

2. ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ЛИНЕЙНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

УДК 621.332.3:656.2.022.846

Инж. А. П. МЯСОЕДОВ

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ УЗЛА ПОДВЕСКИ НЕСУЩЕГО ТРОСА ПО ЕГО ТЕПЛОВОЙ КАРТИНЕ

В настоящее время в разных отраслях технической деятельности широко внедряют бесконтактные методы контроля теплового состояния объектов. Такая же тенденция имеет место и в системе электроснабжения железных дорог России, где применение методов бесконтактного контроля является особенно актуальным для выявления дефектов на работающем оборудовании.

Известно, что для контроля тепловых полей электрооборудования применяются тепловизоры общего и специального назначения. Но не всегда при их использовании можно сделать вывод о работоспособности контролируемого объекта. Например, если при повреждении несущего троса контактной подвески в месте закрепления его в седле возникает локальная область повышенной температуры, то обнаружить развитие повреждения тепловизионными методами можно лишь по повышению температуры несущего троса в местах, не закрытых седлом.

В этой статье разработан подход к определению характера повреждения несущего троса, проходящего внутри седла, по измеренным тепловым полям участков троса, примыкающих к седлу.

Рассмотрим проводник, который расположен в седле подвески несущего троса.

Предположим, что в любом месте этого несущего троса длиной l возникает повреждение повивов, в результате чего за счет возрастания сопротивления температура несущего троса в этом месте повышается, т. е. можно считать, что к несущему тросу в данной точке подводится тепло.

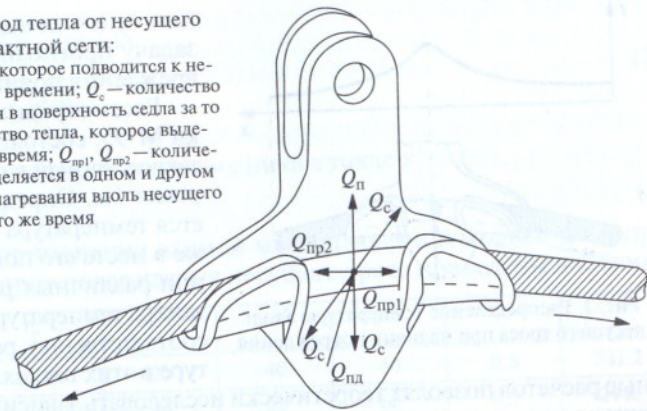
Тепловой баланс в точке, который учитывает подвод и отвод тепла, можно проиллюстрировать графически (рис. 1) [1].

Уравнение теплового баланса для рассматриваемой задачи будет иметь вид

$$Q_{\text{пл}} = 3Q_c + Q_n + Q_{\text{пр1}} + Q_{\text{пр2}}. \quad (1)$$

Примем, что по всей длине участка несущего троса, находящегося в седле, тепло в поверхность седла отводится с одинаковой интенсивностью. Аналогичное допущение сделаем и о том количестве тепла, которое равномерно выделяется по всей длине несущего троса в воздух.

Рис. 1. Подвод и отвод тепла от несущего троса контактной сети:
 $Q_{\text{пл}}$ — количество тепла, которое подводится к несущему тросу за единицу времени; Q_c — количество тепла, которое отводится в поверхность седла за то же время; Q_n — количество тепла, которое выделяется в воздух за то же время; $Q_{\text{пр1}}$, $Q_{\text{пр2}}$ — количество тепла, которое выделяется в одном и другом направлениях от места нагревания вдоль несущего троса за то же время



Следовательно, отдельными составляющими уравнения (1) можно пренебречь, оставив его в виде

$$\Delta Q_{\text{пл}} = Q_{\text{пр1}} + Q_{\text{пр2}}. \quad (2)$$

В работах [2, 3] доказано, что при исследовании характера распространения тепла в стержне избыточная температура ϑ изменяется по закону, который имеет экспоненциальный характер и описывается выражением

$$\vartheta = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx}, \quad (3)$$

где C_1 , C_2 — постоянные коэффициенты; x — текущая координата, вдоль которой изменяется температура; m — постоянный коэффициент, значение которого зависит от геометрии проводника, коэффициента теплоотдачи и коэффициента теплопроводности.

Поскольку при появлении точки повреждения в проводнике характер теплопередачи, согласно изложенным рассуждениям, имеет экспоненциальный вид, то закон изменения температуры t при распространении ее в обе стороны от точки повреждения можно описать выражениями

$$\begin{cases} t_1 = k_1 e^{b_1 x}; \\ t_2 = k_2 e^{b_2 x}, \end{cases} \quad (4)$$

где k_1 , b_1 , k_2 , b_2 — постоянные коэффициенты, характеризующие зависимость $t = f(x)$; t_1 , t_2 — зависимости, описывающие характер изменения температуры соответственно слева и справа от места повреждения.

Очевидно, что график распределения температуры вдоль несущего троса при наличии определенного места поврежденного повива будет иметь вид, который представлен на рис. 2, причем характер спада температуры является одинаковым в обе стороны от места нагревания повива.

Сканируя тепловое поле несущего троса, можно легко определить температуру на концах троса. Учитывая то, что есть техническая возможность измерения температуры несущего троса на определенном расстоя-

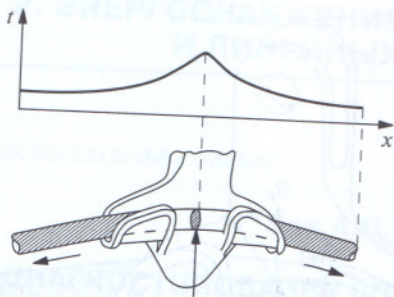


Рис. 2. Распределение температуры вдоль несущего троса при наличии повреждения

ные расчеты позволят теоретически исследовать зависимость между измеряемыми параметрами на тросе и температурой в месте его повреждения.

Известными являются значения температуры t_1 , измеренной в условном начале несущего троса ($x_1 = 0$), и t_2 , измеренной на конце несущего троса ($x_2 = l$). Известно также значение температуры t_3 , измеренной на расстоянии δ от конца проводника ($x_4 = l - \delta$).

Известные параметры отображены графически на рис. 3.

Составим две системы уравнений согласно выражению (4):

$$\begin{cases} t_1 = k_1 e^{b_1 \cdot 0}; \\ t_3 = k_1 e^{b_1 \delta}; \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} t_2 = k_2 e^{b_2 l}; \\ t_4 = k_2 e^{b_2 (l-\delta)}. \end{cases} \quad (6)$$

Анализ выражений (5) и (6) показывает, что коэффициенты b_1 и b_2 равны по абсолютному значению в обеих системах уравнений и отличаются только знаком, поскольку график спада температуры симметричен относительно точки нагревания.

Решив системы уравнений (5) и (6), найдем неизвестные коэффициенты k_1 , k_2 и b_1 .

Подставим найденные коэффициенты в систему уравнений (4) и, изменяя x в диапазоне от 0 до l , получим точку пересечения двух графиков, по которой найдем наибольшую температуру несущего троса в точке спрогнозированного повреждения повива x' (см. рис. 3).

С учетом указанных известных параметров аналитическое выражение нахождения координаты места повреждения, полученное в среде Mathcad 13, после подстановки соответствующих значений будет иметь вид

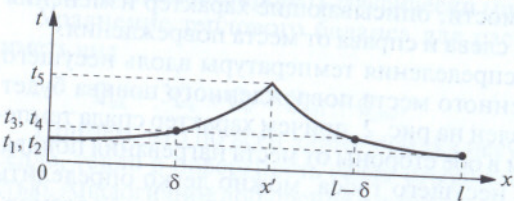


Рис. 3. Графическое изображение известных параметров

$$x' = \frac{\ln\left(\frac{t_4}{t_2}\right)l - \ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right)\delta}{\ln\left(\frac{t_4 t_3}{t_2 t_1}\right)} \quad (7)$$

Наибольшая температура проводника в точке x'

$$t_5 = k_1 e^{b_1 x'} \quad (8)$$

Результаты применения данной математической модели для определения параметров повреждения несущего троса приведены в таблице.

№ п/п	δ , м	t_1 , °C	t_2 , °C	t_3 , °C	t_4 , °C	X , м	t_5 , °C
1	0,2	20	20	40	40	0,5	331,2
2	0,2	20	20	60	60	0,5	2446
3	0,2	20	20	80	80	0,5	10431
4	0,3	20	20	40	40	0,5	99,7
5	0,3	20	20	60	60	0,5	404
6	0,3	20	20	80	80	0,5	995
7	0,4	20	20	40	40	0,5	57,5
8	0,4	20	20	60	60	0,5	156
9	0,4	20	20	80	80	0,5	315

Таким образом, анализ данных, полученных с помощью модели, показывает, что при ее использовании следует учесть два момента:

- место спрогнозированного повреждения несущего троса скрыто седлом;
- к определению координаты точки измерения на несущем тросе необходимо предъявить повышенные требования. Ошибка при измерении δ , на 10 см влечет за собой разницу в значениях t_5 , достигающую 58% (поз. 4 и 7 таблицы).

Исходя из приведенных расчетов можно сделать вывод о пригодности использованной модели для оценки повреждения несущего троса. В связи с этим следующим этапом должно стать экспериментальное определение адекватности модели поставленной задаче.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Математическая модель для диагностирования состояния изоляции работающей мощной электрической машины по ее тепловому портрету/В. В. Грабко [и др.] //Сб. статей Винницкого национального технического университета. 2008. № 1. С. 1–5.
2. Теплопередача/В. П. Исаченко [и др.]. М.: Энергоиздат, 1981. 416 с.
3. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача. М.: Высшая школа, 1988. 479 с.