
ПРОБЛЕМАТИКА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

УДК 621.316.99

Оценка возможности автоматического определения состояния искрового промежутка

А. В. Агунов¹, И. А. Терехин¹, Р. А. Щербаков², Е. Г. Абишов¹, И. А. Баранов¹

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

²АО «Ленгипротранс», Российская Федерация, 196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 143

Для цитирования: Агунов А. В., Терехин И. А., Щербаков Р. А., Абишов Е. Г., Баранов И. А. Оценка возможности автоматического определения состояния искрового промежутка // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 4. — С. 7-14. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-4-7-14

Аннотация

Цель: Рассмотреть вопрос о возможности автоматического определения состояния искрового промежутка (ИП). **Методы:** В статье приведен анализ устройств и методов автоматического контроля состояния искрового промежутка, а также представлены их особенности и недостатки, относительно которых сделаны выводы касательно удобства эксплуатации на производстве, качества обеспечения контроля состояния искровых промежутков, возможности использования системы в системах автоматического контроля. **Результаты:** Предложена новая модернизация искрового промежутка, которая позволит не только организовать автоматический контроль их состояния, но и внедрить автоматический контроль состояния искровых промежутков в систему контроля железнодорожной инфраструктуры с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которая в настоящий момент является предметом особого внимания со стороны холдинга ОАО «Российские железные дороги». Даны пояснения выбора в пользу именно такой новой модернизации, такие как минимальные капиталовложения при сохранении необходимой и достаточной эффективности контроля состояния искрового промежутка, а также возможность внедрения в уже существующую систему мониторинга с применением беспилотных летательных аппаратов. **Практическая значимость:** Показана возможность автоматического определения состояния искрового промежутка, которая соответствует приоритетному направлению цифровизации железнодорожного транспорта и железнодорожной инфраструктуры холдинга ОАО «Российские железные дороги», указанному в стратегиях развития холдинга до 2030 года и на перспективу до 2035 года.

Ключевые слова: Искровой промежуток, автоматический контроль, пробой, беспилотные летательные аппараты, цифровая железная дорога.

Переход к цифровой железной дороге требует более высокой степени автоматизации контроля элементов ее инфраструктуры, чем была необходима ранее. Это связано с тем, что цифровые технологии требуют высокой точности и надежности в передаче данных и управлении процессами. Небольшая ошибка в работе одного элемента может привести к сбоям в работе всей системы. Автоматический контроль позволяет предотвращать сбои и быстро реагировать на возможные проблемы. С помощью датчиков и систем мониторинга можно точно контролировать параметры работы элементов инфраструктуры. Если возникают неполадки, система может быстро произвести диагностику и оповестить персонал о необходимости устранения неисправности. Также автоматический контроль позволяет увеличить безопасность движения поездов. Системы контроля могут распознавать определенные ситуации на пути следования поезда и предотвращать возможные аварии. Наконец, автоматический контроль элементов инфраструктуры позволяет увеличить эффективность работы железных дорог. Системы мониторинга и контроля могут в режиме реального времени сообщать операторам о состоянии различных элементов, что позволяет мгновенно реагировать на возможные проблемы и ускорять процесс обслуживания пассажиров.

Искровые промежутки применяются для того, чтобы защитить металлические части опор и фундаментов от воздействия блуждающих токов, а также для протекания тока в рельсовую цепь при аварийном режиме работы контактной сети и высоковольтных линий продольного электроснабжения, находящихся на опорах контактной сети. ИП используются в качестве защиты от электрокоррозии, возникающей ввиду токов, стекающих с рельсов по линии заземления и арматурной сетки фундаментов в землю, в соответствии с потенциалами рельс — земля и сопротивлениями, которые зависят в основном от тягового тока и имеют различные зоны вдоль пути (с катодной зоной вблизи подстанции). Величина тока, стекающего с опоры, зависит от сопротивления рельс — земля.

В нормальных условиях ИП крепят в разрыв заземляющего спуска, тем самым изолируя опоры от рельсов. Когда на опору попадает высокое напряжение (более 800 В), происходит пробой ИП и наступает глухое заземление на рельс. После чего пробитый ИП требует замены. В результате для обеспечения нормальной работы системы заземления ее обслуживание требует периодического обхода в соответствии с [1] обслуживаемого участка с проверкой каждого искрового промежутка, что требует не только определенных трудозатрат, но и не исключает человеческого фактора, а также не может обеспечить оперативность выявления факта выхода из строя искрового промежутка, что напрямую влияет на безопасность железнодорожного транспорта и его инфраструктуры.

Поэтому вопрос автоматического контроля состояния искрового промежутка на сегодняшний день в рамках цифровой железной дороги является актуальным.

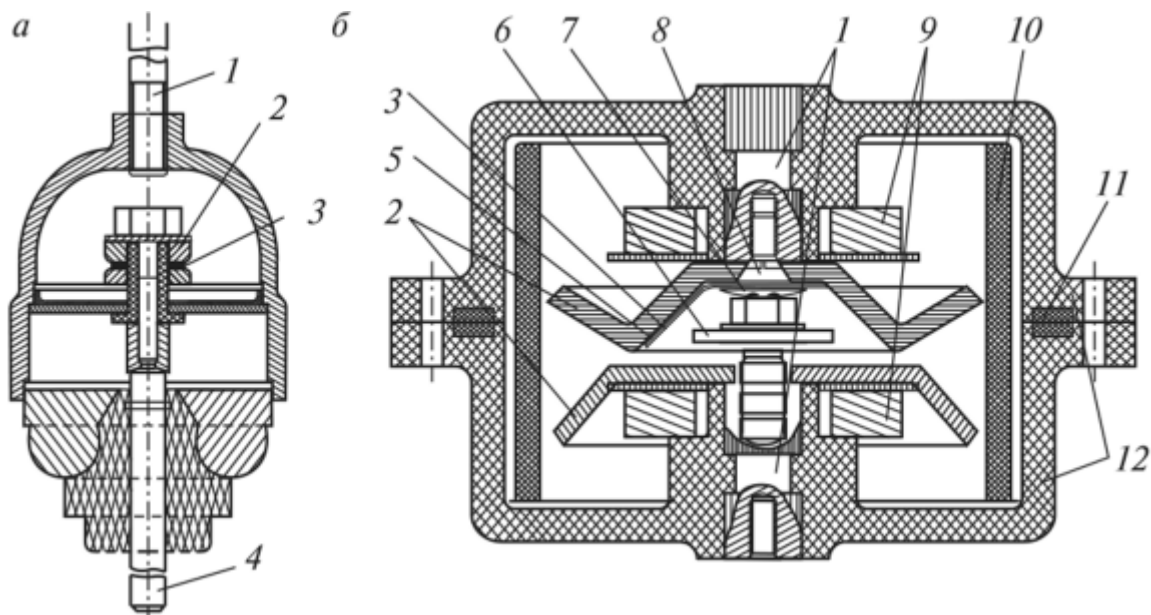


Рис. 1. *а* — искровой промежуток ИПМ-62М; *б* — искровой промежуток ИПВ-ЦНИИ-62: 1, 4 — токопроводы; 2 — электроды; 3 — слюдяная прокладка; 5 — поджигающий электрод; 6 — варистор СН2-2А; 7 — пружинная шайба; 8 — миканитовая прокладка; 9 — кольцевые магниты; 10 — дугостойкая втулка; 11 — уплотнительное кольцо; 12 — крышка

На сегодняшний день существует множество вариаций исполнения искровых промежутков с разнообразными характеристиками, однако в общем случае искровой промежуток представляет собой искусственный разрыв цепи заземления, который под действием определенного напряжения около 1000 В пробивается, при этом загорается электрическая дуга между электродами до момента срабатывания релейной защиты. В качестве примера на рис. 1, *а* приведен ИПМ-62М, на рис. 1, *б* — ИПВ-ЦНИИ-62

Выход из строя искрового промежутка сопровождается протеканием электрического тока через него, что, в свою очередь, ведет к выделению тепла. Таким образом, для контроля исправности ИП мы можем применять методы, основанные на обнаружении электрических и (или) тепловых изменений. Даже в случае разгерметизации корпуса ИП (еще одного вида неисправности, кроме пробоя) и попадании туда влаги конечным результатом будет протекание тока через ИП.

В существующих реалиях проверка ИП производится вольтметром соответствующего рода тока или прибором ПК-2. Для измерений шкалу вольтметра градуируют от 20 В до 100 В. В случае когда стрелка вольтметра отклоняется, то ИП считается исправным, если же стрелка вольтметра не отклоняется, то ИП не исправен (пробит). Если осуществляется проверка за счет устройства, состоящего из вольтметра, подключенного к выводам ИП и при прохождении электроподвижного состава (ЭПС), к ИП прикладывается вызванный тяговым током потенциал рельса, который и вызывает отклонение стрелки вольтметра при исправном ИП.

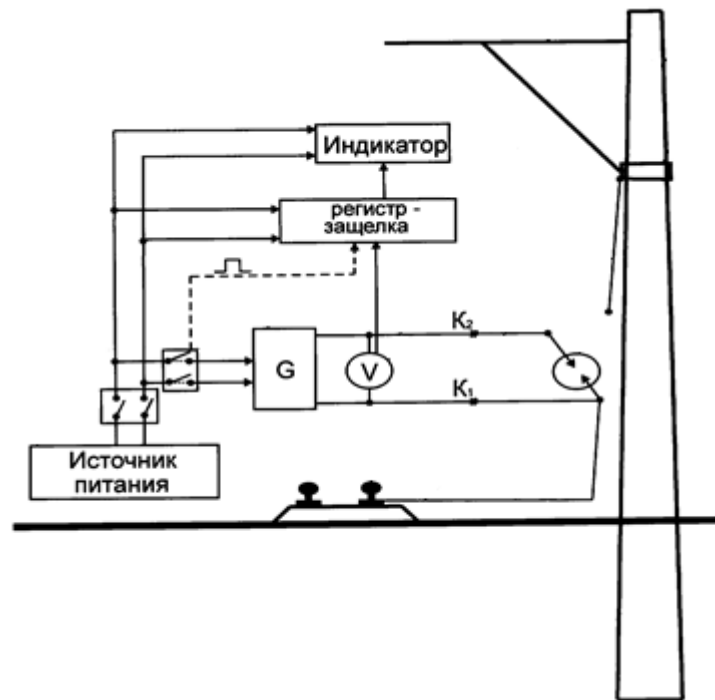


Рис. 2. Способ контроля состояния искрового промежутка, установленного в цепи защиты железобетонных опор контактной сети

В случае низкого сопротивления ИП (означающем его неисправность), т. е. в случае, когда контакты ИП замкнуты, стрелка вольтметра остается неподвижна, тогда ИП подлежит замене на новый. Результаты проверки и замены неисправных ИП заносят в специальный журнал, который ведется в каждом районе контактной сети.

Ввиду невозможности измерить величину электрического пробоя ИП, который следует заменять в случае, если напряжение пробоя менее 1500 В, а потенциал рельса в подавляющем большинстве случаев составляет порядка до 100 В, т. е. выполняется условие: напряжение рельса много меньше напряжения пробоя, а также данный способ возможен только при прохождении ЭПС, что затрудняет проверку при большом межпоездном интервале и приводит к значительным затратам времени на выявление неисправных ИП.

Существуют и иные способы контроля ИП, которые приведены в табл. 1.

Так как промежуточные значения состояния ИП не рассматриваются ни одним из способов и при проверке ИП интересны только 2 состояния: исправен или не исправен, то целесообразнее фиксировать именно параметры разрушения или частичного разрушения элементов ИП. Например, способ контроля искрового промежутка, который заключается в приклеивании RFID-метки. RFID-метку приклеивают на плоскую внешнюю поверхность основания ИП таким образом, чтобы RFID-метка, которая содержит индивидуальный код, маркирующий ИП, располагалась, перекрывая сквозные отверстия, расположенные в основании ИП. Тогда в случае пробоя изоляции, при выходе раскаленного сильно ионизированного газа

ТАБЛИЦА 1. Способы контроля искрового промежутка

№ п/п	Способ	Недостатки
1	Устройство контроля состояния ИП «Импульс» [2]	<ul style="list-style-type: none"> • высокая погрешность измерения напряжения; • большое количество технологических операций; • значительные затраты времени на выполнение
2	Устройство контроля состояния ИП [3]	<ul style="list-style-type: none"> • необходимость выполнения измерений на отсоединенном от металлических спусков ИП; • затраты времени на сбор цепи проверки; • высокая погрешность измерений напряжения; • большая масса необходимого оборудования
3	Способ контроля состояния искрового промежутка, установленного в цепи защиты железобетонных опор контактной сети (рис. 2) [4]	<ul style="list-style-type: none"> • при подключении необходимо предварительно один вывод искрового промежутка отсоединить от спуска; • затраты времени на сбор цепи проверки; • трудоемкость процесса проверки; • большая масса необходимого оборудования; • опасность поражения персонала электрическим током

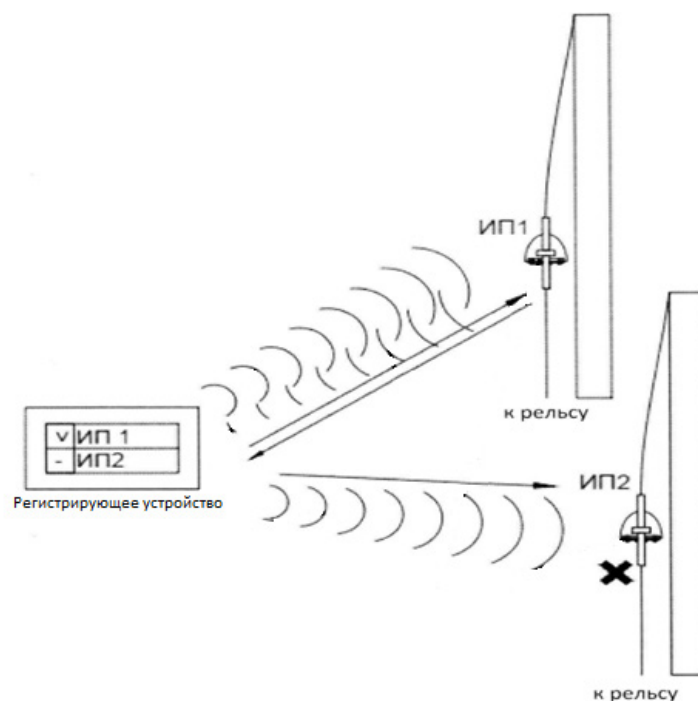


Рис. 3. Способ контроля искрового промежутка, состоящий из прикрепления индикатора в виде RFID-метки

через отверстия основания ИП, возникающего при горении электрической дуги, разрушает RFID-метку, что свидетельствует о пробое ИП. А затем фиксируется стационарным или переносным регистрирующим устройством (рис. 3). Аналогично работает система контроля искрового промежутка, где RFID-метка выполнена в виде наклейки, изготовленной по форме плоской наружной поверхности основания ИП. При этом поверхность наклейки разрезана и выполнена внахлест для надежного наклеивания на плоскую наружную поверхность основания ИП,

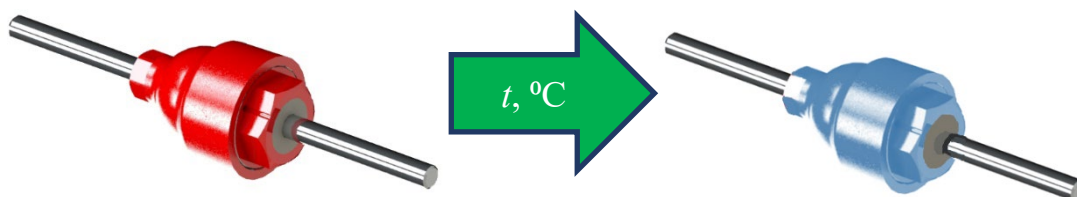


Рис. 4. Принцип работы индикации модернизированного ИП

причем количество чипов соответствует количеству сквозных отверстий основания искрового промежутка [5].

Описанные выше способы можно интегрировать в работу беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которые уже применяются для контроля контактной подвески [6], задавая маршрут со снижением к ИП и оснатив БЛА считывателем RFID-метки. Однако факт того, что RFID-метка крепится клеем, а ИП устанавливается на высоте, доступной сторонним людям, возникает риск проявления хулиганства и уничтожения метки, а также утяжеления БПЛА считывателем.

Учитывая все вышесказанное, предлагается усовершенствовать принцип работы способа с RFID-меткой, заменив ее на окраску ИП термочувствительной краской. Тогда при пробое ИП из-за нагрева он будет изменять цвет (рис. 4), что можно фиксировать видеодатчиками, которыми БПЛА уже оснащен.

Организация автоматического определения состояния искрового промежутка в настоящее время представляется возможной, однако наиболее точные методы решения данной задачи требуют высоких капиталовложений, как и применение стационарных устройств, потому для дальнейшего развития требуется технико-экономическая оценка целесообразности каждого рассмотренного варианта, а также пригодность их интеграции в условия цифровой железной дороги, исходя из поставленных целей реализации таковой.

Библиографический список

1. Распоряжение ОАО «РЖД» от 25 апреля 2016 г. № 753р «Правила технического содержания контактной сети, питающих линий, отсасывающих линий, шунтирующих линий и линий электропередачи 1812р».
2. Указания по техническому обслуживанию и ремонту опорных конструкций контактной сети (К-146-2002), МПС РФ, департамент электрификации и электроснабжения; руководство по эксплуатации прибора «Импульс».
3. К-146-2002 «Указания по техническому обслуживанию и ремонту опорных конструкций контактной сети», МПС РФ. — М.: Трансиздат, 2003. — С. 12.
4. Патент № RU 69462 U1 Российская Федерация, МПК В60М 5/00, G01R 27/18. Устройство контроля состояния искрового промежутка, установленного в цепи защиты железобетонных

опор контактной сети: № 2007128856/22: заявл. 25.07.2007: опубл. 27.12.2007 / А. В. Дементьев, В. А. Дементьев, Е. А. Лазарев и др.; заявитель общество с ограниченной ответственностью «Электродиагност-Железнодорожник».

5. Патент № RU 2769631 С1 Российская Федерация, МПК G01R 31/08, H02H 9/06, G06K 7/0095. Способ контроля искрового промежутка и система для его осуществления: № 2021114989: заявл. 25.05.2021: опубл.: 04.04.2022 / Т. А. Несенюк, И. А. Пятецкий; заявитель общество с ограниченной ответственностью «Уральский центр диагностики оборудования».

6. Использование беспилотников помогает снизить расходы на мониторинг железнодорожной инфраструктуры и повысить качество получаемых данных. — URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/opinions/ispolzovanie-bespilotnikov-pomogaet-snizit-raskhody-na-monitoring-zheleznodorozhnoy-infrastruktury-i/> (дата обращения: 24.07.2023).

Дата поступления:

Решение о публикации:

Контактная информация:

АГУНОВ Александр Викторович — д-р техн. наук, проф.; alexagunov@mail.ru

ТЕРЕХИН Илья Александрович — канд. техн. наук, доц.; terekhin@pgups.ru

ЩЕРБАКОВ Роман Александрович — инженер 3 категории; mrz@yandex.ru

АБИШОВ Ербол Гайдарович — аспирант; abishov@pgups.ru

БАРАНОВ Иван Александрович — аспирант; baranov@pgups.ru

Evaluating the Possibility of Automatic Determination of the Spark Gap Condition

A. V. Agunov¹, I. A. Terekhin¹, R. A. Shcherbakov², Ye. G. Abishov¹, I. A. Baranov¹

¹Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

²JSC “Lengiprotrans”, 143, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 196105, Russian Federation

For citation: Agunov A. V., Terekhin I. A., Shcherbakov R. A., Abishov E. G., Baranov I. A. Evaluating the Possibility of Automatic Determination of the Spark Gap Condition. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 4, pp. 7-14. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-4-7-14

Summary

Purpose: To consider the possibility of automatic determination of the spark gap condition. **Methods:** The article analyzes devices and methods of automatic control of the spark gap condition. It also presents their features and disadvantages, based on which conclusions are made concerning the convenience of operation in production, the quality of the spark gap condition monitoring, the possibility of using the system in automatic control systems. **Results:** A new modernization of spark gaps is proposed, which will allow not only to organize automatic monitoring of their condition, but also to introduce automatic monitoring of spark gaps condition into the system of railway infrastructure monitoring using unmanned aerial vehicles, which is

currently the subject of special attention from the holding company JSC “Russian Railways”. The justifications for choosing this particular new modernization include minimal capital investments, while maintaining the necessary and sufficient efficiency of spark gap monitoring. Also, there is the possibility of integration into the existing monitoring system with the use of unmanned aerial vehicles. **Practical significance:** The possibility of automatic determination of the spark gap condition is shown, which corresponds to the priority direction of digitalization of railway transport and railway infrastructure of the holding company JSC “Russian Railways”, specified in the holding company’s development strategies up to 2030 and in the perspective up to 2035.

Keywords: Spark gap, automatic control, sparkover, unmanned aerial vehicles, digital railroad.

References

1. *Rasporyazhenie OAO “RZHD” ot 25 aprelja 2016 g. № 753r “Pravila tekhnicheskogo soderzhaniya kontaktnoj seti, pitayushchih linij, otsasyvayushchih linij, shuntiruyushchih linij i linij elektroperedachi 1812r”* [Order of JSCo “Russian Railways” № 753r dated April 25, 2016 “Rules for the technical maintenance of the contact network, feeder lines, suction lines, shunt lines and power lines 1812r”]. (In Russian)

2. *Ukazaniya po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu opornyh konstrukcij kontaktnoj seti (K-146-2002), MPS RF, departament jelektrifikacii i jelektronsnabzheniya; rukovodstvo po jekspluatacii pribora “Impul’s”* [Instructions for the maintenance and repair of supporting structures of the contact network (K-146-2002), Ministry of Railways of the Russian Federation, Department of Electrification and Power Supply; Operating instructions for the Impulse device]. (In Russian)

3. *K-146-2002 “Ukazaniya po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu opornyh konstrukcij kontaktnoj seti”* [K-146-2002 “Guidelines for maintenance and repair of contact network support structures”], MPS RF. Moscow: Transizdat Publ., 2003, p. 12. (In Russian)

4. Dement’ev A. V., Dement’ev V. A., Lazarev E. A. et al. *Ustrojstvo kontrolja sostojanija iskrovogo promezhodka, ustanovlennogo v cepi zashhity zhelezobetonnyh opor kontaktnoj seti* [Device for monitoring the state of the spark gap installed in the protection circuit of reinforced concrete supports of the contact network]. Patent RF, no. 69462. (In Russian)

5. Nesenjuk T. A., Pjateckij I. A. *Sposob kontrolja iskrovogo promezhodka i sistema dlja ego osushhestvleniya* [Method for monitoring the spark gap and system for its implementation]. Patent RF, no. 2769631. (In Russian)

6. *Ispol’zovanie bespilotnikov pomogaet snizit’ raskhody na monitoring zheleznodorozhnoj infrastruktury i povysit’ kachestvo poluchaemyh dannyh* [The use of drones helps to reduce the cost of monitoring the railroad infrastructure and improve the quality of the obtained data]. Available at: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/opinions/ispolzovanie-bespilotnikov-pomogaet-snizit-raskhody-na-monitoring-zheleznodorozhnoj-infrastruktury-i/> (accessed: July 24, 2023)

Received:

Accepted:

Author’s information:

Alexander V. AGUNOV — Dr. Sci. in Engineering, Professor; alexagunov@mail.ru

Ilya A. TEREKHIN — PhD in Engineering, Associate Professor; terekhin@pgups.ru

Roman A. SHCHERBAKOV — 3rd Category Engineer; mrz@yandex.ru

Erbol G. ABISHOV — Postgraduate Student; abishov@pgups.ru

Ivan A. BARANOV — Postgraduate Student; baranov@pgups.ru