



ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Научная статья

УДК 621.316.13:625.141

DOI: 10.21780/2223-9731-2022-81-1-16-22



ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ БАЛЛАСТА ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТЕНЦИАЛА РЕЛЬС — ЗЕМЛЯ НА УЧАСТКАХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ, ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

А. А. Крылов, И. А. Ребров ✉, А. В. Рудашевская,
Р. А. Рудашевский, Е. Д. Харьковская

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Целью работы является оценка изменения переходного сопротивления верхнего строения пути при переходе с балластной конструкции пути на безбалластную. Эти изменения оказывают влияние на возникающую разность потенциалов рельс — земля и касаются работы обратной тяговой сети, протекания обратного тягового тока устройств железнодорожной автоматики, обеспечения необходимого уровня электробезопасности эксплуатационного персонала.

Материалы и методы. Авторами использованы как аналитический метод по определению разности потенциалов рельс — земля, так и практический метод на основе проведенных экспериментов по замерам переходного сопротивления железнодорожного полотна. Экспериментальные исследования проводились на участке Розенгартовка — Бойцово — Бикин Дальневосточной железной дороги, который представляет собой участок с тяжеловесным грузовым движением и увеличенным в результате реконструкции верхнего строения пути электрическим сопротивлением путевого балласта.

Результаты. В ходе исследований определены основные критерии возникновения разности потенциалов рельс — земля в работе обратной тяговой сети 2×25 и 25 кВ систем однофазного переменного тока промышленной частоты 50 Гц в зависимости от местоположения исследуемого участка относительно тяговых подстанций, климатических и геологических факторов, грузонапряженности.

Обсуждение и заключение. Полученные результаты помогут повысить точность определения разности потенциалов рельс — земля в зависимости от указанных факторов, а также от типа верхнего строения пути, его характеристик, электрической схемы питающей сети.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железнодорожный путь, верхнее строение, безбалластная конструкция пути, тяговое электроснабжение, разность потенциалов рельс — земля, рельсовая цепь, обратная тяговая сеть, устройства автоматики и телемеханики

Благодарности: авторы выражают благодарность рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

Для цитирования: Крылов А. А., Ребров И. А., Рудашевская А. В., Рудашевский Р. А., Харьковская Е. Д. Влияние переходного сопротивления балласта верхнего строения пути на величину потенциала рельс — земля на участках железных дорог, электрифицированных на переменном токе // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2022. Т. 81, № 1. С. 16–22. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-1-16-22>.

✉ rebrov.ilya@vniizht.ru (И. А. Ребров)

© Крылов А. А., Ребров И. А., Рудашевская А. В.,
Рудашевский Р. А., Харьковская Е. Д., 2022



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 621.316.13:625.141

DOI: 10.21780/2223-9731-2022-81-1-16-22



TRANSITION RESISTANCE INFLUENCE OF THE UPPER STRUCTURE TRACK BALLAST ON THE RAIL-TO-EARTH POTENTIAL AT AC RAILWAY SECTIONS

Anton A. Krylov, Il'ya A. Rebrov ✉, Anna V. Rudashevskaya,
Roman A. Rudashevskiy, Elena D. Khar'kovskaya

Railway Research Institute (VNIIZhT),
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The purpose of the research is to evaluate transition resistance modifications of the upper structure track in passing from the ballast to the ballastless track. These modifications effect the rail-to-earth potential difference. Moreover, they refer to the reverse traction system, to the reverse traction current of railway automation devices and to the required level of electrical safety guarantee.

Materials and methods. The authors used both the analytical method of the rail-to-earth potential testing and the practical one based on experimental studies of the rail track transition resistance measurements. The authors carried out experiments on the Rozengartovka – Boitsovo – Bikin section of the Far Eastern Railway. This section includes the heavy freight traffic with the increased electric resistance of the track ballast by the upper structure redevelopment.

Results. The research defines the main criteria of the rail-to-earth potential considering the 2×25 and 25 kV reverse traction of monophasic AC systems with the 50 Hz frequency and depending on the experimental area location in terms of traction substations, on the climate and geological factors and on the freight traffic density.

Discussion and conclusion. The obtained results will improve the accuracy of the rail-to-earth potential difference considering not only indicated factors, but also the upper structure type, track features and a feed line scheme for contact wire.

KEYWORDS: railway track, upper structure, ballastless track, traction power supply, rail-to-earth potential difference, track circuit, reverse traction network, automation and telemechanics devices

Acknowledgments: The authors express their gratitude to the reviewers for their constructive comments, improving the quality of the article.

For citation: Krylov A. A., Rebrov I. A., Rudashevskaya A. V., Rudashevskiy R. A., Khar'kovskaya E. D. Transition resistance influence of the upper structure track ballast on the rail-to-earth potential at AC railway sections. *Russian Railway Science Journal*. 2022;81(1):16–22. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-1-16-22>.

✉ rebrov.ilya@vniizht.ru (I. A. Rebrov)

Введение. В настоящее время в связи с повышением грузонапряженности железных дорог, увеличением весовых норм, объема перевозимых грузов, преимущественно к портам Дальнего Востока, увеличения осевой нагрузки на железнодорожный путь за счет использования инновационного вагонного парка в ОАО «РЖД» актуальным является вопрос влияния указанных факторов на текущее состояние верхнего строения железнодорожного пути (далее — ВСП), проведения его модернизации и реконструкции [1]. В ОАО «РЖД» разрабатываются и применяются различные инновационные технические и технологические решения по содержанию ВСП, типы конструкций рельсошпальных решеток, а также способы их адаптации к возрастающим нагрузкам. На сегодняшний день Центральной дирекцией по ремонту пути при проведении капитальных ремонтов ВСП используются инновационные технологические решения, например применение безбалластного пути, пенополистирола, пеноплекса и геотекстиля, укрепление балластной призмы различного вида полимерами и т. п. Помимо улучшения механических свойств ВСП происходит существенное изменение электрических параметров рельсовых цепей, таких как электрическое и переходное сопротивление балласта ВСП. Причиной являются изменения пути протекания обратного тягового тока в работе системы тягового электроснабжения (далее — СТЭ), при этом необходимо учитывать, что режим работы обратной тяговой сети напрямую оказывает влияние на работоспособность устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (далее — ЖАТ) [2]. При ненормативном изменении вышеуказанных параметров возникает аварийный режим работы обратной тяговой сети, который приводит к асимметрии обратного тягового тока, появлению мест нагрева в местах установки электрических соединителей рельсовых цепей, выходу из строя путевых дроссель-трансформаторов, нарушению показаний и сбою кодов автоматической локомотивной сигнализации, перекрытию светофоров ЖАТ в пути следования подвижного состава [3, 4]. В результате этого возникают случаи применения экстренных торможений подвижного состава, выхода из строя устройств ЖАТ, увеличиваются задержки поездов, что, в свою очередь, негативно влияет на обеспечение безопасности движения поездов на сети железных дорог. Таким образом, область изучения вопроса изменения электрического и переходного сопротивления балласта ВСП лежит на стыке нескольких хозяйств.

Проведение теоретических и экспериментальных исследований позволит достоверно оценить влияние типа шпал, рельсовых скреплений, накладок, балласта и земляного полотна, входящих в ВСП, на электрические параметры рельсовых цепей, что, в свою

очередь, позволит повысить точность проведения электрических расчетов СТЭ, определения степени влияния на работу устройств ЖАТ по условиям электромагнитной совместимости и обеспечит нормированный уровень электробезопасности эксплуатационного персонала.

В настоящее время при выполнении электрических расчетов СТЭ [5] сопротивление рельсовых цепей принимается без учета удельной проводимости земли, типа шпал, балласта и земляного полотна. Между тем эти параметры для различных регионов РФ в зависимости от климатических и геологических особенностей расположения и различного типа ВСП могут существенно отличаться. Так, при изменении удельной проводимости земли в диапазоне $5 \cdot 10^{-14} \dots 10^{-11}$ ед. $CGSm_0$ реактивное сопротивление рельсовой нити Р65 уменьшается в 1,3 раза. Еще большее влияние на электрические параметры железнодорожного полотна оказывает наличие пеноплекса и геотекстиля на участках бесстыкового железнодорожного пути, которое приводит к существенному увеличению переходного сопротивления рельс — земля.

Экспериментальные исследования переходного сопротивления ВСП и определение потенциала рельс — земля на Дальневосточной железной дороге. Целью экспериментального исследования на участке Розенгартовка — Бойцово — Бикин Дальневосточной железной дороги было определение причины повышенного потенциала рельсовой цепи, выявление последствий воздействия высокого потенциала рельс — земля на устройства тягового электроснабжения, ЖАТ для участка, электрифицированного по системе тягового электроснабжения однофазного переменного тока 25 кВ промышленной частоты 50 Гц. Исследование было выполнено в 2017 г. при участии сотрудников научного центра «Электрификация и теплоэнергетика» (далее — ЦЭТ).

Было выявлено, что потенциал рельсовой цепи относительно удаленной земли существенно повышается (см. рис. 1) каждый раз при приближении грузовых поездов к ст. Бойцово. При этом разность потенциалов рельс — земля повышалась до значений 1000–1200 В.

Исследование и оценка причин возникновения нештатных ситуаций в работе обратной тяговой сети в системном взаимодействии с рельсовыми цепями, а также изучение существующих технических решений, направленных на снижение или исключение рисков возникновения критических ситуаций в работе канализации обратного тягового тока (отечественного и зарубежного производства), позволят усовершенствовать имитационную (математическую) модель СТЭ для изучения возможного влияния применяемых схем питания и секционирования на распределение обратного тягового тока

в рельсовой цепи. В результате будут определены технические меры по электробезопасности при производстве работ эксплуатирующими организациями и мероприятия для исключения влияния разности потенциалов между рельсом и землей, возникающей при работе системы тягового электроснабжения, на функционирование объектов обратной тяговой сети. Это должно способствовать полному исключению рисков ОАО «РЖД», которые потенциально могут возникнуть на участках железных дорог с повышенным сопротивлением балласта и(или) земляного полотна из-за нарушений нормальной работы объектов обратной тяговой сети вследствие влияния разности потенциалов между рельсом и землей, возникающей при работе СТЭ.

Проведенные измерения подтвердили:

1) промерзание грунта при изначально повышенном переходном сопротивлении рельс — земля, обусловленном, в свою очередь, проведенным в 2016 г. капитальным ремонтом по четному пути (с применением пенополистирола), значительно снижает протекание обратного тягового тока от ст. Бойцово к тяговой подстанции Розенгартовка по четному пути;

2) уменьшение интервала попутного следования тяжеловесных поездов существенно увеличивает потенциал рельсовой цепи за счет сложения в рельсах обратных тяговых токов от смежно идущих поездов.

Полученные данные могут оказать существенное влияние на результаты электрических расчетов СТЭ, результаты определения пропускной способности [6], расхода и потерь электрической энергии при проектировании и реконструкции электрифицированных участков. Вследствие этого разработка методических рекомендаций, содержащих сведения об электрических параметрах железнодорожного полотна при различных типах рельсов и его конструкции и условиях эксплуатации в разных регионах РФ, является актуальной задачей.

Аналитический расчет потенциала рельс — земля.

Рассмотрим определение потенциала рельс — земля на примере работы системы тягового электроснабжения 2×25 кВ [7] для участков с безбалластным верхним строением пути и заземлением опор, объединенных тросом группового заземления.

Напряжение потенциала рельс — земля определяется по следующей формуле [8]:

$$U_3 = \left(1 - \frac{z_{к.р}}{z_p}\right) \left[z_{вр} \left(2I_{ATi} \left(e^{-\gamma|e_{ATi}-x|} - e^{-\gamma x} \right) \right) + z_{вх.р} I_{кз} \left(e^{-\gamma|e_{ATi}-x|} - e^{-\lambda x} \right) \right],$$

где $z_{к.р}$ — удельное сопротивление взаимной индукции между контурами контактная сеть — рельсы, Ом/км;

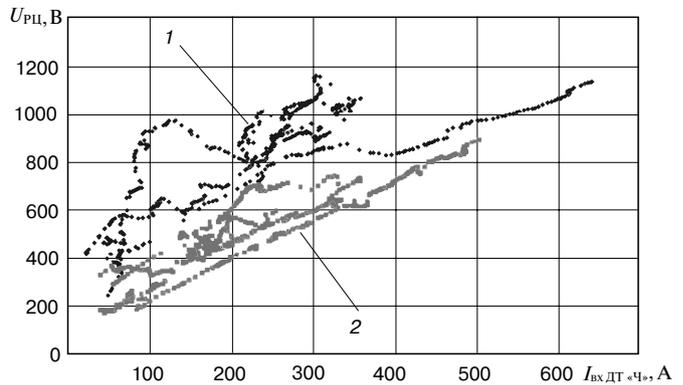


Рис. 1. График зависимости потенциала рельсовых цепей (междупутной перемычки) $U_{рц}$ от суммарного тока в полуобмотках тягового двигателя входного светофора «Ч» (со стороны перегона): 1 — без контура заземления; 2 — с контуром заземления

Fig. 1. Graph of the dependence of the track circuits potential (intertrack-rail jumper) $U_{рц}$ on the total current in the half-windings of the traction motor of the input traffic light “Ч” (from the side of the stage): 1 — without earth loop; 2 — with earth loop

z_p — сопротивление рельсов, Ом; $z_{вр}$ — волновое сопротивление рельсового пути, Ом; I_{ATi} — величина тока, протекающего через автотрансформатор, А; γ — коэффициент распространения рельсового пути, км⁻¹; x — расстояние от места подключения искусственного заземлителя к рельсовому пути, км; $z_{вх.р}$ — входное сопротивление рельсов, Ом; $I_{кз}$ — величина тока в точке короткого замыкания, А.

На величину напряжения потенциала рельс — земля влияют ряд случайных величин, например место короткого замыкания, мощность питающей системы. На рис. 2 приведены значения расчета потенциала рельсов относительно удаленной земли с учетом зависимостей сопротивления автотрансформатора и сопротивления фундаментов опор, а также переходного сопротивления рельс — земля для тяговой сети типа ПБСМ1-70 + МФ-100 + А-185 с рельсами Р65 на железобетонных шпалах при подключении к рельсам искусственного заземлителя и осуществлении двустороннего питания посредством двух однофазных трансформаторов, расположенных на каждой подстанции [9].

В соответствии с полученными графическими зависимостями потенциала рельс — земля можно сделать вывод, что данные напряжения имеют точку максимума в месте короткого замыкания для каждого автотрансформаторного участка. Увеличение количества автотрансформаторов приводит к значительному снижению максимальных значений напряжения рельс — земля. По мере увеличения расстояния между тяговой подстанцией и рассматриваемым участком величина максимального напряжения незначительно снижается. Следует отметить, что характер изменения

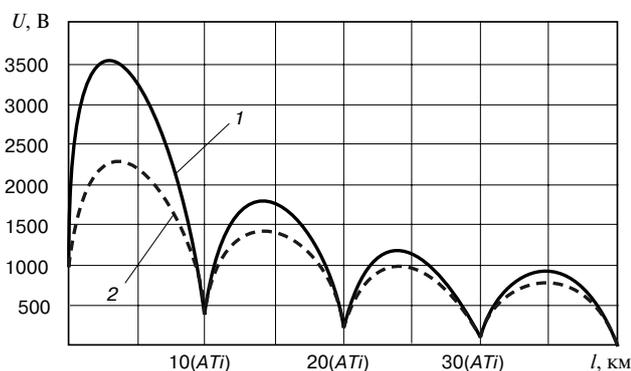


Рис. 2. Результаты расчетов напряжения рельс — земля СТЭ 2×25 кВ при переходном сопротивлении $r_n = 4 \text{ Ом}\cdot\text{км}$:
 1 — сопротивление на автотрансформаторе 4,0 Ом;
 2 — сопротивление на автотрансформаторе 4,5 Ом

Fig. 2. Calculation results of the rail-to-earth voltage of the 2×25 kV traction power supply system with $r_n = 4 \text{ Ohm}\cdot\text{km}$ transition resistance:
 1 — resistance of the 4.0 Ohm autotransformer;
 2 — resistance of the 4.5 Ohm autotransformer

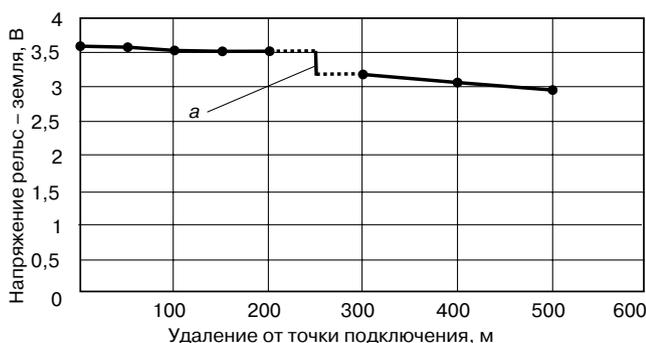


Рис. 3. График изменения напряжения рельс — земля в зависимости от удаления от точки подключения при величине тока 10 А:
 а — изменение потенциала в связи с электромагнитной помехой
 Fig. 3. Graph of the rail-to-earth voltage change depending on the distance from the connection point at the 10 A current:
 а — potential change due to electromagnetic interference

Результаты замеров сопротивлений на контрольных участках Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ»
Results of resistance measurements in the control sections of JSC “VNIIZhT” Test Loop

Характеристика участка пути	Измеренное сопротивление, Ом	Переходное сопротивление балласта ВСП, Ом/км
Участок с безбалластным ВСП	21	11
Участок с балластным ВСП	19	10

напряжения рельс — земля в точке подключения обмотки автотрансформатора к средней точке ближайшего путевого дроссель-трансформатора зависит от его удаленности от тяговой подстанции.

Результаты измерений потенциала рельса на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ». С целью фактического определения величины переходного сопротивления рельс — земля при различных конструкциях ВСП и степени влияния разности потенциалов рельс — земля 17 сентября 2021 г. были проведены опытные замеры на следующих участках Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ», электрифицированных по системе однофазного переменного тока 25 кВ промышленной частоты 50 Гц:

- участок 3-го км 2-го кольцевого пути с безбалластными конструкциями длиной порядка 550 м;
- участок 5-го км 2-го кольцевого пути с балластной щебеночной призмой длиной порядка 500 м.

Общая длина 2-го кольцевого пути Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ» составляет 5700 м.

На рис. 3 показан полученный график распределения потенциала рельса относительно удаленной земли.

Необходимо отметить, что на представленном графике наблюдается скачкообразное изменение потенциала рельса относительно земли. Предположительно, данное изменение связано с изменением электромагнитных условий в зоне проведения измерений, вызванным режимами работы электроподвижного состава на соседнем пути и снижением напряжения помехи.

Согласно экспериментально полученным данным, снижение потенциала рельса относительно удаленной земли на каждые 100 м пути по мере удаления от точки втекания тока в рельс составило $2 \div 4 \%$. Электрическое и переходное сопротивление балласта ВСП в точке втекания тока составило 0,36 Ом, что дает величину распределенного переходного сопротивления $7 \div 8 \text{ Ом/км}$ в пересчете на общую длину рельсового пути.

Были произведены аналогичные замеры для каждого из контрольных участков, которые поочередно электрически изолировали от других участков 2-го кольцевого пути Экспериментального кольца следующим образом. На первом участке с установленными безбалластными конструкциями железнодорожного пути были демонтированы стыки с обеих сторон, после чего был произведен замер. Далее на данном участке стыки были восстановлены. Затем проводился демонтаж стыков второго участка с балластной щебеночной призмой, после чего на данном участке был произведен замер (см. таблицу).

Как следует из опытных данных, переходное сопротивление балласта ВСП контрольного участка значительно больше сопротивления электрически соединенных рельсовых цепей 2-го и 3-го кольцевого пути в связи с тем, что их длина более чем в 20 раз превышает длину контрольных участков. Следовательно, замеряемое сопротивление на стыках контрольного участка и соседних путей можно принять

как переходное сопротивление балласта ВСП контрольного участка.

Заключение. 1. Проведенные замеры на участке Розенгартовка—Бойцово—Бикин Дальневосточной железной дороги показывают снижение потенциала рельс—земля на 30–40% за счет изменения переходного сопротивления рельс—земля путем изменения контура заземления СТЭ. Это говорит о необходимости рассмотрения технических решений, позволяющие снизить потенциал рельс—земля.

2. Величина напряжения рельс—земля рассмотренной СТЭ 2×25 кВ зависит от линии с сосредоточенными и распределенными параметрами, которые оказывают влияние на электрическое и переходное сопротивление балласта ВСП. Определение параметров позволит повысить точность проведения электрических расчетов СТЭ.

3. На реальном участке безбалластного ВСП возможно и целесообразно использовать искусственный заземлитель на расстоянии не более 2 м от фундамента опор. Допускается его расположение непосредственно в створе расположения опор, где отсутствуют кабельные сети.

4. В результате экспериментального исследования получены значения переходного сопротивления балласта ВСП участков Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ», которые в дальнейшем можно будет использовать при сравнении с численными результатами расчетов переходного сопротивления балласта ВСП.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года [Электронный ресурс]: утв. распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р. 171 с. URL: <http://static.government.ru/media/files/DkdcT7dHs4fGLrhkK5lk0egvr4rA2QZi.pdf> (дата обращения: 10.12.2021).
2. Патент № 2251495 Российская Федерация, МПК B60M 3/00. Устройство для снижения электромагнитных влияний электрических железных дорог на линии проводной связи: № 2003101577/11: заявл. 20.01.2003; опубл. 10.05.2005 / Косарев А. Б. [и др.]. 5 с.
3. Косарев А. Б., Косарев Б. И. Электромагнитная совместимость устройств электропитания систем железнодорожной автоматики с тяговыми сетями // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2004. № 7. С. 31–34.
4. Косарев А. Б., Логинов С. В. Повышение надежности работы устройств автоблокировки за счет отказа от использования рельсовых путей для заземления опор контактной сети переменного тока // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2009. № 2. С. 9–14.
5. Правила содержания контактной сети, питающих линий, отсасывающих линий, шунтирующих линий и линий электропередачи [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 25 апреля 2016 г. № 753р. URL: <http://static.scbist.com/scb/instr/ce191.pdf> (дата обращения: 10.12.2021).
6. ГОСТ Р 58321—2018. Электроустановки систем тягового электроснабжения железной дороги переменного тока. Требования к заземлению: нац. стандарт Российской Федерации: дата введения 2019-07-01. М.: Стандартинформ, 2018. 28 с.

7. Инструкция по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах [Электронный ресурс]: утв. распоряжением зам. министра путей сообщения РФ А. Н. Кондратенко от 10 июня 1993 г. № ЦЭ-191. URL: <http://static.scbist.com/scb/instr/ce191.pdf> (дата обращения: 10.12.2021).

8. Научное сопровождение развития высокоскоростных магистралей в России / А. Б. Косарев [и др.]; под ред. А. Б. Косарева, О. Н. Назарова. М.: РАС, 2018. 118 с.

9. Косарев А. Б., Барч А. В., Розенберг Е. Н. Обеспечение электробезопасности систем электроснабжения электрифицированных железных дорог переменного тока для линий ВСМ // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2018. Т. 77, № 6. С. 337–346. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-6-337-346>.

REFERENCES

1. Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda: utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 17 iyunya 2008 g. № 877-r [Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030: approved by Decree of the Government of the Russian Federation of June 17, 2008 No. 877-r]. 171 p. URL: <http://static.government.ru/media/files/DkdcT7dHs4fGLrhkK5lk0egvr4rA2QZi.pdf> (access date: 10.12.2021). (In Russ.).
2. Kosarev A. B., Semenova E. Yu., Getta Yu. N., et al. Ustroystvo dlya snizheniya elektromagnitnykh vliyaniy elektricheskikh zheleznykh dorog na linii provodnoy svyazi [Device for reducing the electromagnetic effects of electric railways on wired communication lines]. Patent No. 2251495 Rossiyskaya Federatsiya [Russian Federation], МПК B60M 3/00, publ. 10.05.2005. 5 p. (In Russ.).
3. Kosarev A. B., Kosarev B. I. Elektromagnitnaya sovmestimost' ustroystv elektropitaniya sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki s tyagovymi setyami [Electromagnetic compatibility of power supply devices for railway automation systems with traction networks]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik = Transport: science, equipment, management. Scientific Information Collection*. 2004;(7):31–34. (In Russ.).
4. Kosarev A. B., Loginov S. V. Povyshenie nadezhnosti raboty ustroystv avtoblokirovki za schet otказа ot ispol'zovaniya rel'sovykh putey dlya zazemleniya opor kontaktnoy seti peremennogo toka [Improving the reliability of auto-blocking devices by eliminating the use of rail tracks for earthing the supports of the AC contact network]. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta (Vestnik VNIIZhT) = Russian Railway Scientific Journal*. 2009;(2):9–14. (In Russ.).
5. Pravila sodержaniya kontaktnoy seti, pitayushchikh liniy, otsasyvayushchikh liniy, shuntiruyushchikh liniy i liniy elektropere-dachi: utv. rasporyazheniem OAO "RZhD" ot 25 aprelya 2016 g. № 753r [Rules for the maintenance of the contact network, supply lines, suction lines, shunt lines and power lines: approved by Order of JSC Russian Railways dated April 25, 2016 No. 753r]. URL: <http://static.scbist.com/scb/instr/ce191.pdf> (access date: 10.12.2021). (In Russ.).
6. GOST R 58321—2018. Elektroustanovki sistem tyagovogo elektro-snabzheniya zheleznoy dorogi peremennogo toka. Trebovaniya k zazemleniyu: nats. standart Rossiyskoy Federatsii [Electrical installations of traction power supply systems for AC railway. Earthing requirements: nat. standard of the Russian Federation], data vvedeniya [introduction date] 2019-07-01. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. 28 p. (In Russ.).
7. Instruksiya po zazemleniyu ustroystv elektrosnabzheniya na elektrifitsirovannykh zheleznykh dorogakh: utv. rasporyazheniem zam. ministra putey soobshcheniya RF A. N. Kondratenko ot 10 iyunya 1993 g. № TsE-191 [Instructions for earthing power supply devices on electrified railways: approved by Order of the deputy Minister of Railways of the Russian Federation A. N. Kondratenko dated June 10, 1993 No. TsE-191]. URL: <http://static.scbist.com/scb/instr/ce191.pdf> (access date: 10.12.2021). (In Russ.).

8. Kosarev A. B., Nazarov O. N., Savin A. V., et al. Nauchnoe soprovozhdenie razvitiya vysokoskorostnykh magistralei v Rossii [Scientific support for the development of high-speed main lines in Russia]. Moscow: RAS Publ.; 2018. 118 p. (In Russ.).

9. Kosarev A. B., Barch A. V., Rozenberg E. N. Obespechenie elektrobezopasnosti sistem elektrosnabzheniya elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog peremennogo toka dlya liniy VSM [Ensuring electrical safety of power supply systems of electrified AC railways for high-speed lines]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhno-go transporta (Vestnik VNIIZhT) = Russian Railway Scientific Journal*. 2018;77(6):337–346. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-6-337-346>. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Антон Александрович КРЫЛОВ, директор научного центра «Электрификация и теплоэнергетика» (ЦЭТ), АО «ВНИИЖТ», <https://orcid.org/0000-0001-9473-5435>

Илья Алексеевич РЕБРОВ, заместитель директора ЦЭТ, начальник ЦНТКЭ, АО «ВНИИЖТ», AuthorID: 1029015, <https://orcid.org/0000-0003-4811-7155>

Анна Владимировна РУДАШЕВСКАЯ, заместитель начальника, ЦНТКЭ, АО «ВНИИЖТ», AuthorID: 1072959, <https://orcid.org/0000-0003-2941-6950>

Роман Андреевич РУДАШЕВСКИЙ, ведущий специалист, ЦЭТ, АО «ВНИИЖТ», <https://orcid.org/0000-0001-6026-2510>

Елена Дмитриевна ХАРЬКОВСКАЯ, ведущий специалист, АО «ВНИИЖТ», AuthorID: 1138297, <https://orcid.org/0000-0002-1601-2474>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anton A. KRYLOV, Director of the Scientific Center “Electrification and Thermal Power Engineering” (TsET), JSC “VNIIZhT”, <https://orcid.org/0000-0001-9473-5435>

Il'ya A. REBROV, Deputy Director of TsET, Head of TsNTKE, JSC “VNIIZhT”, AuthorID: 1029015, <https://orcid.org/0000-0003-4811-7155>

Anna V. RUDASHEVSKAYA, Deputy Head, TsNTKE, JSC “VNIIZhT”, AuthorID: 1072959, <https://orcid.org/0000-0003-2941-6950>

Roman A. RUDASHEVSKIY, Leading Specialist, TsET, JSC “VNIIZhT”, <https://orcid.org/0000-0001-6026-2510>

Elena D. KHAR'KOVSKAYA, Leading Specialist, JSC “VNIIZhT”, AuthorID: 1138297, <https://orcid.org/0000-0002-1601-2474>

ВКЛАД АВТОРОВ

Антон Александрович КРЫЛОВ. Формирование концепции статьи, определение структуры и логики подачи материала, формирование результирующей части и выводов (20%).

Илья Алексеевич РЕБРОВ. Проведение замеров на участке сети Дальневосточной железной дороги, описание результатов измерений и адаптация изложения в структуру статьи (20%).

Анна Владимировна РУДАШЕВСКАЯ. Методология аналитического расчета для определения потенциала рельс—земля на примере работы системы тягового электроснабжения 2×25 кВ (20%).

Роман Андреевич РУДАШЕВСКИЙ. Участие в измерениях величины переходного сопротивления рельс—земля при различных конструкциях ВСП и определение степени влияния разности потенциалов рельс—земля на участках Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ», формирование материала на основе проведенных измерений (20%).

Елена Дмитриевна ХАРЬКОВСКАЯ. Участие в измерениях величины переходного сопротивления рельс—земля при различных конструкциях ВСП на участках Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ», описание проведенного эксперимента (20%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Anton A. KRYLOV. Formation of the concept of the article, determination of the structure and logic of the presentation of the material, formation of the resulting part and conclusions (20%).

Il'ya A. REBROV. Carrying out measurements on a section of the network of the Far Eastern Railway, describing the measurement results and adapting the presentation to the structure of the article (20%).

Anna V. RUDASHEVSKAYA. Analytical calculation methodology for determining the rail-to-earth potential on the example of the operation of a 2×25 kV traction power supply system (20%).

Roman A. RUDASHEVSKIY. Participation in measurements of the rail-to-earth transition resistance for various VSP designs and determination of the degree of influence of the rail-to-earth potential difference in the sections of JSC “VNIIZhT” Test Loop, formation of material based on the measurements (20%).

Elena D. KHAR'KOVSKAYA. Participation in measurements of the rail-to-earth transition resistance for various VSP designs in the sections of JSC “VNIIZhT” Test Loop, description of the experiment (20%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The authors have read and approved the final manuscript.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials and methods. There is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17.12.2021, первая рецензия получена 11.01.2022, вторая рецензия получена 14.01.2022, принята к публикации 20.01.2022.

The article was submitted 17.12.2021, first review received 11.01.2022, second review received 14.01.2022, accepted for publication 20.01.2022.