

Урванцев Владислав Витальевич

заместитель директора по инвестиционной деятельности
«Рязаньэнерго» (филиал) ПАО «МРСК Центра и Приволжья»

г. Рязань, Рязанская область

Васильева Татьяна Николаевна

д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный
радиотехнический университет»

г. Рязань, Рязанская область

ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ

***Аннотация:** в работе определено влияние внешних факторов на тепловизионный контроль контактных соединений. Рассчитана зависимость температуры контактного соединения от угла между нормалью к поверхности излучения и осью оптической системы приемника и скорости ветра.*

***Ключевые слова:** тепловизор, внешние факторы, корреляционно-регрессионный анализ.*

Одним из методов контроля контактных соединений устройств и электрооборудования является тепловизионное обследование (ТВО). Метод неразрушающий, базируется на анализе температурных полей с помощью термограмм, получаемых на основе портативных инфракрасных камер – тепловизоров. Устройство фиксирует разницу температур (тепловое отражение), возникающих при прохождении тока через электрооборудование (расчетной (проектной) и измененной, которая возникает при его повреждении). Проведение тепловизионного обследования диагностики позволяет выявлять изменения в работе электрооборудования и определять неисправности в его элементах и тем самым предупреждать отказы в стадии их возникновения [1; 2]. Однако, при проведении исследования, на работу ТВО могут оказывать влияние коэффициент излучения материала ϵ , угол между нормалью к поверхности

излучения и осью оптической системы приемника, солнечная радиация, скорость ветра, расстояние до объекта, значение токовой нагрузки и другие факторы. Их воздействие необходимо учитывать, чтобы получать достоверные данные при проведении тепловизионного обследования электрооборудования, [1; 2; 5]. В связи с этим важным является определение факторов и степени их влияния на результаты тепловизионного контроля контактных соединений проводников на подстанциях.

Задачей проведенных исследований являлось повышение качества проведения тепловизионного контроля контактных соединений электрооборудования.

Целью исследования являлось определение влияния на результаты тепловизионного контроля контактных соединений проводников на подстанциях таких факторов, как скорость ветра и угол между нормалью к поверхности излучения и осью оптической системы приемника. В результате определить корреляционную зависимость температуры контактного соединения от их воздействия.

Материал и методика исследования. Определение зависимости и степени влияния факторов (скорость ветра и угол между нормалью к поверхности излучения и осью оптической системы приемника) выполнялись на основе корреляционно-регрессионного анализа [3], при проведении тепловизионного обследования контактных соединений электрооборудования и устройств подстанций Рязанского региона. Установили значимость связи между случайными величинами и возможность представления этой зависимости в форме математического выражения (уравнения регрессии).

Для оценки зависимости и степени влияния факторов при проведении ТВО контактных соединений оборудования решали систему уравнений следующего вида [3; 4]:

$$\begin{cases} T_1 = A_1 * e + B_1 * y + C_1 * v + D_1 * l + E_1 * i + F_1 * k; \\ T_2 = A_2 * e + B_2 * y + C_2 * v + D_2 * l + E_2 * i + F_2 * k; \\ \dots \\ T_n = A_n * e + B_n * y + C_n * v + D_n * l + E_n * i + F_n * k. \end{cases}$$

где: e – коэффициент излучения материала ε ; y – синус угла между нормальными к поверхности излучения и осью оптической системы приемника; v – скорость ветра, м/с; l – расстояние до объекта, м; i – значение токовой нагрузки, А; k – тепловое отражение, К.

Определяли зависимость показания температуры контактных соединений электрооборудования от следующих величин, °С: $A_1 \dots A_n$ – типа материала; $B_1 \dots B_n$ – угла измерения; $C_1 \dots C_n$ – скорости ветра; $D_1 \dots D_n$ – расстояния до объекта; $E_1 \dots E_n$ – токовой нагрузки; $F_1 \dots F_n$ – теплового отражения. $k_1 \dots k_n$ – токовой нагрузки; $T_1 \dots T_n$ – показания тепловизора (значения температур контактных соединений), °С. Влиянием коэффициента излучения материала ε пренебрегали, так как исследовали только контактные соединения из алюминия, [4].

Используя шкалу Чеддока [3; 4], определяли качественно-количественную оценку тесноты связей. Для расчета пользовались стандартным пакетом анализа данных Microsoft Excel «Регрессия».

Результаты исследования. Угол между нормальными к поверхности излучения и осью оптической системы приемника и температуры контактных соединений оказывает значительное влияние на результаты проведения тепловизионного обследования контактных соединений электрооборудования и устройств подстанций Рязанского региона (таблица 1).

Таблица 1

Угол между нормальными к поверхности излучения и осью оптической системы приемника и температуры контактных соединений

T, °С	54	45	77	44	33	65	30	65	38	55	41	55	48	77	75	71	34	30	44
y, град	60	65	51	66	68	58	72	53	67	55	75	67	71	51	47	53	67	74	72

Угол между нормальными к поверхности излучения и осью оптической системы приемника изменяется от 51 до 75 градусов. Количество измерений при угле выше 70 градусов составляет 23,8%, а при углах менее 55 градусов – также 23,8%. Вызвано это тем, что высота оборудования и точек, где производятся измерения, от уровня земли различная. Она колеблется от 0,4 м до 10 м.

Зависимость угла между нормальными к поверхности излучения и осью оптической системы приемника тепловизора от температуры контактных соединений может быть аппроксимирована прямой линией (рис. 1) и описывается выражением:

$$y = -1,5908x + 151,96.$$

Результаты регрессионного анализа составили: множественный коэффициент парной корреляции $R = 0,89$, расчетный коэффициент детерминации $R^2 = 0,7933$, нормированный коэффициент детерминации $R^2 = 0,78$, количество наблюдения = 21, t – критерий = 28,48, P – значение = 0.

Следовательно, зависимость Y от X близка к линейной ($y = b_0 + b_1x$), сила связи (по шкале Чеддока) сильная. Очевидно, что 79% вариации (изменчивости) температуры (T) объясняется количеством точек учета (y), остальная часть (21%) вариации температуры (y) необъяснима.

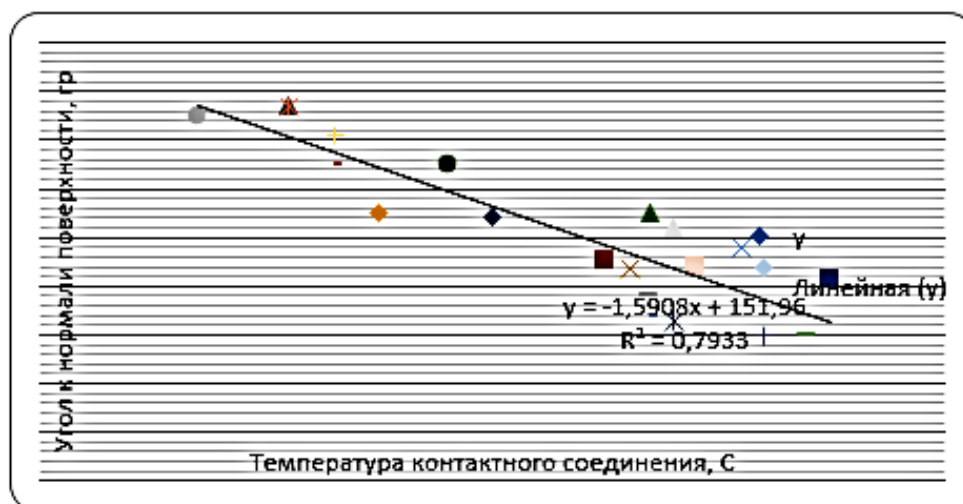


Рис. 1. Корреляционное поле зависимости температуры от угла нормали к поверхности

По нормативному ветровому давлению или скорости ветра Рязанская область относится к первому району с давлением до 400 Па и скоростью ветра до 25 м/с. Зафиксированные значения скорости ветра в период измерения температуры изменялись от 1 м/с до 8 м/с (таблица 2).

Таблица 2

Результаты измерения температуры от скорости ветра

Т, °С	56	50	32	38	49	27	37	34	26	35	34	21	9	19	14	20	4	6	11
v, м/с	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	8

Причем 47% измерений проводилось при скорости ветра более 5 м/с. Из них 16% изменений температуры зафиксировано при наибольшей скорости ветра, а 10,5% при наименьшей.

Функциональная зависимость температуры контактного соединения от угла между нормалью к поверхности излучения и осью оптической системы приемника и скорости ветра представляет собой прямую линию (рис. 2) и описывается выражением:

$$y = -0,1442x + 8,4665.$$

Получены следующие результаты регрессионного анализа: множественный коэффициент парной корреляции $R = 0,92$, расчетный коэффициент детерминации $R^2 = 0,8453$, нормированный коэффициент детерминации $R^2 = 0,83$, количество наблюдения = 19, t – критерий = 17,45, P – значение = 0.

Следовательно, зависимость Y от X близка к линейной ($y = b_0 + b_1x$), сила связи (по шкале Чеддока) сильная. При этом 84% вариации (изменчивости) температуры (T) объясняется количеством точек учета (v), остальная часть (16%) вариации температуры (v) необъяснима.

Проверка на адекватность коэффициентов регрессии также показала, что коэффициент должен быть признан значимым, так как его t – критерий по абсолютной величине превышает 2, а p – значение меньше или равно 0,05.

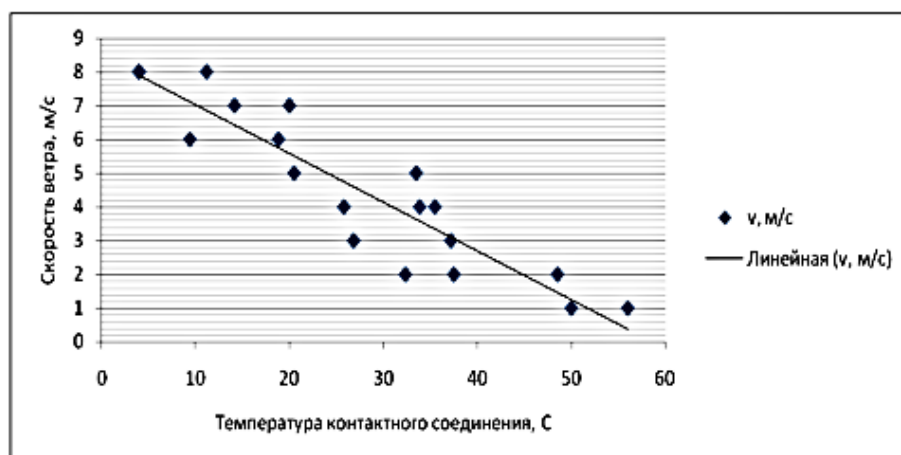


Рис. 2. Корреляционное поле зависимости температуры от скорости ветра

Зависимость температуры T контактного соединения от синуса угла между нормальными к поверхности излучения и осью оптической системы приемника B , а также скорости ветра C будет определяться формулой:

$$T = B \cdot 0,89 + C \cdot 0,92.$$

Следовательно, влияние угла измерения и скорости ветра на температуру контактного соединения проводников одинаково значительно (относительное изменение расчетных коэффициентов не превышает 4%).

Выводы:

1. Зависимость угла между нормальными к поверхности излучения и осью оптической системы приемника от температуры контактного соединения является линейной ($y = -1,5908x + 151,96$), сила связи (по шкале Чеддока) сильная. Изменчивость температуры в 79% объясняется количеством точек учета, остальная часть (21%) вариации температуры необъяснима.

2. Функциональная зависимость температуры контактного соединения от угла между нормалью к поверхности излучения и осью оптической системы приемника и скорости ветра также линейная ($y = -0,1442x + 8,4665$).

3. Влияние синуса угла измерения и скорости ветра на температуру контактного соединения проводников одинаково значительно (относительное изменение расчетных коэффициентов не превышает 4%).

4. Математическое описание процесса изменения температуры адекватно реальному процессу, так как коэффициенты регрессии признаны значимыми (t -

критерий по абсолютной величине превышает 2, а р-значение меньше или равно 0,05).

Список литературы

1. Белотелов Н.В. Сложность. Математическое моделирование. Гуманитарный анализ. – М.: ЛИБРОКОМ, 2009.
2. Королев А.Л.: Компьютерное моделирование. – М.: Бином; Лаборатория знаний, 2010.
3. РД 34.45–51.300–97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 164 с.
4. РД 153–34.0–20.363–99. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ. – М.: РАО «ЕЭС РОССИИ» – 139 с.