

*А. Н. Смердин, А. В. Тарасенко, И. Е. Чертков, А. С. Голубков*

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РИСКА УЩЕРБА ОТ ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ПРОВОДАХ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ВВИДУ ОТСУТСТВИЯ УСТРОЙСТВ УДАЛЕНИЯ ГОЛОЛЕДА

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы оснащённости подразделений Трансэнерго и Дирекции тяги устройствами для механической очистки гололеда, вибропантографами и пневмобарабанами. Усовершенствована методика для оценки риска ущерба ОАО «РЖД» от образования гололеда на проводах контактной сети по причине отсутствия устройств для удаления гололеда с контактного провода в необходимом количестве в структурных подразделениях Трансэнерго и Дирекции тяги. Предложены уровни частоты отказов и тяжести их последствий по причине гололедообразования. Составлены матрицы рисков ущерба и рекомендации по снижению риска для каждого уровня. Определение необходимости дооснащения подразделений Трансэнерго и Дирекции тяги устройствами для удаления гололеда основано на сравнении расходов на восстановление инфраструктуры в текущих условиях эксплуатации и после дооснащения.

**Ключевые слова:** контактная сеть, токоприемник, гололед, оценка ущерба, матрица риска, уровень частот, уровень тяжести последствий.

**Для цитирования:** Совершенствование методики оценки риска ущерба от гололедообразования на проводах контактной сети ввиду отсутствия устройств удаления гололеда / А. Н. Смердин, А. В. Тарасенко, И. Е. Чертков, А. С. Голубков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 1. – С. 182–189. – DOI 10.46973/0201-727X\_2025\_1\_182.

### *Введение*

Наличие гололедных отложений на контактных проводах приводит к ухудшению, а иногда и к полному прерыванию их контакта с полозами токоприемников электроподвижного состава вследствие низкой электропроводности ледяной корки. В таких условиях может возникать электрическая дуга, под действием которой происходит повреждение контактирующих поверхностей, а в некоторых случаях – отжиг (пережог и обрыв) контактных проводов [1]. Использование устройств для механической очистки гололеда (МОГ), вибропантографов и пневмобарабанов является одним из эффективных способов борьбы с гололедом, образующимся на проводах контактной подвески. Однако, недостаточное количество указанных устройств создает предпосылки для экономического ущерба ОАО «РЖД», обусловленного риском повреждения контактной сети или токоприемников электроподвижного состава [2–3].

Целью работы является совершенствование методики для оценки риска ущерба от гололедообразования на проводах контактной сети ввиду отсутствия устройств для удаления гололеда с контактного провода в необходимом количестве в подразделениях Трансэнерго и Дирекции тяги [4].

В соответствии с принятой методологией [5] для оценки риска предлагается сегментировать случаи наступления отказов территориально (перегон либо станция) и ведомственно (Трансэнерго либо Дирекция тяги). Несмотря на общий подход, данное разделение позволяет существенно сократить вариативность дооснащения подразделений устройствами для удаления гололеда с проводов контактной сети. Для предотвращения снижения пропускной способности участка, обусловленного наличием на перегоне движущегося тихоходного подвижного состава (менее 60 км/ч), оборудованным устройствами для удаления гололеда, в предлагаемой методике принято допущение о целесообразности применения на перегонах исключительно вибропантографов и пневмобарабанов, устанавливаемых на магистральный электроподвижной состав, а на станциях – МОГ, размещенных согласно техническим указаниям на них.

### *Основная часть*

Этапы, которые в общем случае включают в себя определение области применения анализа риска, следующие [5]:

- первоначальный анализ с описанием оснований или причин, которые привели к необходимости проведения анализа риска [6];
- описание рассматриваемой системы;
- определение источников, позволяющих предоставить подробную информацию о факторах, которые имеют прямое или косвенное отношение к анализируемой проблеме (социальные, технические, правовые и др.).

Определение риска состоит в выявлении и кратком представлении опасных событий, вероятностей (частоты) и возможных последствий их возникновения.

Для оценки риска ущерба сначала необходимо рассчитать:

- среднюю частоту возникновения отказа, год<sup>-1</sup>:

$$f = \frac{N}{T}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество возникших отказов за анализируемый период времени  $T$ ;  
– среднюю величину ущерба, вызванную возникшим отказом, тыс. руб.:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N}, \quad (2)$$

где  $C_i$  – величина ущерба, обусловленная возникшим отказом  $i$  ( $i = 1 \dots N$ ), тыс. руб.

Уровень (величину) риска  $R$  можно установить, используя формулу:

$$R = F_R\{C, P\}, \quad (3)$$

где  $F_R$  – функционал, объединяющий вероятность  $P$  возникновения отказа и математическое ожидание величины ущерба  $C$  от этого отказа.

Учитывая выражения (1)–(3), уровень риска определяется по выражению

$$R = f \cdot \bar{C}. \quad (4)$$

Используя выражение (4), можно рассчитать уровень (величину) риска, который необходим для установления уровня тяжести последствий и выработки мероприятий по снижению уровня риска.

В соответствии с [7] анализ частот возникновения отказа необходим для проведения оценки вероятности (частоты) возникновения каждого отдельного отказа, установленного на предварительной стадии определения риска. Для проводимой оценки частоты появления отказов индивидуально и/или совместно могут быть использованы три способа, основанные на:

- а) имеющихся накопленных статистических данных;
- б) аналитических или имитационных методах расчета частот возникновения отказов;
- в) экспертных оценок.

Согласно источнику [7] характеристики уровней частоты отказов в зависимости от предполагаемого применения устанавливает ОАО «РЖД». Для определения уровня частоты отказов проведен анализ повреждаемости контактной сети и токоприемников электроподвижного состава по причине гололедообразования за период с 2018 по 2023 г. Предлагаемые уровни частоты отказов, полученные в результате обработки предоставленных данных, представлены в табл. 1.

Характер и тип возможного воздействия возникшего отказа на окружающую среду, людей и имущество устанавливается в процессе анализа его последствий. Уровни тяжести последствий и их количественные и качественные характеристики в зависимости от предполагаемого применения устанавливает ОАО «РЖД» [7]. Предлагаемые уровни тяжести последствий отказов по причине гололедообразования с учетом типовых уровней [7, табл. 2] представлены в табл. 2.

Итоговый уровень тяжести последствий из табл. 2 принимается как максимальный из сравниваемых по качественной и количественной оценке последствий.

В случае изменения исходных данных по отказам, учитываемых при оценке риска, или корректировки технической политики холдинга ОАО «РЖД» в части классификации отказов, уровни частоты и тяжести последствий, представленные в табл. 1 и 2 соответственно, подлежат актуализации.

Таблица 1

**Предлагаемые уровни частоты отказов по причине гололедообразования**

Уровень частоты	Частота возникновения отказов в год $f$ , шт.	Характеристика уровня
Частый	$f \geq 18$	Частые отказы из-за возникновения гололеда – наличие опасности повреждений на постоянной основе
Вероятный	$12 \leq f < 18$	Предполагается частое наступление отказов из-за возникновения гололеда
Случайный	$8 \leq f < 12$	Ожидается неоднократное наступление отказов вследствие образования гололеда
Редкий	$4 \leq f < 8$	Обоснованное ожидание отказов вследствие образования гололеда
Крайне редкий	$2 \leq f < 4$	Предположение, что отказ вследствие образования гололеда появится в исключительных случаях
Маловероятный	$f < 2$	Предположение, что отказа вследствие образования гололеда не будет

Таблица 2

**Предлагаемые уровни тяжести последствий отказов по причине гололедообразования**

Уровень тяжести последствий	Последствия
Катастрофический	Задержка продолжительностью один час и более пассажирского, пригородного, грузового поезда на перегоне или железнодорожной станции или происшествия на железнодорожном транспорте, обусловленные нарушением правил безопасности движения и эксплуатации (1-я категория*) или инфраструктуре железнодорожного транспорта нанесен ущерб в течение года более 5000 МРОТ
Критический	Задержка продолжительностью один час и более пассажирского, пригородного, грузового поезда на перегоне или железнодорожной станции или происшествия на железнодорожном транспорте, обусловленные нарушением правил безопасности движения и эксплуатации (1-я категория*) или инфраструктуре железнодорожного транспорта нанесен ущерб в течение года от 1500 до 5000 МРОТ
Несущественный	Задержка продолжительностью от шести минут до одного часа пассажирского или пригородного поезда на перегоне (станции), продолжительностью от 15 минут до одного часа грузового поезда (2-я категория*) или инфраструктуре железнодорожного транспорта нанесен ущерб в течение года от 500 до 1500 МРОТ
Незначительный	Нарушения нормального функционирования технических средств железнодорожного транспорта, не имеющие последствий, соответствующих отказам 1-й и 2-й категории (3-я категория*) или инфраструктуре железнодорожного транспорта нанесен ущерб в течение года менее 500 МРОТ

Примечание:

\* – категории указаны в соответствии с [8].

МРОТ – минимальный размер оплаты труда в соответствующем расчетном периоде.

Матрица рисков ущерба вследствие отсутствия или недостаточного количества устройств для удаления гололеда с проводов контактной сети для рассматриваемых дирекций показана в табл. 3.

Таблица 3

## Матрица рисков ущерба

Уровень тяжести последствий		Незначительный	Несущественный	Критический	Катастрофический
		1	2	3	4
Частый	Ч	Ч1 нежелательный	Ч2 неприемлемый	Ч3 неприемлемый	Ч4 неприемлемый
Вероятный	В	В1 приемлемый	В2 нежелательный	В3 неприемлемый	В4 неприемлемый
Случайный	С	С1 приемлемый	С2 нежелательный	С3 нежелательный	С4 неприемлемый
Редкий	Р	Р1 не учитываемый	Р2 приемлемый	Р3 нежелательный	Р4 нежелательный
Крайне редкий	К	К1 не учитываемый	К2 не учитываемый	К3 приемлемый	К4 приемлемый
Маловероятный	М	М1 не учитываемый	М2 не учитываемый	М3 не учитываемый	М4 не учитываемый

Сопоставив уровень частоты возникновения отказа с уровнем тяжести его последствий, можно определить уровень риска – соответствующая ячейка матрицы рисков из табл. 3 (например, при вероятном уровне частоты возникновения отказов и несущественном уровне тяжести последствий, уровень риска – нежелательный). В табл. 4 приведены мероприятия и рекомендации, направленные на снижение каждого уровня риска.

Таблица 4

## Мероприятия и рекомендации по снижению риска

Уровень риска	Ячейки матрицы риска из табл. 3	Мероприятия и рекомендации
Неприемлемый	Ч2, Ч3, Ч4, В3, В4, С4	Требуется незамедлительное принятие мер по снижению уровня риска и тяжести его последствий. Рекомендации: Актуализация нормативной и/или технической документации, устанавливающей порядок подготовки подразделений Трансэнерго/Дирекции тяги к работе в зимний период и нормы оснащённости техническими средствами. Необходимо приобретение дополнительных устройств для борьбы с гололедом для оснащения ими подразделений Трансэнерго/Дирекции тяги
Нежелательный	Ч1, В2, С2, С3, Р3, Р4	Мероприятия по уменьшению риска необходимо принять в возможно кратчайшие сроки. Рекомендации: Требуется дооснащение подразделений Трансэнерго или Дирекции тяги дополнительными устройствами борьбы с гололедом
Приемлемый	В1, С1, Р2, К3, К4	Необходима разработка плана по уменьшению или устранению риска, предусматривающего периодический анализ эффективности внедряемых мероприятий. Рекомендации: Необходимо провести расчет экономической эффективности дооснащения подразделений Трансэнерго или Дирекции тяги дополнительными устройствами борьбы с гололедом
Не учитываемый	Р1, К1, К2, М1, М2, М3, М4	Рекомендации: Нет существенной необходимости в приобретении дополнительных устройств борьбы с гололедом

Для определения влияния дооснащения подразделений Трансэнерго устройствами для удаления гололеда следует провести варьирование количества МОГ в вероятностной модели Байеса [9], в которой для дистанции электроснабжения определяется необходимый минимум количества МОГ из условия предотвращения недопустимого или нежелательного уровня риска (см. табл. 4). Как правило, увеличение количества МОГ ведет к снижению вероятности отказов, но не устраняет эту вероятность полностью. Цена и стоимость обслуживания дополнительных устройств приводят к увеличению затрат даже при отсутствии гололеда, поэтому расчет дополнительного количества следует ограничить при достижении требуемого технического эффекта.

Подобным образом, варьируя значения других влияющих факторов [9, табл. 2], можно оценить чувствительность полученного результата к изменениям погодных условий, размеров движения, использования схем плавки гололеда и профилактического подогрева проводов и др. Нужно отметить, что при обновлении исходных данных к расчету этот процесс происходит автоматически, т. к. предложенный математический аппарат учитывает данные факторы.

В узлах вероятностной сети Байеса указаны актуальные значения факторов, влияющих на вероятность наступления отказа, в т. ч. толщина стенки гололеда, начало отложений гололеда [10] и продолжительность гололедоопасного периода, интенсивность движения поездов, класс железнодорожной линии, количество железнодорожных путей и др.

При тяжести последствий, соответствующих допустимому уровню риска, рекомендуется выполнить оценку изменения последствий вероятных отказов при незначительном ( $\pm 10\%$ ) изменении влияющих факторов в большую и в меньшую сторону, а также выполнить экономический расчет целесообразности приобретения дополнительных устройств для удаления гололеда.

Зная стоимостные показатели МОГ и ежегодные расходы на его эксплуатацию в течение срока службы, следует провести прогноз экономических результатов дооснащения подразделения. Для этого возможные суммарные расходы на восстановление инфраструктуры в границах подразделения в текущих условиях эксплуатации необходимо сравнить с аналогичными, полученными при изменении вероятности отказов вследствие дооснащения устройствами по борьбе с гололедом:

$$\sum_{j=1}^t R_{0j} > \left( \mathcal{E}_{\text{МОГ}} \left( \sum_{j=1}^t N_{0\text{МОГ}} + \sum_i N_{i\text{МОГ}} \right) + \sum_i N_{i\text{МОГ}} \cdot C_{\text{МОГ}} \right) + \sum_{j=1}^t R_{ij}, \quad (5)$$

где  $\sum_{j=1}^t R_{0j}$  – возможные суммарные расходы на восстановление инфраструктуры в текущих условиях эксплуатации, руб.;

$t$  – планируемый период использования МОГ, лет;

$\mathcal{E}_{\text{МОГ}}$  – ежегодные расходы на содержание и эксплуатацию всех МОГ подразделения Трансэнерго, руб.;

$N_{0\text{МОГ}}$  – текущее количество МОГ в подразделении Трансэнерго, шт.;

$N_{i\text{МОГ}}$  – количество приобретаемых МОГ, шт.

$C_{\text{МОГ}}$  – закупочная цена МОГ, руб.;

$\sum_{j=1}^t R_{ij}$  – возможные расходы на восстановление инфраструктуры после дооснащения подразделения Трансэнерго, руб.

При выполнении условия (5) дооснащение подразделений Трансэнерго считается целесообразным.

Определение необходимости дооснащения подразделений Дирекции тяги в границах дирекции по энергообеспечению Трансэнерго производится аналогично подразделениям Трансэнерго варьированием количества вибропантографов и пневмобарабанов в указанной выше вероятностной модели Байеса. Степень влияния факторов также определяется исходными данными к расчету и обновляется по мере появления новых.

При тяжести последствий, соответствующих незначительному или незначительному уровню, рекомендуется выполнить оценку изменения последствий вероятных отказов при незначительном ( $\pm 10\%$ ) изменении влияющих факторов в большую и в меньшую сторону.

С учетом того, что наиболее тяжелые экономические последствия для ОАО «РЖД» имеют случаи задержки поездов, особенно произошедшие по причине отказов на перегонах, оценка тяжести последствий отказов должна определяться по длительности перерыва в движении на участке, относящемся к линейному подразделению Дирекции тяги. Поэтому при условии однозначной необходимости

дооснащения вибропантографами и пневмобарабанами допускается не проводить расчет экономической целесообразности.

Таким образом, входными данными к предлагаемой методике является вектор, содержащий погодные и эксплуатационные факторы, сведения о текущем оснащении подразделений Трансэнерго и Дирекции тяги устройствами для удаления гололеда и пр. Для эффективной работы необходимо обеспечить достоверность вводимых данных, т. к. искажение обстоятельств или неполный учет отказов влияет на дальнейшие расчеты.

В случае изменения данных табл. 1 и 2, произошедших в результате принятия новой технической политики ОАО «РЖД», потребуется корректировка численных значений показателей риска.

Выходными данными по предложенной методике оценки риска ущерба являются численные значения требуемого количества устройств для удаления гололеда при условии достижения приемлемого технического результата и построенная на их основе закономерность, отражающая вариативность полученных значений от отдельных влияющих факторов при неизменных значениях остальных.

### **Выводы**

Для уменьшения и предотвращения экономического ущерба, обусловленного повреждениями контактной сети или токоприемников электроподвижного состава вследствие гололедообразования, подразделения Трансэнерго и Дирекции тяги должны быть оснащены необходимым количеством устройств для удаления гололеда, анализ особенностей эксплуатации которых позволил выявить критерии целесообразности применения указанных устройств на перегонах и станциях.

Усовершенствованная методика устанавливает риск ущерба и тяжесть последствий от повреждений в зависимости от фактической оснащенности подразделений Трансэнерго и Дирекций тяги вибропантографами, пневмобарабанами и МОГ, позволяя рассчитать необходимое количество устройств для удаления гололеда с учетом принятого уровня риска и требуемого технического эффекта.

### **Список литературы**

1 **Бондарев, Н. А.** Контактная сеть / Н. А. Бондарев, В. Е. Чекулаев. – Москва : Маршрут, 2006. – С. 590. – ISBN 5-89035-315-2.

2 **Ковалев, А. А.** Разработка структуры матрицы рисков для оценки гололедообразования на участке контактной сети / А. А. Ковалев, А. В. Андриуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2023. – № 6 (102). – С. 7–15. – ISSN 1997-0722.

3 **Ковалев, А. А.** Оценка риска отказа участка контактной сети / А. А. Ковалев, Т. Т. Шаюхов // Транспортное дело России. – 2015. – № 5 (120). – С. 142–145. – ISSN 2072-8689.

4 Инструкция по подготовке к работе и обеспечению надежности работы устройств электрооборудования в зимний период : утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 14.11.2019 № 2542/р (ред. распоряж. ОАО «РЖД» от 08.02.2021 № 220/р). – Москва : ОАО «РЖД», 2019.

5 **ГОСТ Р 51901-2002.** Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. – Москва : Издательство стандартов, 2002. – 23 с.

6 **Галкин, А. Г.** Методика проведения риск-анализа и прогнозирования показателей качества состояния контактной сети / А. Г. Галкин, А. Н. Митрофанов,

### **References**

1 **Bondarev, N. A.** Contact network / N. A. Bondarev, V. E. Chekulaev. – Moscow : Marshrut, 2006. – P. 590. – ISBN 5-89035-315-2.

2 **Kovalev, A. A.** Development of the structure of the risk matrix for assessing ice formation on a section of the contact network / A. A. Kovalev, A. V. Andryukov // Vestnik transporta Povolzhya (Bulletin of Transport of the Volga Region). – 2023. – No. 6 (102). – P. 7–15. – ISSN 1997-0722.

3 **Kovalev, A.A.** Assessment of the risk of failure of a section of the contact network / A. A. Kovalev, T. T. Shayukhov // Transport business of Russia. – 2015. – No. 5 (120). – P. 142–145. – ISSN 2072-8689.

4 Instructions for preparation for operation and ensuring the reliability of power supply devices in winter : approved by the order of JSC Russian Railways dated 14.11.2019 No. 2542/r (as amended by the order of JSC Russian Railways dated 08.02.2021 No. 220/r). – Moscow : JSC Russian Railways, 2019.

5 **GOST R 51901-2002.** Reliability management. Risk analysis of technological systems. – Moscow : Publishing House of Standards, 2002. – 23 p.

6 **Galkin, A. G.** Methodology for conducting risk analysis and forecasting quality indicators of the state of the contact network / A. G. Galkin, A. N. Mitrofanov, S.A. Mitrofanov // Bulletin of the

С. А. Митрофанов // Вестник Самарского муниципального института управления. – 2011. – № 3 (18). – С. 172–182. – ISSN 2071-9558.

7 **ГОСТ Р 54505-2011.** Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте. – Москва : Стандартинформ, 2011. – 50 с.

8 Положение об учете, расследовании и анализе отказов в работе технических средств на инфраструктуре ОАО «РЖД» с использованием автоматизированной системы КАС АНТ : утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 1 октября 2018 г. № 2160/р.

9 Разработка вероятностной модели прогнозирования отказов в работе системы токосъема вследствие гололедообразования на проводах контактной сети / А. Н. Смердин, А. В. Тарасенко, И. Е. Чертков [и др.] // Известия Транссиба. – 2021. – № 2 (46). – С. 62–71. – ISSN 2220-4245.

10 **Черных, В. Н.** Совершенствование системы обнаружения раннего гололедообразования для контактных сетей электрифицированных железных дорог / В. Н. Черных, В. А. Осипов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 2. – С. 110–118. – DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_2\_110.

Samara Municipal Institute of Management. – 2011. – No. 3 (18). – P. 172–182. – ISSN 2071-9558.

7 **GOST R 54505-2011.** Functional safety. Risk management in railway transport. – Moscow : Standartinform, 2011. – 50 p.

8 Regulation on the recording, investigation and analysis of failures in the operation of technical equipment on the infrastructure of JSC Russian Railways using the automated system KAS ANT : approved by the order of JSC Russian Railways dated October 1, 2018 No. 2160/r.

9 Development of a probabilistic model for predicting failures in the operation of the current collection system due to ice formation on the wires of the contact network / A. N. Smerdin, A. V. Tarasenko, I. E. Chertkov [et al.] // Journal of Transsib railway studies. – 2021. – No. 2 (46). – P. 62–71. – ISSN 2220-4245.

10 **Chernykh, V. N.** Improving the early ice formation detection system for contact networks of the electrified railways / V. N. Chernykh, V. A. Osipov // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2024. – No. 2. – P. 110–118. – DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_2\_110.

*A. N. Smerdin, A. V. Tarasenko, I. E. Chertkov, A. S. Golubkov*

## **IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY FOR ASSESSING THE RISK OF DAMAGE FROM ICE FORMATION ON CONTACT NETWORK WIRES DUE TO THE ABSENCE OF ICE REMOVAL DEVICES**

**Abstract.** The article considers the issues of equipping the divisions of Transenergo and the Traction Directorate with devices for mechanical removal of ice, vibrating pantographs and pneumatic drums. The method for assessing the risk of damage to JSC Russian Railways from the formation of ice on the contact network wires has been improved due to the lack of devices for removing ice from the contact wire in the required quantity in the structural divisions of Transenergo and the Traction Directorate. The levels of failure frequency and severity of their consequences due to ice formation have been proposed. Damage risk matrices and recommendations for risk reduction for each level have been compiled. Determination of the need to retrofit the divisions of Transenergo and the Traction Directorate with devices for removing ice is based on a comparison of the costs of restoring the infrastructure under current operating conditions and after retrofitting.

**Keywords:** contact network, pantograph, ice, damage assessment, risk matrix, frequency level, severity level of consequences.

**For citation:** Smerdin, A. N. Improvement of the methodology for assessing the risk of damage from ice formation on contact network wires due to the absence of ice removal devices / A. N. Smerdin, A. V. Tarasenko, I. E. Chertkov, A. S. Golubkov // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2025. – No. 1. – P. 182–189. – DOI 10.46973/0201-727X\_2025\_1\_182.

**Сведения об авторах****Смердин Александр Николаевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), кафедра «Электроснабжение железнодорожного транспорта», доктор технических наук, профессор, первый проректор, проректор по научной работе, заведующий кафедрой, e-mail: alexandr.smerdin@omgups.com

**Тарасенко Александр Владимирович**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), кафедра «Электроснабжение железнодорожного транспорта», кандидат технических наук, доцент, зам. зав. кафедрой по учебной работе, e-mail: alessandro-tar@yandex.ru

**Чертков Иван Евгеньевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), кафедра «Электроснабжение железнодорожного транспорта», кандидат технических наук, доцент, e-mail: chertkovie@omgups.ru

**Голубков Антон Сергеевич**

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), кафедра «Электроснабжение железнодорожного транспорта», кандидат технических наук, доцент, e-mail: anton.golubkov@gmail.com

**Information about the authors****Smerdin Alexander Nikolaevich**

Omsk State Transport University (OSTU), Chair "Electric Power Supply of Railway Transport", Doctor of Engineering Sciences, Professor, First Vice-Rector, Vice-Rector for Research, Head of the Chair, Doctor of Engineering Sciences, Professor, e-mail: alexandr.smerdin@omgups.com

**Tarasenko Alexander Vladimirovich**

Omsk State Transport University (OSTU), Chair "Electric Power Supply of Railway Transport", Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Deputy Head of the Chair for Academic Affairs, e-mail: alessandro-tar@yandex.ru

**Chertkov Ivan Evgenyevich**

Omsk State Transport University (OSTU), Chair "Electric Power Supply of Railway Transport", Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: chertkovie@omgups.ru

**Golubkov Anton Sergeevich**

Omsk State Transport University (OSTU), Chair "Electric Power Supply of Railway Transport", Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, e-mail: anton.golubkov@gmail.com