

**Т.В. Щёголева, А.Н. Пушмина, К.Д. Рубцов**

*Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск, Российская Федерация*

## **АНАЛИЗ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ**

**Аннотация.** В ходе выполнения работы был произведён анализ тепловизионной диагностики состояния узлов контактной сети Красноярской железной дороги (согласно годовому отчёту дорожной электротехнической лаборатории за 2019 год). Было выявлено нарушение вагон электротехнической лабораторией (ВЭТЛ). Также были представлены рациональные предложения для устранения нарушений и эффективных решений проблем на Красноярской железной дороге.

**Ключевые слова:** контактная сеть, тепловизор, диагностика, анализ, состояние узлов, тяговая подстанция, контроль оборудования

**T.V. Shchegoleva, A.N. Pushmina, K.D. Rubtsov**

*Krasnoyarsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Krasnoyarsk, the Russian Federation*

## **INCREASE OF ECONOMIC EFFICIENCY AND ADJUSTMENT OF REACTIVE POWER FROM CONNECTION OF CAPACITOR BANKS TO TRACTION SUBSTATION**

**Abstract.** In the course of the work, an analysis of thermal imaging diagnostics of the condition of the contact network nodes of the Krasnoyarsk Railway was carried out (according to the annual report of the road electrotechnical laboratory for 2019). Violations of the wagon by the electrotechnical laboratory (ETL) were revealed. Rational proposals were also presented to eliminate violations and effective solutions to problems on the Krasno-Yarskaya Railway.

**Keywords:** contact network, thermal imager, diagnostics, analysis, condition of nodes, traction substation, equipment control

### **Введение**

Ежегодно Вагон электротехническая лаборатория (ВЭТЛ) проводит диагностическую работу оборудования тяговых подстанций [2]. Вагон-лаборатория представляет собой специально оборудованный вагон, который предназначен для проведения различных исследований и испытаний объектов железнодорожной техники в полевых (полевых) условиях.

Цель диагностирования – получение реальных данных о состоянии оборудования на тяговых подстанциях с накоплением централизованной информации. Диагностирование оборудования как второй уровень контроля является переходным процессом между планово – предупредительным ремонтом (ППР) и ремонтом по фактическому состоянию. При производстве комплексного диагностирования выявляются систематические отклонения нормативного состояния оборудования, что позволяет устранить факторы, негативно влияющие на работоспособность оборудования, скорректировать методы обслуживания и ремонта, определить необходимость замены оборудования при выработке назначенного ресурса и морального устаревания. Зачастую работа ВЭТЛ организуется с представителями РРУ, что позволяет производить обмен опытом, выявить влияющие на качество работы работников РРУ проблемы, в том числе условия, организация работы и оснащённость необходимым оборудованием и запасными частями.

В комплект вагона включено современное, специализированное оборудование при помощи которого проводится диагностика:

- Высоковольтных выключателей 110-220 кВ всех типов (масляных, маломасляных, элегазовых);
- Высоковольтных трехполюсных выключателей 27,5 - 35кВ;

- Высоковольтных вводов 27,5 – 220 кВ;
- Силовых трансформаторов собственных нужд (ТСН);
- Ограничителей перенапряжения (ОПН) 110 – 220кВ;
- Контуров заземлений тяговых подстанций;
- Определение наличия металlosвязи заземленного оборудования;
- Определение тангенса угла диэлектрических потерь трансформаторного масла;
- Тепловизионный контроль оборудования ТП, фидерных трасс, устройств КС.

## I. Начало анализа

Красноярской дирекции по энергообеспечению по главным путям, организован тепловизионный контроль состояния узлов контактной сети с помощью высокочувствительной, компьютеризированной системы на базе ИК-камеры (инфракрасные камеры видеонаблюдения) FLIR (крупнейшая в мире коммерческая компания, специализирующаяся на разработке и производстве тепловизоров, компонентов и датчиков изображения). Тепловизор имеет диапазон измерения от -20 °С до +1200 °С. На железных дорогах применение тепловизора имеет огромное преимущество, ведь именно тепловизор видит в полной темноте и не в самых благоприятных погодных условиях.

Количество нагревов выявленных в 4 квартале 2019 года в сравнении с 4 кварталом 2018 года:

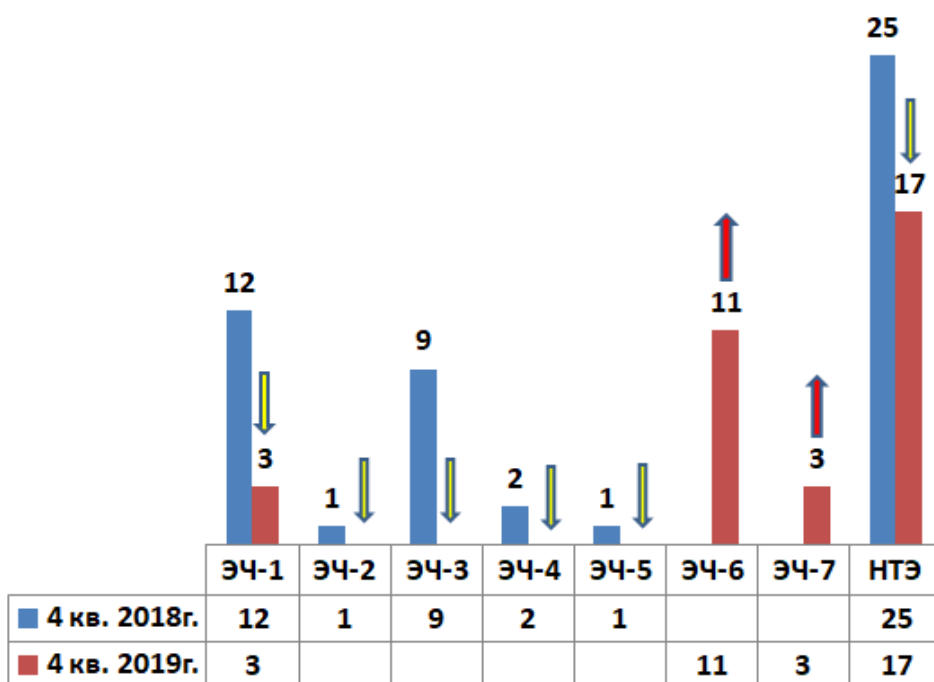


Рис.1. Количество нагревов, выявленных в 4 квартале 2019 года в сравнении с 4 кварталом 2018 года

Выявленные в 4 квартале 2019 году «отступления по нагреву узлов контактной сети» распределились по типу (таблица 1).

Выявленные за 4 квартала 2019 году «отступления по нагреву узлов контактной сети» распределились по типу (таблица 2).

## II. Рациональные предложения

Проведенным анализом тепловизионной диагностики состояния узлов контактной сети на Красноярской железной дороге было выявлено, что большая часть нагревов приходится на элементы контактной сети КС-054 (зажим соединительный для соединения многопроволочных медных и сталемедных проводов и присоединения троса средней анкеровки к несущему тросу), КС-053 (зажим питающий для соединения медных проводов электрических соединителей с контактным проводом).

Таблица 1 – Отступления по нагреву узлов контактной сети Красноярской железной дороги за 4 квартал 2019 года

| № п/п | ЭЧ   | ЭЧ   |      |      |      |      |      |      | Итого количество нагревов по НТЭ (шт.) | % от общего количества |
|-------|--|------|------|------|------|------|------|------|--|------------------------|
|       |  | ЭЧ-1 | ЭЧ-2 | ЭЧ-3 | ЭЧ-4 | ЭЧ-5 | ЭЧ-6 | ЭЧ-7 |  |                        |
|       | <b>Всего отклонений (шт), в том числе:</b> | 3    |      |      |      |      | 11   | 3    | 17                                     | 100,0%                 |
| 1     | КС-064                                     |      |      |      |      |      | 3    |      | 3                                      | 17,6%                  |
| 2     | ПС   | 2    |      |      |      |      |      |      | 2                                      | 11,8                   |
| 3     | М/Р  |      |      |      |      |      | 1    | 1    | 2                                      | 11,8                   |
| 4     | КС-054                                     |      |      |      |      |      | 2    |      | 2                                      | 11,8                   |
| 5     | КС-046                                     |      |      |      |      |      | 2    |      | 2                                      | 11,8                   |
| 6     | КС-053                                     |      |      |      |      |      | 1    |      | 1                                      | 5,9                    |
| 7     | КС-040                                     |      |      |      |      |      |      | 1    | 1                                      | 5,9                    |
| 8     | Шлейф                                      |      |      |      |      |      | 1    |      | 1                                      | 5,9                    |
| 9     | КС-049                                     | 1    |      |      |      |      |      |      | 1                                      | 5,9                    |
| 10    | КС-009                                     |      |      |      |      |      | 1    |      | 1                                      | 5,9                    |
| 11    | Спуск заземления                           |      |      |      |      |      |      | 1    | 1                                      | 5,9                    |

Таблица 2 – Отступления по нагреву узлов контактной сети за 4 квартала 2019 года на Красноярской железной дороге

| № п/п | ЭЧ   | ЭЧ   |      |      |      |      |      |      | Итого количество нагревов по НТЭ (шт.) | % от общего количества |
|-------|--|------|------|------|------|------|------|------|--|------------------------|
|       |  | ЭЧ-1 | ЭЧ-2 | ЭЧ-3 | ЭЧ-4 | ЭЧ-5 | ЭЧ-6 | ЭЧ-7 |  |                        |
|       | <b>Всего отклонений (шт), в том числе:</b> | 14   | 1    | 13   | 3    | 6    | 16   | 8    | 61                                     | 100,0%                 |
| 1     | КС-053                                     | 4    | 1    | 7    |      | 2    | 1    |      | 15                                     | 24,6                   |
| 2     | М/Р  | 3    |      |      |      |      | 4    | 1    | 8                                      | 13,1%                  |
| 3     | КС-054                                     |      |      | 2    | 2    | 2    | 2    |      | 8                                      | 13,1                   |
| 4     | КС-064                                     |      |      | 1    |      | 1    | 3    | 1    | 6                                      | 9,8                    |
| 5     | КС-040                                     |      |      |      | 1    |      | 1    | 2    | 4                                      | 6,6                    |
| 6     | КС-046                                     | 2    |      |      |      |      |      | 2    | 4                                      | 6,6                    |
| 7     | ПС   | 2    |      |      |      |      |      | 2    | 4                                      | 6,6                    |
| 8     | КС-035                                     |      |      | 2    |      | 1    |      | 1    | 4                                      | 6,6                    |
| 9     | Струна                                     | 2    |      |      |      |      |      |      | 2                                      | 3,3                    |
| 10    | Шлейф                                      |      |      |      |      |      | 1    |      | 1                                      | 1,6                    |
| 11    | КС-049                                     | 1    |      |      |      |      |      |      | 1                                      | 1,6                    |
| 12    | КС-009                                     |      |      |      |      |      | 1    |      | 1                                      | 1,6                    |
| 13    | КС-321                                     |      |      | 1    |      |      |      |      | 1                                      | 1,6                    |
| 14    | Стыковка Н/Т                               |      |      |      |      |      | 1    |      | 1                                      | 1,6                    |
| 15    | Спуск заземления                           |      |      |      |      |      |      | 1    | 1                                      | 1,6                    |

На основании результатов объезда контактной сети вагоном-лабораторией ВИКС, работу в содержании устройств контактной сети за 4 квартала 2019 года Красноярская дирекция по энергообеспечению считает удовлетворительной.

Токи, протекающие по проводам, вызывают выделение в них тепла, а следовательно, потерю электроэнергии и превышение их температуры относительно температуры окружающей среды [13]. Это приводит к двум последствиям:

- изменяются натяжения и ординаты кривых провисания свободно подвешенных проводов контактной сети и некомпенсированных проводов цепных подвесок. Кроме этого, в последних возникает перекося струн, фиксаторов и консолей;

- ускоряется старение проводов, что выражается в понижении предела упругости (пропорциональности) и разрушающего натяжения и, следовательно, уменьшении запаса прочности сооружения.

В сложившейся практике рассматривается только влияние изменения температуры окружающей среды на натяжение и расположение проводов контактной сети в перспективе без учёта влияния нагрузочных токов на температуру проводов. Вместе с тем положение проводов контактной подвески имеет значение тогда, когда по этой подвеске перемещается токоприёмник, то есть тогда, когда провода нагреваются протекающим током. Положение проводов контактной подвески в отсутствие поездов может представлять интерес только для проведения различных контрольных измерений.

В проводах контактной сети величина токов зависит от расположения поездов на определённом участке линии, потребляемых ими токов; от схем питания рассматриваемого участка.

Ток в тяговой сети или в фидере подстанции определяется для всех проводов, соединённых параллельно между собой. Для того чтобы судить о температуре конкретного провода, необходимо знать ток, протекающий по нему. Например, при постоянном токе ток нагрузки распределяется между параллельно соединёнными проводами пропорционально их проводимости или обратно пропорционально их сопротивлениям. Пользуясь значениями сопротивлений и проводимостей проводов контактной сети можно определить их ток в интересующем нас проводе с номером  $k$ .

$$I_k = I_0 \frac{g_k}{\sum_{k=1}^n g_k} \quad (1)$$

где  $g_k$  – проводимость провода с номером  $k$ ;  $n$  – число параллельно соединённых проводов.

Проведённый анализ говорит о том, что с помощью тепловизионной диагностики были выявлены состояния узлов контактной сети на Красноярской железной дороге. Согласно таблице 2 можно сделать вывод о том, что на ЭЧ-6 (Абаканская дирекция электроснабжения), ЭЧ-4 (Уярская дирекция электроснабжения) и ЭЧ-1 (Боготольская дирекция электроснабжения) было выявлено больше всего отступлений по нагреву за весь год.

Отсюда можно сделать вывод, что провода, применяемые на Красноярской железной дороге не подходят для нормального режима работы, так как применяемые провода не проходят по нагреву. Одно из главных мероприятий по устранению данной проблемы – замена на новые провода, которые будут проходить проверку по нагреву и смогут выдержать нагрузки (короткое замыкание, нагрев проводов).

### **Заключение**

Актуальность тепловизионного контроля состояния узлов контактной сети существенно возрастает с каждым годом [3].

Особенностью тепловизионного контроля устройств контактной сети, затрудняющей определение степени развития дефектов, является отсутствие возможности измерения тока нагрузки в контролируемых узлах. Наличие нагрузки в этом случае определяется визуально по отправлению и проходу поездов.

Учитывая возможные последствия, все выявленные дефекты признаются опасными, подлежащими незамедлительному устранению. Руководством службы электрификации и

электроснабжения Красноярской железной дороги установлен диспетчерский контроль за устранением дефектов контактов и контактных соединений [4].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исаченко В.П. Теплопередача. — М.: Энергоиздат, 1981. — 416 с.
2. Красноярская дирекция по энергообеспечению. Дорожная электротехническая лаборатория. Отчёт о практической работе за 2019 год. – г. Красноярск, 2020. – 162 с.
3. Тепловизионный контроль. Основные понятия и определения. [Электронный ресурс]. URL: [https://studbooks.net/2376685/tehnika/teplovizionnyu\\_kontrol](https://studbooks.net/2376685/tehnika/teplovizionnyu_kontrol). (Дата обращения 14.05.2022).
4. Власов, А.Б. Тепловизионная диагностика в энергетике: достижения и проблемы [Текст] / А.Б. Власов // Электрика. № 12. -2002. -С. 27-32.
5. Бажанов, С.А. Инфракрасная диагностика электрооборудования распределительных устройств [Текст] / С.А. Бажанов. - М.: НТФ "Энерго-прогресс", -2000. -76 с.
6. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ. РАО ЕЭС РФ [Текст]: РД 153-34.0-20.363-99. -82 с.
7. Применение тепловизионной диагностики при контроле технического состояния оборудования [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41516222>. (Дата обращения: 14.05.2022).
8. Российские железные дороги [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rzd.ru>. (Дата обращения 15.05.2022).
9. Красноярская железная дорога [Электронный ресурс]. URL: <https://kras.rzd.ru>. (Дата обращения 15.05.2022).
10. Техническое диагностирование железнодорожного электроснабжения [Электронный ресурс]. URL: <http://eav.ru/publ1.php?publid=2015-09a05>. (Дата обращения 15.05.2022).
11. Власов, А.Б. Оценка параметров надежности контактных соединений по данным тепловизионного контроля [Текст] / А.Б. Власов, А.В. Джюра // Электротехника. – № 6. – 2002. – С. 2-5.
12. Распоряжение ОАО «РЖД» от 25.04.2016 №753р (ред. От 25.01.2021) «Об утверждении и вводе в действие Правил содержания контактной сети, питающих линий, отсасывающих линий, шунтирующих линий и линий электропередачи».
13. Михеев В.П. Контактные сети и линии электропередачи: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2003. – 416 с.
14. Распоряжение ОАО «РЖД» от 21.02.2018 №348р «Об утверждении и вводе в действие Правил содержания контактной сети, питающих линий, отсасывающих линий, шунтирующих линий и линий электропередачи».
15. Распоряжение ОАО «РЖД» от 11.02.2021 №265р «Об утверждении Правил безопасности при эксплуатации контактной сети и устройств электроснабжения автоблокировки железных дорог ОАО "РЖД».
16. Берент В.Я., Буше Н.А., Сегал И.Я. Классификация дефектов и повреждений контактных проводов электрифицированных ж.д. – М.: Транспорт, 1974 – 74 с.

### REFERENCES

1. Isachenko V.P. Heat transfer. — М.: Energoizdat, 1981. — 416 p.
2. Krasnoyarsk Directorate for Energy Supply. Road electrical laboratory. Report on practical work for 2019. – Krasnoyarsk, 2020. – 162 p.
3. Thermal imaging control. Basic concepts and definitions. [Electronic resource]. URL: [https://studbooks.net/2376685/tehnika/teplovizionnyu\\_kontrol](https://studbooks.net/2376685/tehnika/teplovizionnyu_kontrol). (Accessed 14.05.2022).
4. Vlasov, A.B. Thermal imaging diagnostics in power engineering: achievements and problems [Text] / A.B. Vlasov // Electrics. No. 12. -2002. - pp. 27-32.
5. Bazhanov, S.A. Infrared diagnostics of electrical equipment of distribution devices [Text] / S.A. Bazhanov. - М.: NTF "Energo-progress", -2000. - 76 p.

6. The main provisions of the methodology of infrared diagnostics of electrical equipment and overhead lines of the RAO UES of the Russian Federation [Text]: RD 153-34.0-20.363-99. -82 p.

7. The use of thermal imaging diagnostics for monitoring the technical condition of equipment [Electronic resource]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41516222>. (Date of publication: 14.05.2022).

8. Russian Railways [Electronic resource]. URL: <https://www.rzd.ru>. (Accessed 15.05.2022).

9. Krasnoyarsk Railway [Electronic resource]. URL: <https://kras.rzd.ru>. (Accessed 15.05.2022).

10. Technical diagnostics of railway power supply [Electronic resource]. URL: <http://eav.ru/publ1.php?publid=2015-09a05>. (Accessed 15.05.2022).

11. Vlasov, A.B. Evaluation of parameters of reliability of contact connections according to thermal imaging control data [Text] / A.B. Vlasov, A.V. Jura // Electrical Engineering. – No. 6. – 2002. – pp. 2-5.

12. Order of JSC "Russian Railways" dated 25.04.2016 No. 753r (ed. Dated 25.01.2021) "On the approval and commissioning of the Rules for the maintenance of the contact network, supply lines, suction lines, shunting lines and power transmission lines".

13. Mikheev V.P. Contact networks and power transmission lines: Textbook for universities of railway transport. – M.: Route, 2003. – 416 p.

14. Order of JSC "Russian Railways" dated 21.02.2018 No. 348r "On approval and commissioning of the Rules for the maintenance of the contact network, supply lines, suction lines, shunting lines and power transmission lines".

15. Order of JSC "Russian Railways" dated 11.02.2021 No. 265r "On approval of safety Rules for the operation of the contact network and power supply devices for auto-blocking railways of JSC "Russian Railways".

16. Berent V.Ya., Boucher N.A., Segal I.Ya. Classification of defects and damages of contact wires of electrified railways – M.: Transport, 1974 – 74 p.

### **Информация об авторах**

*Щёголева Татьяна Владимировна* – старший преподаватель кафедры «Системы обеспечения движения поездов», Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск, e-mail: [Shjogoleva\\_TV@krsk.irgups.ru](mailto:Shjogoleva_TV@krsk.irgups.ru)

*Пушмина Арина Николаевна* - студент кафедры «Системы обеспечения движения поездов», Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск e-mail: [allfaist1@gmail.com](mailto:allfaist1@gmail.com)

*Рубцов Кирилл Дмитриевич* - студент кафедры «Системы обеспечения движения поездов», Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск e-mail: [kirill.rubtsov.2001@mai.ru](mailto:kirill.rubtsov.2001@mai.ru)

### **Information about the authors**

*Shchegoleva Tatiana Vladimirovna* – senior Lecturer of the Department of "Train Traffic Support Systems", Krasnoyarsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Krasnoyarsk, e-mail: [Shjogoleva\\_TV@krsk.irgups.ru](mailto:Shjogoleva_TV@krsk.irgups.ru)

*Pushmina Arina Nikolaevna* – student of the Department of "Train Traffic Support Systems", Krasnoyarsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Krasnoyarsk, e-mail: [allfaist1@gmail.com](mailto:allfaist1@gmail.com)

*Rubtsov Kirill Dmitrievich* – student of the Department of "Train Traffic Support Systems", Krasnoyarsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Krasnoyarsk, e-mail: [kirill.rubtsov.2001@mai.ru](mailto:kirill.rubtsov.2001@mai.ru)