

УДК 621.31

Д.А. ТКАЧЕНКО, студент гр. 0Э-51 (АлтГТУ)
Научный руководитель Б.С. КОМПАНИЕЦ, к.т.н., доцент (АлтГТУ)
г. Барнаул

ЗНАЧЕНИЕ ПЕРЕГРЕВА ШИН ПРИ ПРЕВЫШЕНИИ НОМИНАЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

В современных электроустановках контактные соединения являются ключевым элементом для прохождения тока, что обуславливает необходимость их регулярного контроля и обслуживания. Проведение прямой диагностики часто осложнено сложностью конструкции самих установок, делая нежелательным или невозможным демонтаж соединений. В связи с этим актуальной задачей становится дистанционная оценка их состояния с требуемой достоверностью.

Критическим параметром, отражающим исправность контактного устройства, служит величина его переходного сопротивления, регламентированная технической документацией производителя.

Одним из самых оперативных и популярных методов неразрушающего контроля является тепловизионная диагностика. В ходе обследования оператор с помощью тепловизора идентифицирует локальные перегревы, определяемые как разность температур между диагностируемым контактом и аналогичными узлами на других фазах. Несмотря на свою скорость и наглядность, этот метод обладает меньшей точностью по сравнению с прямыми электрическими измерениями, поскольку анализирует вторичный признак – температуру. На её значение, помимо состояния контакта, могут влиять и другие факторы, такие как нагрузка, условия теплоотвода и внешняя среда, что вносит неопределенность в оценку. Пределы оценки оборудования, на основании которых делается анализ температуры приводятся в литературе [1] и принимаются 20 и 40 градусов по Цельсию соответственно.

Также в литературе [1][2] на оборудовании подстанций состояние контактных соединений может оцениваться и по превышению сопротивления исследуемого участка не должно превышать сопротивление номинального сопротивления аналогичного участка более чем в 1,2 раза, то есть отличие в сопротивлении выше 20% будет определяться как неисправность, выявленная в результате диагностики элемента электрооборудования.

Проведем исследование объекта, представленного на рисунке 1.

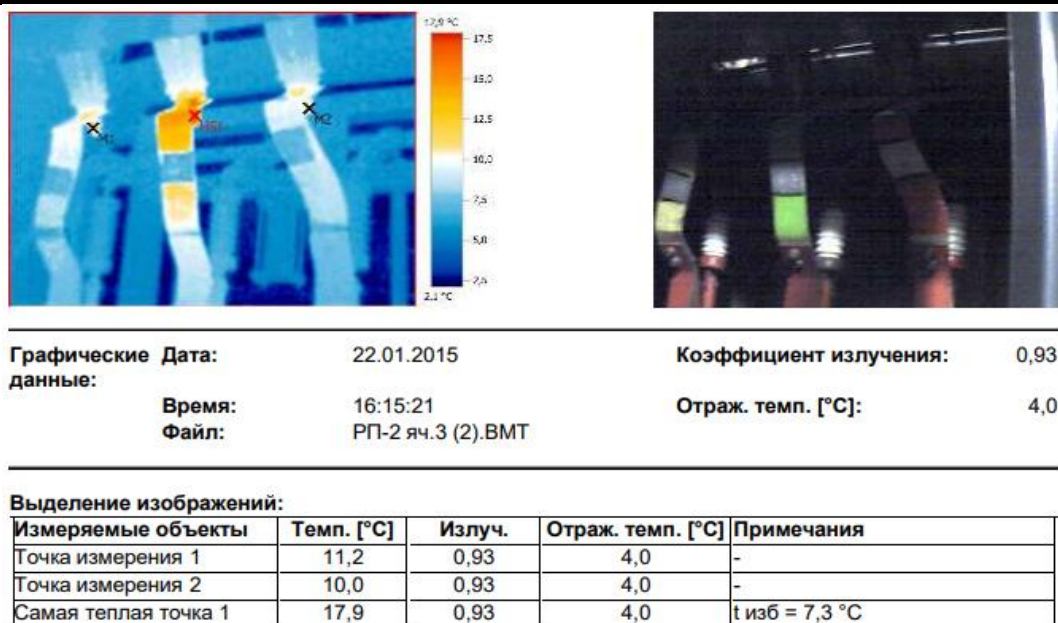


Рис.1. Результаты тепловизионной диагностики электрооборудования

Согласно традиционному методу тепловизионной диагностики по данному объекту значение температуры перегрева минимального в 10^0C не обнаружено [1][2], данное превышение температуры не является дефектом.

Предположим, что часть дефектов из данного анализа осталась не выявленной. Выполним расчёт в следующем подпункте.

Произведем расчет сопротивления по новой методике, представленной в работе [3], координату, по которой отсчитывается расстояние от контактной плоскости, примем равной $x = 0,1$ м. Размер медной шины $0,04 \times 0,003$ м, тогда сечение шины будет равно 120 мм^2 , проведение измерений будет на расстоянии $0,01$ м от точки контакта [4]. Диаметр поперечного сечения приведенный будет равен $d = (4 \cdot S / \pi)^{0,5} = (4 \cdot 120 \cdot 10^{-6} / 3,14)^{0,5} = 0,012$ м. Периметр равен $\Pi = 2 \cdot \pi \cdot d/2 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,039$ м.

Предположим, что контакты одинаково хорошего качества. При неравномерной нагрузке по фазам на объекте примем, что ток на фазах изменился, согласно формуле ниже:

$$I = \sqrt{\frac{\theta_n \cdot 2p\lambda S - \theta(x) \cdot 2p\lambda S}{-e^{-px} R_k}}, [A] \quad (1)$$

Расчет производим по данным, представленным выше:

$$I = \sqrt{\frac{\theta_n \cdot 2p\lambda S - \theta(x) \cdot 2p\lambda S}{-e^{-px} R_k}} = \sqrt{\frac{(\theta_{\text{среды}} - \theta(x)) \cdot 2 \sqrt{\frac{k_r \Pi}{\lambda S}} \lambda S}{-e^{-px} \frac{K_0}{(0,102P)^n}}} \quad (2)$$

$$= \sqrt{\frac{(11,2 - 2) \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 0,039}{900 \cdot 120 \cdot 10^{-6}}} \cdot 900 \cdot 120 \cdot 10^{-6}}{-e^{-\sqrt{\frac{3 \cdot 0,039}{900 \cdot 120 \cdot 10^{-6}}} \cdot 0,01} \cdot 0,005}}$$

$$= 18,009, [A]$$

Остальные участки рассчитываются аналогично. Выполнив расчет изменения силы тока при изменении температуры нагрева контактного соединения для двух материалов исполнения контактов, получим результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчёта силы тока по нагреву при нормированном значении сопротивления

Фаза	Расчетное сопротивление	Температура провода	Расстояние	Ток	Иср.
А	0,006	11,2	0,01	18,753	18,009
		9	0,1	17,265	
В		17,9	0,01	24,653	21,555
		10	0,1	18,457	
С		11	0,01	18,548	18,502
		10	0,1	18,457	

Расчет показал, что при предположении нормированного сопротивления контакта на проводе по фазам сила тока изменяется в зависимости от величины нагрева. Причем, на фазе В сила тока наибольшая согласно наибольшему нагреву. Контакт фазы В, в сравнении с фазами А и С, имеет наихудшее качество. Совместный анализ нескольких элементов, в рамках одного объекта позволяет уточнить параметры значения силы тока, проходящего через контактную зону и провести более качественный расчет сопротивлений.

Скорректировав значение силы тока в пределах нормируемых значений, проведем уточненный расчет сопротивлений.

При неравномерной нагрузке по фазам на объекте примем, что ток на фазах изменился, согласно:

$$I_A = I_{\text{НОМ}} / 1,1 = 18,94 / 1,06 = 17,87, [A] \quad (3)$$

$$I_B = I_{НОМ} \cdot 1,1 = 18,94 \cdot 1,1 = 20,83, [A] \quad (4)$$

$$I_C = I_{НОМ} / 1,1 = 18,94 / 1,04 = 18,21, [A] \quad (5)$$

Данные, полученные в результате расчета сопротивлений по уточненным значениям токов, сведем в таблицу 2.

Таблица 2

Расчёт сопротивления по нагреву при скорректированном значении силы
тока

Фаза	Ток	Температура провода	Расстояние	Расчетное сопротивление
А	17,87	11,2	0,01	0,0071
В	20,83	17,9	0,01	0,0093
С	18,21	11	0,01	0,0067

Расчет показал, что на фазе В значение сопротивления наибольшее согласно наибольшему нагреву. Контакт фазы В, в сравнении с фазами А и С, имеет наихудшее качество. Совместный анализ нескольких элементов, в рамках одного объекта позволяет уточнить параметры контактной зоны.

Имеет смысл опираться именно на данные [2], где превышение контактного соединения не должно быть более чем в 1,2 раза больше номинального. Нас интересует оптимизация работы. На момент фиксации перегрева не ясно, превышение тока это или дефект сопротивления, будем отталкиваться от значения сопротивления.

В электроустановках интервал изменения тока в процентах, как правило, определяется нормативными документами и зависит от конкретной электроустановки и ее назначения.

В России, например, согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ), интервал изменения тока в процентах определяется следующим образом:

- для электроустановок напряжением до 1 кВ включительно допускается отклонение тока не более $\pm 10\%$ от номинального значения;
- для электроустановок напряжением выше 1 кВ допускается отклонение тока не более $\pm 5\%$ от номинального значения.

Превышение в 1,2 раза для данного электрического контакта будет равно $0,0072 = 0,0060 \cdot 1,2$ – для нормального тока превышение сопротивления начнется со значения в 14,15 градусов температуры, в то же время для повышенного на 10% тока превышение сопротивления начнется со значения в 16,55 градусов температуры, а для пониженного на 10% тока превышение сопротивления начнется при 12,17 градусах температуры.

Принимая во внимание начало развития дефекта при максимальном превышении значения силы тока в электроустановках в 10% получаем, что нагрев в 17,9 градусов является более высоким значением чем порог в

16,55 градусов, при данном значении расчетное сопротивление будет выше нормируемого более чем в 1,2 раза, что является дефектом, требующим устранения.

В результате проведенных расчетов получаем, что благодаря предлагаемому методу расчета можно, зная технические характеристики контакта, отходящего от него провода, значению нагрузки на элемент электрооборудования, выполнить расчет сопротивления. Зная предел изменения тока от нагрузки, получаем расчетный нагрев, превышение которого означает неисправность в исследуемом оборудовании.

Список литературы:

1. Чернова, А. Д. Основы эксплуатации и технической диагностики электрооборудования: учебное пособие / А. Д. Чернова. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 120 с. – ISBN 978-5-7410-2415-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/160040> (дата обращения: 20.10.2025).

2. Нормы испытаний электрооборудования и аппаратов электроустановок потребителей [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – URL: <http://www.eleco.ru/lib1/docs/rules/rules4/rules4-pril3.html>/Загл. с экрана (дата обращения: 20.10.2025).

3. Ткаченко, Д. А. Применение методики оценки сопротивления контактного соединения на основании его нагрева / Д. А. Ткаченко // Наука и молодежь: Материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Барнаул, 15–19 апреля 2024 года. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2024. – С. 311-313. – EDN RQRDXR.

4. Таблица зависимости сечения кабеля от тока (мощности) [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – URL: <https://systemlines.ru/tekhnicheskie-i-vspomogatelnye-materialy/tablitza-zavisimosti-secheniya-kabelya-ot-toka-moshhnosti/?ysclid=19h586c97e446576564>/Загл. с экрана (дата обращения: 20.10.2025).

Информация об авторах:

Ткаченко Данил Алексеевич, студент гр. 0Э-51, АлтГТУ, 656038, г. Барнаул, ул. Некрасова, д. 41, tdanil842@gmail.com

Компанеец Борис Сергеевич, к.т.н., доцент, АлтГТУ, 656056, г. Барнаул, пр-кт Комсомольский 44, kompbs@mail.ru