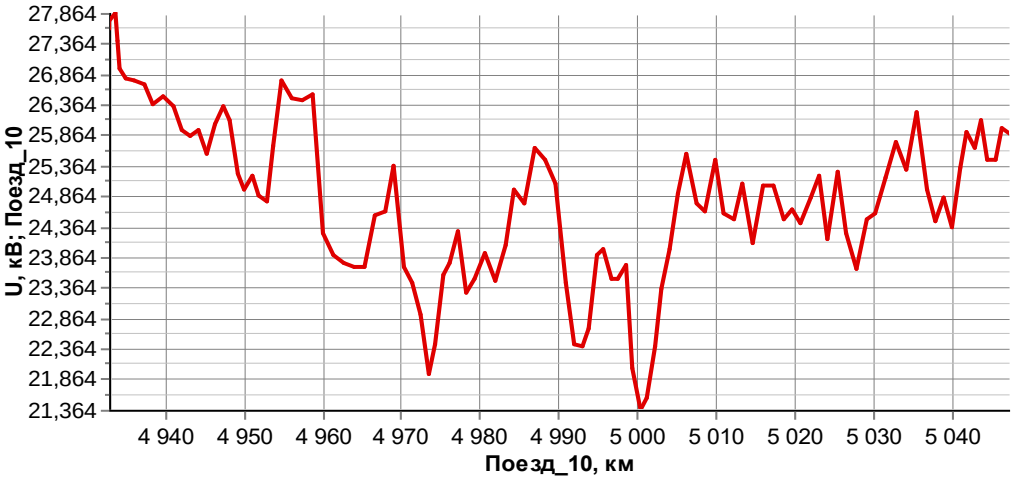

Рис.10.График зависимости напряжения на токоприемнике локомотива поезда 10 от координаты
Fig. 10. The graph of dependence of the voltage on the train 10 locomotive current collector on the coordinate

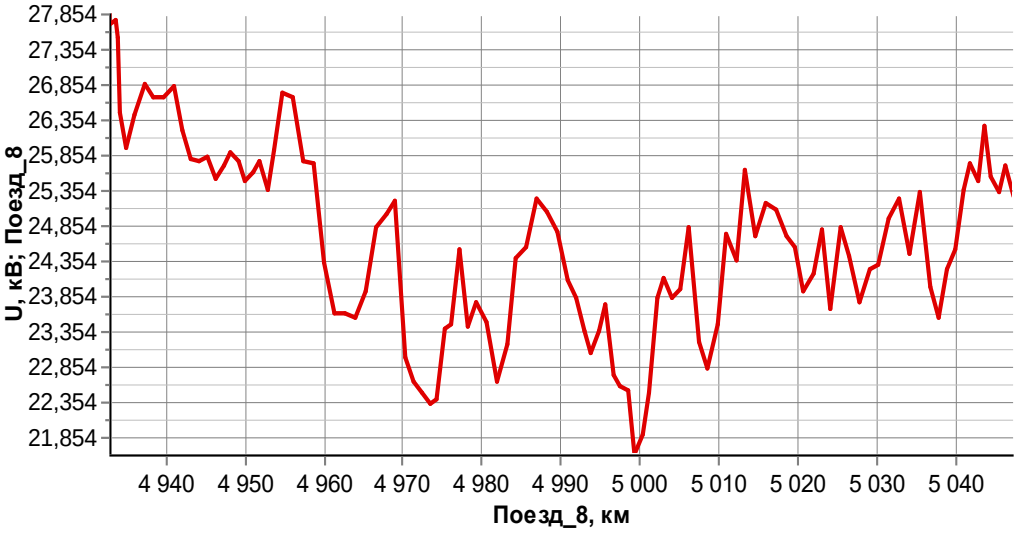

Рис.11. График зависимости напряжения на токоприемнике локомотива поезда 8 от координаты
Fig. 11. The graph of the dependence of the voltage on the train 8 locomotive current collector on the coordinate

Ниже приведены значения показателей системы до и после перефазировки на тяговых подстанциях З, Д, ЗЛ (табл. 2, 3).

Оценка эффективности перефазировки

Анализ результатов расчета после проведения перефазировки на тяговых подстанциях З, Д, ЗЛ показывает, что наименьшим минимальным трехминутным напряжением на токоприемнике локомотива является 21,65 кВ четного поезда 10 на участке ЗЛ – Г. Средний коэффициент несимметрии напряжения обратной последовательности не выходит за пределы 2 %, что установлено ГОСТ 32144-2013.

Максимальное же значение коэффициента несимметрии напряжения обратной последовательности превышает допустимое значение (4%),на одном участке В-110 кВс величиной 4,96 % (Д – ЗР).

Сравнивая полученные результаты расчета, можно сделать вывод о том, что после перефазировки на тяговых подстанциях З, Д, ЗЛ произошло увеличение минимального трехминутного напряжения на токоприемнике локомотива поезда 14 с 21,49 до 23,13 кВ, поезда 12 с 21,7 до 22,14 кВ. При этом наименьшее минимальное напряжение наблюдается на токоприемнике локомотива поезда 10 и равно оно 21,65 кВ на межподстанционной зоне ЗЛ – Г. Оценивая среднее значение коэффициента несимметрии напряжения обратной последовательности, следует отметить, что после проведенияперефазировки его величина уменьшилась в среднем на 0,35%, а время на 12,09%.

До перефазировки из всех участков ВЛ-110 кВ время нормально допустимого значения коэффициента несимметрии, не превышающее нормативное значение (не более 5%), наблюдалось только на двух участках: З – Т, З – Д. После перефазировки количество участков с допустимым значением показателя увеличилось до шести: З – Т, З – Д, Т – ЗЛ, ЗБ – Л, К – Ж, Ж – Л. Значения показателей остальных участков улучшились (соответственно до / после): Д – ЗР 25,1 / 13,7%; ЗР – Г25,7 / 8,6%;ЗЛ – Г28,3 / 10,6 %;Г

Таблица 2.Минимальные напряжения на токоприемниках локомотивов поездов до и после перефазировкина тяговых подстанциях З, Д, ЗЛ
Table 2. Minimum voltages on current collectors of train locomotives before and after rephasing at traction substations З, Д, ЗЛ

Номер поезда	U_{3min}, кВ		ΔU_{3min}, кВ	Межподстанционная зона	
	До	После		До	После
8	21,80	22	0,2	Д–ЗЛ	ЗЛ – Г
10	21,87	21,65	–0,22	Д–ЗЛ	ЗЛ – Г
12	21,70	22,14	0,44	Д–ЗЛ	ЗЛ – Г
14	21,49	23,13	0,64	Д–ЗЛ	ЗЛ – Г
21	22,07	23,2	1,13	Д–ЗЛ	ЗЛ – Г
23	22,43	23,11	0,68	Д–ЗЛ	ЗЛ – Г

Таблица 3.Значения показателей несимметрии системы до и после перефазировки на тяговых подстанциях З, Д, ЗЛ
Table 3. Values of system unbalance indicators before and after rephasing at traction substations З, Д, ЗЛ

Участок воздушной линии (ВЛ)	Среднее значение коэффициента несимметрии напряжения обратной последовательности K_{2umid},%		Время превышения допустимого значения K_{2umid},% T_1, %		Максимальное значение коэффициента несимметрии напряжения обратной последовательности $K_{2u\,max}$,%		Время превышения допустимого значения $K_{2u\,max}$,% T_2, %	
	До	После	До	После	До	После	До	После
З – Т	0,53	0,46	0	0,9	1,38	2,24	0	0
З – Д	0,53	0,46	0	0,9	1,38	2,24	0	0
Д – ЗР	1,48	1,09	25,1	13,7	4,74	4,96	3,4	2,6
ЗР – Г	1,39	0,9	25,7	8,6	4,37	3,71	1,4	0
Т – ЗЛ	1,11	0,75	16	4,6	3,47	3,02	0	0
ЗЛ – Г	1,45	0,96	28,3	10,6	4,66	3,67	2,6	0
Г – ЗБ	1,35	0,86	25,7	6,6	4,2	2,94	0,3	0
ЗБ – Л	0,97	0,62	13,1	0,3	2,78	2,05	0	0
Г – К	1,35	0,86	25,7	6,6	4,2	2,94	0,3	0
К – Ж	1,22	0,77	22,3	2,9	3,59	2,46	0	0
Ж – Л	0,88	0,63	9,7	2,9	2,99	2,61	0	0

 © Е. Ю. Пузина, И. А. Худоногов, 2020

– ЗБ25,7 / 6,6%; Г – К25,7 / 6,6%.

После перефазировки значения максимального коэффициента несимметриинапряжения обратной последовательности на участках ВЛ-110 кВ, где ранее наблюдалось его превышение (ЗР–Г,ЗЛ–Г, Г – ЗБ, Г–К), не превышают нормативное значение 4%. Единственный участок ВЛ-110 кВ –Д – ЗР, на котором превышенпоказатель на 0,96%.

Время превышения максимально допустимогозначениякоэффициента несимметрии обратной последовательности после перефазировки на участкахВЛ-110 кВ, где наблюдалось его превышение (ЗР–Г,ЗЛ–Г, Г–ЗБ, Г–К), равно 0%, при величине показателей до перефазировки, превышающих нормативное значение. На участке ВЛ-110 кВД–ЗР время превышения максимально допустимого значения коэффициента несимметрии обратной последовательности уменьшилось после перефазировки с 3,4до 2,4%.

Таким образом, в результате анализа полученных показателей, приходим к выводу о целесообразности проведения перефазировкина тяговых подстанциях З, Д, ЗЛ,при осуществлении которой запитываем межподстанционную зону З – Д напряжением фазы «–U_A», Д – ЗЛ напряжением фазы «U_B».

Это позволит на всем участке З – Ж снизить количество поездов с напряжением на токоприемнике локомотива ниже 22 кВ с 4 до 1, повысить минимальное напряжение на токоприемнике локомотива первоначально лимитировавшего поезда 14 на 1,64 кВ (с 21,49 до 23,13 кВ), улучшить показатели симметрирования нагрузки питающих линий энергосистемы.

Стоит отметить, что выполнение указанного мероприятия можно организовать в кратчайшие сроки практически без капитальных вложений.

Список литературы

1. 1.Бурков А.Т., Сероносов В.В., Кудряшов Е.В., Степанская О.А. Физические основы проектирования электротяговых сетей высокоскоростных железнодорожных магистралей // Транспорт Российской Федерации. 2015. № 2 (57). С. 36–41.

2. Пузина Е.Ю. Оценка потенциала повышения энергоэффективности системы тягового электроснабжения Абаканской дистанции электроснабжения / Транспорт: наука, образование, производство : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону : Изд-во РГУПС, 2017. С. 149–153.

3. Бурков А.Т., Сероносов В.В., Кудряшов Е.В., Степанская О.А. Физические основы проектирования электротяговых сетей высокоскоростных железнодорожных магистралей // Транспорт Российской Федерации. 2015. № 2 (57). С. 36-41.

4. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation // International Russion Automation Conference RusAutoCon, 2018. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501734.

5. Бурков А.Т., Марикин А.Н. Управление напряжением в контактной сети на скоростных участках // Железнодорожный транспорт. 2006. № 10. С.55-57.

6. Бурков А.Т., Мирсаитов М.М., Сероносов В.В. Анализ электропотребления при высокоскоростном движении электропоезда на заданном участке с различным количеством остановок // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2015. № 3 (59). С. 106–112.

7. Пузина Е.Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Ния – Киренга Восточно-Сибирской железной дороги // Электрификация и развитие инфраструктуры энергообеспечения тяги поездов на железнодорожном транспорте : материалы Шестого Междунар. симпозиума ELTRANS-2011. СПб., 2013. С. 464–468.

8. Wanjun Huang, David J. Hill, Xinran Zhang. Small-Disturbance Voltage Stability of Power Systems: Dependence on Network Structure // Power Systems IEEE Transactions on. 2020. DOI: 10.1109/TPWRS.2019.2962555.

9. Sekhar P.C., Deshpande R. A., Sankar V. Evaluation and improvement of reliability indices of electrical power distribution system // National Power Systems Conference (NPSC). 2016. DOI: 10.1109/NPSC.2016.7858838.

10. Григорьев Н.П., Трофимович П.Н. Повышение эффективности работы системы тягового электроснабжения устройствами продольной компенсации // Изв. высш. учеб. заведений. Электромеханика. 2019. Т. 62. № 3. С. 64–68.

11. Макашева С.И. Оценка синусоидальности кривых напряжения высоковольтной линии автоблокировки // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2019. № 4 (21). С. 88-91.

12. Лундалин А.А., Пузина Е.Ю., Худоногов И.А. Направления развития релейной защиты и автоматики в Российских электрических сетях // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 2 (62). С. 77–85.

13. Анализ надежности электроснабжения транспортных систем в зависимости от состояния устройств релейной защиты и автоматики / А.А. Лундалин, Е.Ю. Пузина, И.А. Худоногов и др. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 3 (63). С. 127–135.

14. Пат. 2552572 Рос. Федерация. Система электроснабжения электрифицированных железных дорог переменного тока 25 кВ / Н.П. Григорьев, А.В. Воприков. № 2014107628/11 ; заявл. 27.02.2014.

15. Пат. 2427484 Рос. Федерация. Система электроснабжения электрифицированных железных дорог переменного тока 25 кВ /Н.П. Григорьев, А.А. Крикун. № 2010119621/11 ; заявл. 17.05.2010.

16. Худоногов И.А., Туйгунова А.Г., Балагура А.А. Статистические данные по диагностике силовых масляных трансформаторов на Восточно-Сибирской железной дороге // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 2 (54). С. 174-179.

17. Пузина Е.Ю., Туйгунова А.Г., Худоногов И.А. Системы мониторинга силовых трансформаторов тяговых подстанций. Иркутск, 2020. 184 с.

18. Khudonogov I.A., Puzina E.Y., Tuigunova A.G. Modeling turn insulation thermal aging process for traction substation transformer // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020. DOI: 10.1109/ICIEAM48468.2020.9112021.

19. Leibfried T. Online Monitors Transformers in Service // IEEE Computer Applications in Power. 1998. July. P. 36–42.

20. Dang Y., ChenW. Design of Oil-Immersed Apparatus Oil Velocity Measure System Based on the Ultrasonic Wave Doppler Effect // *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe*. Palermo, 2018. Pp. 1–4. DOI: 10.1109/EEEIC.2018.8493986.

21. Keyvan Firuzi, Mehdi Vakilian, B. Toan Phung, Trevor R. Blackburn, "Partial Discharges Pattern Recognition of Transformer Defect Model by LBP & HOG Features. Power Delivery IEEE Transactions. 2019. Vol. 34. №. 2. P. 542-550. DOI: 10.1109/TPWRD.2018.2872820.

22. Туйгунова А.Г. Продление срока службы силовых трансформаторов тяговых подстанций на основе контроля технического содержания изоляционной системы с учетом особенностей климата // Политранспортные системы : материалы VI Всерос. науч.-техн. конф. Ч. 2. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2009. С. 291-294.

23. Research on intelligent load transfer strategy based on distribution automation / C. Li, L. Zhang, J. Sheng. et. al. // *China International Conference on Electricity Distribution (CICED).* Xi'an, 2016. P. 13. DOI: 10.1109/CICED.2016.7575910.

24. Research on new traction power system using power flow controller and Vx connection transformer / Xiaozhou Zhu, Minwu Chen, ShaofengXie et. al. // *IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT).* Birmingham. 2016. P. 111–115. DOI: 10.1109/ICIRT.2016.7588719.

25. Захарова М.Ю., Пузина Е.Ю. Особенности проведения энергетического обследования нефтебазовых комплексов // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. Т. 2. Иркутск : Изд-во ИРГТУ, 2014. С. 235–240.

26. Горбунова В.С., Пузина Е.Ю. Эффективность внедрения системы энергетического менеджмента в промышленных компаниях России // Транспортные системы и технологии. 2018. Т. 4. № 1. С. 119–137.

27. Боброва Ю.М., Пузина Е.Ю. Необходимость активизации энергосбережения в России // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. Т. 2. Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2016. С. 142–147.

28. Воинова Д.В., Пузина Е.Ю. Повышение эффективности функционирования энергетических объектов муниципальной инфраструктуры // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. 2016. С. 170–175.

29. Крюков А.В., Куцый А.П., Черепанов А.В. Улучшение качества электроэнергии в сетях 110–220 кВ, питающих тяговые подстанции // Электроэнергетика глазами молодежи – 2017 : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. Самара, 2017. С. 318–321.

References

1. Burkov A.T., Seronosov V.V., Kudryashov E.V., Stepanskaya O.A. Fizicheskie osnovy proektirovaniya elektrotyagovykh setei vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistralei [Physical foundations of design of the electric traction networks of high-speed rail lines] // *Transport Rossiiskoi Federatsii* [*Transport of the Russian Federation*], 2015. No. 2 (57). Pp. 36–41.

2. Puzina E.Yu. Otsenka potentsiala povysheniya energoeffektivnosti sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya Abakanskoi distantsii elektrosnabzheniya [Assessment of the potential for improving energy efficiency of the traction power supply system of the Abakan power supply distance]. *Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo: sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [*Transport: science, education, production: collection of scientific papers of the International scientific and practical conference*]. Rostov-on-don: RSUPS Publ., 2017. Pp. 149–153.

3. Burkov A.T., Seronosov V.V., Kudryashov E.V., Stepanskaya O.A. Fizicheskie osnovy proektirovaniya elektrotyagovykh setei vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistralei [Physical foundations of desigh of the electric traction networks of high-speed rail lines] // *Transport Rossiiskoi Federatsii* [*Transport of the Russian Federation*], 2015. No2 (57). Pp. 36-41.

4. Cherepanov A., Kutsyi A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation // *International Russion Automation Conference, RusAutoCon*, 2018. 8501734.

5. Burkov A.T., Marikin A.N. Upravlenie napryazheniem v kontaktnoi seti na skorostnykh uchastkakh [Voltage control in the contact network at high-speed sections] // *Zheleznodorozhnyi transport* [*Railway transport*], 2006. No. 10.

6. Burkov A.T., Mirsaitov M.M., Seronosov V.V. Analiz elektropotrebleniya pri vysokoskorostnom dvizhenii elektropoezda na zadannom uchastke s razlichnym kolichestvom ostanovok [Power consumption analysis at high speed movement of electric trains on a given site with different number of stops] // *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [*Bulletin of the Rostov State Transport University*], 2015. No. 3 (59). Pp. 106–112.

7. Puzina E.Yu. Usilenie sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya uchastka Niya – Kirenga Vostochno-Sibirskoi zheleznoi dorogi [Strengthening the systems of the traction power supply of the section of Nia-KirengaVSZHD]. *Elektrifikatsiya i razvitie infrastruktury energoobespecheniya tyagi poezdov na zheleznodorozhnom transporte: materialy Shestogo Mezhdunarodnogo simpoziuma ELTRANS-2011* [*Electrification and development of infrastructure for power supply of railway traction trains: Proceedings of the Sixth international Symposium ELTRANS-2011*], 2013. Pp. 464–468.

8. Huang W., Hill D. J., Zhang X. Small-Disturbance Voltage Stability of Power Systems: Dependence on Network Structure. *Power Systems IEEE Transactions on*, vol. 35, no. 4, pp. 2609-2618, 2020.

9. Sekhar P. C., Deshpande R. A., Sankar V. Evaluation and improvement of reliability indices of electrical power distribution system. 2016 *National Power Systems Conference (NPSC).* Bhubaneswar, pp. 1-6, 2016.

 © Е. Ю. Пузина, И. А. Худоногов, 2020

10. Grigoriev N.P., Trofimovich P.N. Povyshenie effektivnosti raboty sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya ustroistvami prodol'noi kompensatsii [Improving the efficiency of the traction power supply system with longitudinal compensation devices] // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Elektromekhanika* [*News of higher educational institutions. Electromechanics*], 2019. Vol. 62. No. 3. Pp. 64–68.

11. Makasheva S.I. Otsenka sinusoidal'nosti krivykh napryazheniya vysokovol'tnoi linii avtoblokirovki [Evaluation of the sinusoidality of the voltage curve of high-voltage autoblocking lines] // *Transport Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona* [*Transport of the Asia-Pasific region*], 2019. No. 4 (21). Pp. 88-91.

12. Lundalin A.A., Puzina E.Yu., Khudonogov I.A. Napravleniya razvitiya releinoi zashchity i avtomatiki v Rossiiskikh elektricheskikh setyakh [Growth areas of relay protection and automation in Russian electrical networks] // *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [*Modern Technologies. System Analysis. Modeling*], 2019. No. 2(62). Pp. 77–85.

13. Lundalin A.A., Puzina E.Yu., Khudonogov I.A., Kashkovskii V.V. Analiz nadezhnosti elektrosnabzheniya transportnykh sistem v zavisimosti ot sostoyaniya ustroistv releinoi zashchity i avtomatiki [The analysis of reliability of power supply of transport systems, depending on the condition of devices of relay protection and automation] // *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [*Modern Technologies. System Analysis. Modeling*], 2019. No. 3(63).Pp. 127–135.

14. Grigor'ev N.P., Voprikov A.V. *Sistema elektrosnabzheniya elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog peremennogo toka 25 kV* [*The power supply system of the AC 25 kV electrified railways*]. Patent for invention RU 2552572 C1, 10.06.2015. Application no. 2014107628/11 from February 27, 2014.

15. Grigor'ev N.P., Krikun A.A. *Sistema elektrosnabzheniya elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog peremennogo toka 25 kV* [*The power supply system of the AC 25 kV electrified railways*]. Patent for invention RU 2427484 C1, 27.08.2011. Application no. 2010119621/11 from May 17, 2010.

16. Khudonogov I.A., Tuigunova A.G., Balagura A.A. Statisticheskie dannye po diagnostike silovykh maslyanykh transformatorov na Vostochno-Sibirskoi zheleznoi doroge [Statistical data on oil power transformers diagnostics at the East Siberian railroad] // *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [*Advanced technologies. Systems analysis. Modeling*], 2017. No. 2 (54). Pp. 174-179.

17. Puzina E.Yu., Tuigunova A.G., Khudonogov I.A. Sistemy monitoringa silovykh transformatorov tyagovykh podstantsii [Monitoring systems for power transformers of traction substations]. Irkutsk, 2020. 184 p.

18. Khudonogov I.A., Puzina E.Y., Tuigunova A.G. Modeling turn insulation thermal aging process for traction substation transformer. *2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020*. 2020. 9112021.

19. Leibfried T. Online Monitors Transformers in Service. *IEEE Computer Applications in Power*, July 1998. Pp. 36–42.

20. Dang Y., Chen W. Design of Oil-Immersed Apparatus Oil Velocity Measure System Based on the Ultrasonic Wave Doppler Effect", *2018. IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, Palermo, 2018.Pp. 1–4.

21. Firuzi K., Vakilian M., Toan Phung B., Blackburn T. R. Partial Discharges Pattern Recognition of Transformer Defect Model by LBP & HOG Features. *Power Delivery IEEE Transactions on*, vol. 34, no. 2. pp. 542-550, 2019.

22. Tuigunova A.G. Prodlenie sroka sluzhby silovykh transformatorov tyagovykh podstantsii na osnove kontrolya tekhnicheskogo soderzhaniya izolyatsionnoi sistemy s uchetom osobennostei klimata [Extension of the service life of power transformers of traction substations based on control of the technical content of the insulation system, taking into account the climatic characteristics] // *Politransportnye sistemy. Materialy VI Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii 21–23 apr. 2009 g.: V 2-kh ch.* [*Polytransport systems. Proceedings of the VI All-Russian Science and Technology Conference April 21–23. 2009: In 2 parts*]. Novosibirsk: SGUPS Publ., 2009. Part 2. Pp. 291-294.

23. Li C., Zhang L., Sheng J. and Chen D. Research on intelligent load transfer strategy based on distribution automation. *2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*, Xi'an, pp.13, 2016.

24. Zhu X., Chen M., Xie S. and Luo J. Research on new traction power system using power flow controller and Vx connection transformer, 2*016. IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT)*, Birmingham, 2016. Pp. 111–115.

25. Zakharova M.Yu., Puzina E.Yu. Osobennosti provedeniya energeticheskogo obsledovaniya neftebazovykh kompleksov [Features of the energy survey of oil storage facilities]. *Povyshenie effektivnosti proizvodstva i ispol'zovaniya energii v usloviyakh Sibiri: Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Irkutsk, 22–26 aprelya 2014 g.): pod obshchei redaktsiei V.V. Fedchishina*. [*Improving the efficiency of energy production and use in Siberia: Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation (Irkutsk, April 22–26, 2014). In Fedchishin V.V. (gen. ed.)*]. Irkutsk: Irkutsk State Technical University Publ., 2014. Vol. 2. Pp. 235–240.

26. Gorbunova V.S., Puzina E.Yu. Effektivnost' vnedreniya sistemy energeticheskogo menedzhmenta v promyshlennykh kompaniyakh Rossii [Efficiency of introduction of the energy management system implementation in Russian industrial companies] // *Transportnye sistemy i tekhnologii* [*Transport systems and technologies*], 2018. Vol. 4. No. 1. Pp. 119–137.

27. Bobrova Yu.M., Puzina E.Yu. Neobkhodimost' aktivizatsii energosberezheniya v Rossii [The need to intensify energy conservation in Russia]. *Povyshenie effektivnosti proizvodstva i ispol'zovaniya energii v usloviyakh Sibiri: Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Irkutsk, 19–22 aprelya, 2016 g.): v 2 t. Pod obshch. red. V.V. Fedchishina.* [*Increasing the efficiency of energy production and use in Siberia: Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation (Irkutsk, April 19–22, 2016): in 2 vols. In Fedchishin V.V. (gen. ed.)* Irkutsk: IRNITU Publ., 2016. Vol.2. Pp.142–147.

28. Voinova D.V., Puzina E.Yu. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya energeticheskikh ob"ektov munitsipal'noi infrastruktury [Improving the efficiency of functioning of energy facilities of municipal infrastructure]. *Povyshenie effektivnosti*

proizvodstva i ispol'zovaniya energii v usloviyakh Sibiri. Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [*Increasing the efficiency of energy production and use in Siberia: Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation*], 2016. Pp.170–175.

29. Kryukov A.V., Kutsyi A.P., Cherepanov A.V. Uluchshenie kachestva elektroenergii v setyakh 110–220 kV, pitayushchikh tyagovye podstantsii [Improving the quality of electricity in 110–220 kV networks feeding traction substations]. *Elektroenergetika glazami molodezhi – 2017: Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [*Electric power industry through the eyes of youth-2017: Materials of the VIII International scientific and technical conference*], 2017. Pp. 318–321.

Информация об авторах

Пузина Елена Юрьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, доцент кафедры электроснабжения и электротехники, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: lena-rus05@mail.ru

Худоногов Игорь Анатольевич – д-р техн. наук, профессор кафедры электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: hudonogovi@mail.ru

Information about the authors

Elena Yu. Puzina – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: lena-rus05@mail.ru

Igor' A. Khudonogov – Doctor of Engineering Science, Professor at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Hudonogovi@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.4(68).114-120 **УДК** 625.151

Электрогидравлическая система обеспечения теплового режима стрелочных переводов железнодорожных путей

Д. В. Герцик[1], **О. Л. Маломыжев**[2], **А. Г. Семенов**[3], **Ю. А. Ходырев**[2]✉, **Д. О. Маломыжев**[2]

[1] *Октябрьская железная дорога (Зеленогорская дистанция пути), г. Зеленогорск, Российская Федерация*
[2] *Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*
[3] *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*
✉ hod1959@mail.ru

Резюме

Стрелочные переводы железнодорожных путей подвержены атмосферным воздействиям особенно в зимний период. Между их подвижными частями может скапливаться конденсат, снег, лед, что вызывает нарушение работоспособности стрелок. Сбои в работе стрелочных переводов связаны с безопасностью движения железнодорожного транспорта. Обеспечение безотказной работы стрелок реализуется двумя способами – очистка от атмосферных осадков и обеспечение заданного теплового режима, препятствующего образованию снега и льда. Первый способ связан с временными затратами на очистку и вызывает нарушение графика движения поездов. Второй способ требует наличия дополнительных источников энергии для его реализации, но при этом не будет влиять на режим движения подвижного состава. В статье предложен новый способ защиты стрелочных переводов от снега и льда, основанный на обеспечении требуемого теплового режима, полностью исключающий необходимость прекращения движения поездов на период очитки стрелок. Применение предложенного способа наиболее рационально для путевых хозяйств в северных и приравненных к ним регионах России. Устройство обогрева, созданное на основе предложенного способа, апробировано на ответственных участках стрелочных переводов Зеленогорской дистанции пути Октябрьской железной дороги (Санкт-Петербург и Ленинградская область). Предложенный способ обеспечения работоспособности стрелочных переводов защищен патентом РФ.

Ключевые слова

железная дорога, стрелочный перевод, очистка от снега и льда, электрическая система обогрева, гидравлическая система обогрева, автоматическая система обеспечения теплового режима

Для цитирования

Герцик Д. В. Электрогидравлическая система обеспечения теплового режима стрелочных переводов железнодорожных путей / Д. В. Герцик, О. Л. Маломыжев, А. Г. Семенов, Ю. А. Ходырев, Д. О. Маломыжев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. –№ 4 (68). – С. 114–120. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).114-120

Информация о статье

поступила в редакцию: 03.10.2020, поступила после рецензирования: 18.10.2020, принята к публикации: 04.11.2020

The electrohydraulic system for ensuring the thermal regime of railway switches

 © Д. В. Герцик, О. Л. Маломыжев, А. Г. Семенов, Ю. А. Ходырев, Д. О. Маломыжев, 2020