

## ТРАНСПОРТНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.311, 621.331

DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_1\_169

*С. А. Блинкова, А. В. Скольский***ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ИЗОЛЯТОРОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ**

**Аннотация:** Рассмотрены проблемы существующих способов диагностирования элементов контактной сети, представлен статистический анализ причин отказов элементов контактной сети за последнее время. Авторами описана методика оценки остаточного ресурса изоляторов, предложен способ усовершенствования методов диагностирования состояния изоляторов, а также способ внешнего диагностирования состояния изолятора для дальнейшего принятия решения о продлении срока его службы. Описан алгоритм диагностирования изоляторов с помощью применения беспилотных летательных аппаратов. Рассматриваемая тема будет интересна специалистам в области электроснабжения железнодорожного транспорта и внешнего электроснабжения энергетической системы. Вопрос о возможности применения БПЛА для диагностирования изоляторов требует дальнейшего изучения.

**Ключевые слова:** изолятор, диагностика элементов контактной сети, оценка остаточного ресурса, беспилотный летательный аппарат.

**Для цитирования:** Блинкова, С. А. Оценка остаточного ресурса изоляторов контактной сети / С. А. Блинкова, А. В. Скольский // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1. – С. 169–175. – DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_1\_169.

**Введение**

Эффективное функционирование железнодорожного транспорта Российской Федерации играет важную роль в создании условий для модернизации, перехода на инновационный путь развития и устойчивого роста национальной экономики, способствует формированию технологического суверенитета страны [1]. Приоритетными задачами хозяйства электроснабжения являются полное и надежное энергетическое обеспечение перевозочного процесса, минимизация рисков, повлекших за собой отказы технических средств, оптимизация затрат в энергетике [2].

Отказом в контактной сети является нарушение ее нормальной работы, при котором она, как система, полностью или частично теряет способность выполнять свои функции по причине выхода за пределы установленных допусков или норм одного или нескольких из ее параметров [3]. Отказами в контактной сети являются:

– все повреждения, вызывающие снятие напряжения контактной сети, нарушение токосъема, уменьшение скорости движения или количества поездов, их остановка за время проведения ремонтных работ и т.д. Отказы этой группы обычно требуют направления ремонтной бригады на место возникновения отказа;

– все повреждения элементов контактной сети, которые установлены обслуживающим персоналом во время выполнения запланированного объема работ по текущему содержанию и ремонту контактной сети;

– все нарушения допускаемых значений основных геометрических и механических параметров контактной сети.

Основными направлениями для развития систем диагностики выступают [4]:

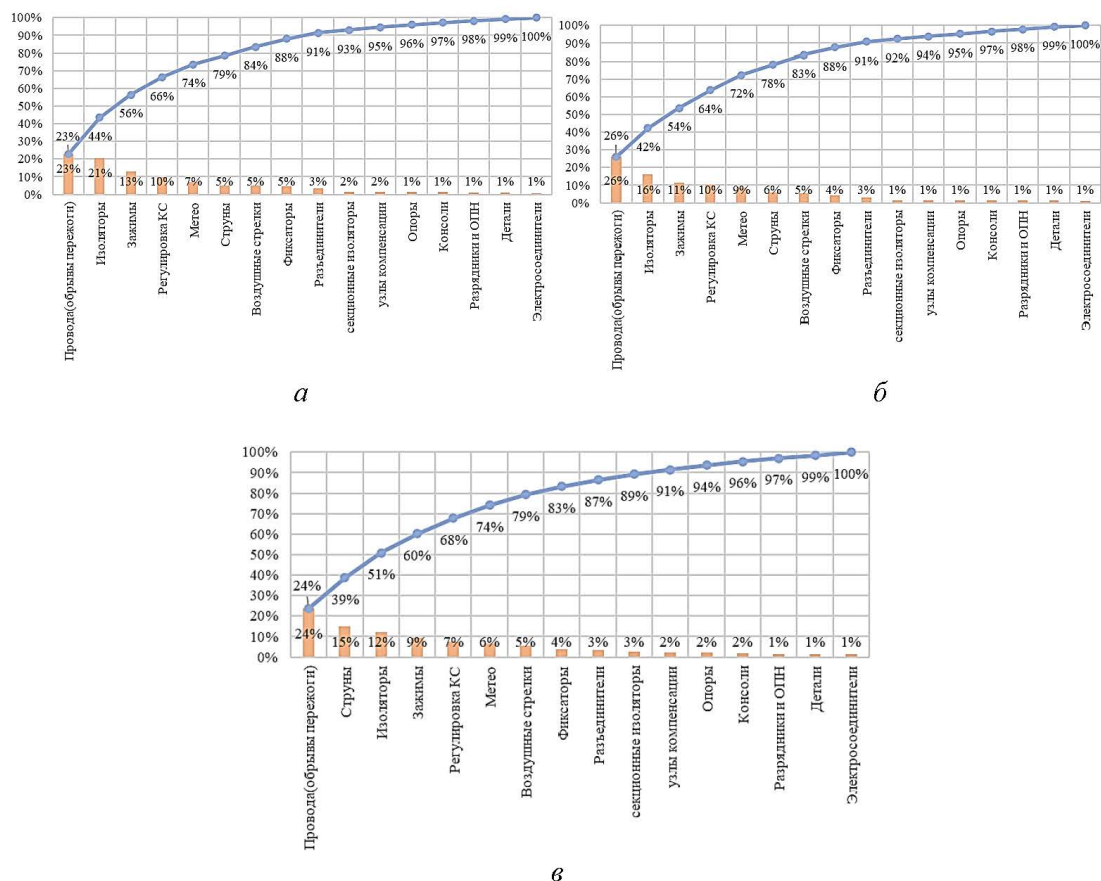
– разработка автоматизированной системы прогнозирования состояния контактной сети по данным мобильных средств контроля геометрии контактной сети, которая позволит выявлять потенциально опасные места до выхода отклонений контактной сети за предельно допустимые значения при изменении внешних условий – повышении (понижении) температуры, повышении скорости ветра, образовании гололеда;

– автоматизация получения оценки остаточного ресурса элементов (объектов) железнодорожного электроснабжения;

– совершенствование программного обеспечения мобильных средств диагностики для автоматизированной обработки видеофайлов и выявления отклонений в содержании узлов контактной сети (выявление отступлений в содержании узлов заземлений контактной сети, узлов анкерровки,

дефектных изоляторов и мест повышенного нагрева) с максимальным исключением привлечения человека.

На рис. 1 представлен статистический анализ причин отказов в контактной сети (КС) за 2016, 2019 и 2022 годы. По результатам анализа видно, что наибольшее количество отказов приходится на такие элементы контактной сети, как провода КС, изоляторы, зажимы и струны КС. Разработка способов уменьшения количества отказов в данных элементах является приоритетной, так как приведет к наиболее эффективному результату.



**Рис. 1. Статистический анализ причин отказов контактной сети за 2016 г. (а), 2019 г. (б), 2022 г. (в)**

Количество отказов можно уменьшить за счет модернизации оборудования или улучшения способов диагностики оборудования. Поскольку на элементы КС влияет большое количество внешних факторов, то экономически выгодно улучшать методы диагностики состояния оборудования, производить расчет остаточного ресурса и на основе результатов осуществлять своевременный ремонт или замену оборудования. В данной статье рассмотрена оценка остаточного ресурса изоляторов. Доля отказов по причине разрушения изоляторов составляет от 12 до 21 % от общего числа отказов элементов КС. Несмотря на то что процент отказов по причине разрушения изоляторов уменьшается, фактическое число отказов увеличивается.

Изоляторы относятся к наиболее значимым элементам КС. Оценка значимых элементов происходит по трем критериям: безопасность, надежность и эффективность [5, 6].

К критерию «Безопасность» относятся показатели, величины которых равны или превышают предельно допустимые показатели. Показатели, величины которых не превышают предельно допустимые значения, относятся к критерию «Надежность». Экономические показатели, определяющие целесообразность продолжения эксплуатации элемента или его замены, относятся к критерию «Эффективность». Фактический остаточный ресурс определяется на основе первых двух критериев [7, 8].

Для оценки остаточного ресурса вводится показатель « $B_i$ » – балльность параметра, который соответствует техническому состоянию элемента относительно стобалльной системы. Если измеренное значение параметра превышает допустимое, то параметру присваивается 100 баллов:

$$B_i = \frac{S_{\text{факт}}}{S_{\text{доп}}} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $S_{\text{факт}}$  – измеренное значение параметра;  $S_{\text{доп}}$  – допустимое значение параметра.

При визуальном осмотре изолятора по критерию «Безопасность» начисляются баллы за следующие пункты:

- загрязнение более 1/3 поверхности изолятора;
- коррозия более 12 мм диаметра стержня;
- наличие трещин, качания, сползания или проворачивания в заделке;
- видимое искривление деталей;
- отсутствие или нарушение влагостойкого покрытия цементного шва;
- повреждение антикоррозийного покрытия или видимых следов коррозии на нем;
- сколы более 60 мм длиной и 5 мм глубиной на ребрах фарфора проходных, опорных и стержневых изоляторов;
- сколы общей площадью более 300 мм<sup>2</sup> на ребрах фарфора подвесных изоляторов;
- сколы общей площадью более 300 мм<sup>2</sup>, если они находятся ближе 10 мм от места сопряжения ребер с основным телом, на ребрах фарфора стержневых изоляторов;
- наличие у фарфоровых изоляторов глубоких царапин длиной более 25 мм;
- видимые трещины, ожоги дугой, вскрытые пузыри или другие повреждения глазури;
- наличие трещин, сколов, посечек, складок, натеков, оплавлений дугой, видимых внутренних газовых пузырей у стеклянных изоляторов;
- наличие механических повреждений, разгерметизации и следов токопроводящих дорожек длиной, равной 1/3 от пути утечки тока у полимерных изоляторов.

При проведении приборной диагностики начисляются штрафные баллы за нарушение изоляции (сопротивление изоляции меньше 300 МОм), за ток утечки менее 10 мкА и при нарушении в распределении напряжения на изоляторе [9, 10].

Остаточный ресурс элемента рассчитывается по параметру с максимальным значением балльности « $B_i$ »:

$$T_{\text{ост}} = T_{\text{факт}} \left( \frac{100}{B_i} - 1 \right), \quad (2)$$

где  $T_{\text{факт}}$  – фактический срок службы, лет;  $B_i$  – максимальная балльность.

Если балльность « $B_i$ » одного из параметров достигает 100, то считаем, что элемент объекта выработал весь свой срок службы.

При визуальном осмотре изолятора по критерию «Надежность» начисляются баллы:

- за загрязнение изолятора до 1/3 поверхности;
- коррозию стержня до 12 мм;
- сколы ребер в фарфоре изоляторов длиной 60 мм и глубиной 5 мм;
- глубокие царапины в фарфоре длиной 25 мм.

При приборной диагностике измеряется сопротивление изоляции и ток утечки.

Для параметров «Надежность» производится аналогичный расчет, как и для параметров «Безопасность».

Если в процессе расчета объекта количество элементов, остаточный ресурс которых от 0 до 5 лет менее 60 %, необходимо производить ремонт и реконструкцию его отдельных элементов.

На основании расчета экономической эффективности принимается решение о продлении срока службы или о замене оборудования.

$$F = \overline{\text{СЖЦз}} - (1 + K_{\text{мод.}}) \cdot \overline{\text{СЖЦп}}, \quad (3)$$

где  $\overline{\text{СЖЦз}}$  – среднегодовая стоимость жизненного цикла объекта в случае его замены;  $\overline{\text{СЖЦп}}$  – среднегодовая стоимость жизненного цикла объекта в случае продления срока службы объекта;  $K_{\text{мод.}}$  – коэффициент модернизации, определяющий границы, в случае которых при незначительном преимуществе в пользу решения о продлении принимается решение о замене оборудования.

Если « $F$ » > 0 – продление срока службы экономически эффективно.

Если « $F$ » ≤ 0 – продление срока службы экономически неэффективно.

Данный тип диагностики проводится вручную, с помощью визуального осмотра изолятора. По результатам осмотра и проведенных расчетов принимается решение о продлении срока службы изолятора или его замене. Предлагается автоматизировать данный процесс с помощью применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и специализированного программного обеспечения. Алгоритм принятия решения о продлении службы изолятора представлен на рис. 2.

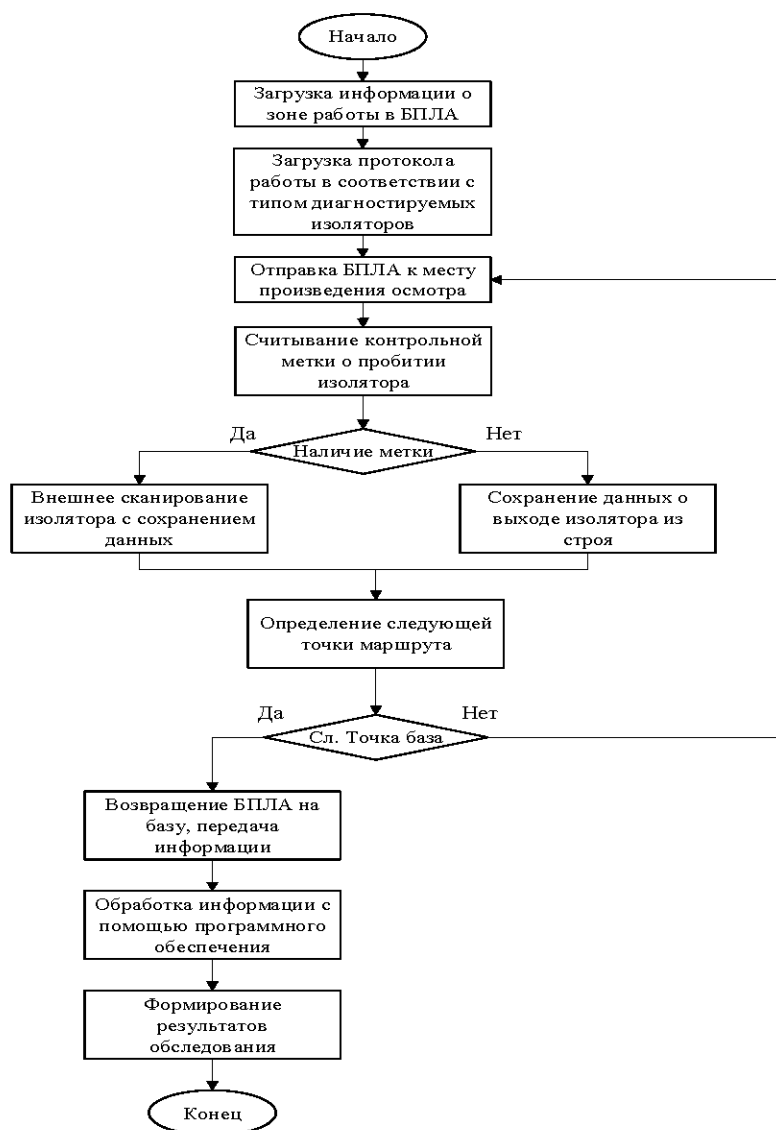


Рис. 2. Алгоритм принятия решения о продлении службы изолятора при использовании современных средств диагностики

Оператор БПЛА с помощью специального программного обеспечения указывает зону работы БПЛА, зона выбирается из расчета времени работы БПЛА с учетом времени на доставку БПЛА к месту проведения осмотра. Также учитывается, что объем работы БПЛА может ограничиваться объемом накопителя. Автоматически в зависимости от зоны проведения работ в БПЛА загружаются протоколы работы с типом изоляторов, установленных на данном участке. После определения маршрута и протоколов работы БПЛА отправляется на место проведения диагностики. По прибытии на место БПЛА считывает метку о пробитии изолятора. Нанесенная на изолятор метка из материала, реагирующего на протекание электрического тока, позволит визуально диагностировать пробитие изолятора. В случае обнаружении БПЛА метки проводится внешнее сканирование изолятора с записью видеофайла в память БПЛА с целью дальнейшего определения остаточного ресурса изолятора. Если метка не обнаружена, в памяти сохраняется информация о выходе изолятора из строя. После окончания сканирования изолятора БПЛА отправляется к следующему изолятору в маршруте и повторяет аналогичные действия. Маршрут БПЛА заканчивается возвращением на «Базу» для передачи информации на сервер для дальнейшей обработки. Информация с сервера обрабатывается программным обеспечением (ПО).

ПО определяет параметры визуального осмотра, т.е. площадь загрязнения изолятора, коррозию стержня, сколы ребер фарфора и т.д. На основании обработки информации принимается решение о продлении срока службы изолятора или о его замене. Указания передаются в соответствующие службы.

В представленном алгоритме визуальный осмотр изолятора электромонтерами заменяется обработкой видеофайла специализированным ПО, а целостность изолятора, которая проверялась в процессе приборной диагностики, определяется наличием специальной метки. Метка представляет собой полосу из определённого материала, нанесённую поперек изолятора. Метка не критично влияет на технические характеристики изолятора и в случае его пробития меняет свое состояние, тем самым сигнализирует о неисправности изолятора.

### *Заключение*

Применение БПЛА является перспективным направлением в проведении диагностики, позволяет сократить ресурсы, затрачиваемые на проведение осмотров изоляторов электромонтерами, а также повысить надежность и безопасность энергетической системы. Использование БПЛА позволит увеличить количество осмотров, что положительно повлияет на скорость выявления аварийных изоляторов, а использование контрольной метки облегчит определение вышедших из строя изоляторов.

### Список литературы

- 1 Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года : утверждена распоряжением Правительства РФ 17 июня 2008 г. № 877-р. – 171 с. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents.ru> (дата обращения: 18.02.2024).
- 2 Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года : утверждена президентом ОАО «РЖД» 14 декабря 2016 г. № 2537р. – 77 с. – URL: <https://company.rzd.ru> (дата обращения: 18.02.2024).
- 3 Управление Ресурсами, Рисками и Надежностью на этапах жизненного цикла : утверждено старшим вице-президентом ОАО «РЖД» 15 ноября 2012 г. – 40 с. – URL : <https://company.rzd.ru> (дата обращения: 18.02.2024).
- 4 Блинкова, С. А. Эволюция диагностики контактной сети / С. А. Блинкова, А. В. Скольский // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 1. – С. 262–264. – EDN KDLTZK.
- 5 Блинкова, С. А. Единое информационное пространство в системе электроснабжения / С. А. Блинкова, М. А. Гаранин, А. В. Скольский // Вестник транспорта Поволжья. – 2023. – № 3 (99). – С. 7–12. – EDN DUTFVY.
- 6 Гаранин, М. А. Управление ресурсами, рисками и надежностью на объектах электроснабжения / М. А. Гаранин, С. А. Блинкова // Проблемы безопасности на транспорте : Материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию Белорусской железной дороги. В 2 частях, Гомель, 24–25 ноября 2022 года / под общей редакцией Ю. И. Кулаженко. Т. Часть 1. – Гомель : Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», 2022. – С. 95–96. – EDN OPWGAJ.

### References

- 1 Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030 : approved by the decree of the Government of the Russian Federation on June 17, 2008. No. 877-p. – 171 p. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents.ru> (date of access: 02/18/2024).
- 2 Energy strategy of the Russian Railways Holding for the period up to 2020 and for the future up to 2030 : approved by the President of JSC «Russian Railways» on December 14, 2016. No. 2537p. – 77 p. – URL: <https://company.rzd.ru> (date of access: 02/18/2024).
- 3 Management of Resources, Risks and Reliability at the stages of the life cycle : approved by the Vice-President of JSC «Russian Railways» on November 15, 2012. – 40 p. – URL: <https://company.rzd.ru> (date of access: 02/18/2024).
- 4 Blinkova, S. A. Evolution of the contact network diagnostics / S. A. Blinkova, A. V. Skolskii // Science and education for transport. – No. 1. – P. 262–264. – EDN KDLTZK.
- 5 Blinkova, S. A. Unified information space in the power supply system / S. A. Blinkova, M. A. Garanin, A.V. Skolskii // Vestnik transporta Povolzhya. – 2023. – No. 3 (99). – P. 7–12. – EDN DUTFVY.
- 6 Blinkova, S. A. Management of resources, risks and reliability at power supply facilities / M. A. Garanin, S. A. Blinkova // Transport safety issues : Materials of the XII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 160th anniversary of the Belarusian Railway. In 2 parts, Gomel, November 24–25, 2022 / Under the general editorship of Yu. I. Kulazhenko. Vol. Part 1. – Gomel : Educational Institution «Belarusian State University of Transport», 2022. – P. 95–96. – EDN OPWGAJ.

7 Гаранин, М. А. Разработка цифровой модели для управления энергетическим комплексом / М. А. Гаранин, С. А. Блинкова // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 3 (75). – С. 22–27. – EDN JSYDYX.

8 Гаранин, М. А. Использование методологии управления ресурсами, рисками и надежностью на этапах жизненного цикла в хозяйстве электрификации и электроснабжения / М. А. Гаранин, С. А. Блинкова // Инновации в системах обеспечения движения поездов : Материалы I Международной научно-практической конференции, Самара, 19–20 мая 2016 года / Министерство транспорта Российской Федерации ; Федеральное агентство железнодорожного транспорта ; Самарское региональное отделение Российской академии транспорта ; ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения» (СамГУПС) ; Куйбышевская железная дорога – филиал ОАО «Российские железные дороги». – Самара : Самарский государственный университет путей сообщения, 2016. – С. 63–67. – EDN XSUPCL.

9 Гаранин, М. А. Обновление устройств электроснабжения для организации скоростного и тяжеловесного движения / М. А. Гаранин, С. А. Блинкова // Наука и образование транспорту. – 2017. – № 1. – С. 224–226. – EDN YMHSUU.

10 Цифровая линия электропередач / Е. В. Добрынин, С. А. Блинкова, А. М. Батищев, М. А. Гузитаева // Нефть. Газ. Новации. – 2021. – № 9 (250). – С. 84–88. – EDN SFYUHT.

7 Garanin, M. A. Development of a digital model for energy complex management / M. A. Garanin, S. A. Blinkova // Vestnik transporta Povolzhya. – 2019. – No. 3 (75). – P. 22–27. – EDN JSYDYX.

8 Garanin, M. A. Using the methodology of resource, risk and reliability management at the stages of the life cycle in the electrification and power supply sector / M. A. Garanin, S. A. Blinkova // Innovations in Train Traffic Support systems : Materials of the I International Scientific and Practical Conference, Samara, May 19–20, 2016 / Ministry of Transport of the Russian Federation; Federal Agency for Railway Transport; Samara Regional Branch of the Russian Academy of Transport; Samara State University of Railway Engineering (SamGUPS); Kuibyshev Railway – branch of JSC Russian Railways. – Samara : Samara State University of Railway Engineering, 2016. – P. 63–67. – EDN XSUPCL.

9 Garanin, M. A. Updating of power supply devices for the organization of high-speed and heavy traffic / M. A. Garanin, S. A. Blinkova // Science and education for transport. – 2017. – No. 1. – P. 224–226. – EDN YMHSUU.

10 Digital power transmission line / E. V. Dobrynin, S. A. Blinkova, A. M. Batishev, M. A. Guzitaeva // Oil. Gas. Innovations. – 2021. – No. 9 (250). – P. 84–88. – EDN SFYUHT.

*S. A. Blinkova, A. V. Skolskiy*

## ASSESSMENT OF THE RESIDUAL LIFE OF CONTACT NETWORK INSULATORS

**Abstract.** The paper considers the problems of existing methods of diagnosing elements of the contact network. It has been presented a statistical analysis of the causes of failures of elements of the contact network in recent years. The authors describe a methodology for assessing the residual life of insulators and propose a way to improve methods for diagnosing the condition of insulators. The authors propose a method for external diagnosis of the condition of the insulator for further decision-making on extending its service life. An algorithm for diagnosing insulators using the use of unmanned aerial vehicles is described. The topic under consideration will be of interest to specialists in the field of power supply of railway transport and external power supply of the energy system. The issue of the possibility of using UAVs to diagnose insulators requires further study.

**Keywords:** insulator, diagnostics of contact network elements, residual resource assessment, unmanned aerial vehicle.

**For citation:** Blinkova, S. A. Assessment of the residual life of contact network insulators / S. A. Blinkova, A. V. Skolskiy // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2024. – No 1. – P. 169–175. – DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_1\_169.

**Сведения об авторах**

**Блиноква Светлана Александровна**  
Самарский государственный университет  
путей сообщения (СамГУПС),  
кандидат технических наук, доцент,  
декан электротехнического факультета,  
e-mail: blinkova@samgups.ru

**Скольский Андрей Владимирович**  
Самарский государственный университет  
путей сообщения (СамГУПС),  
аспирант,  
e-mail: a.skolski@samgups.ru

**Information about the authors**

**Blinkova Svetlana Aleksandrovna**  
Samara State Transport University (SSTU),  
Candidate of Engineering Sciences,  
Associate Professor,  
Dean of the Electrical Engineering Faculty,  
e-mail: blinkova@samgups.ru

**Skolskiy Andrey Vladimirovich**  
Samara State Transport University (SSTU),  
Postgraduate Student,  
e-mail: a.skolski@samgups.ru