

ПОВРЕЖДЕНИЯ НЕСУЩЕГО ТРОСА КОНТАКТНОЙ СЕТИ И ВЛИЯНИЕ ИХ НА ТЕМПЕРАТУРУ ТРОСА

Ключевые слова: система несущий трос — седло, контактное напряжение, повивы троса, распределение температуры нагрева

В системе электроснабжения железных дорог России взаимодействие несущего троса и седла, в котором он уложен, играет значительную роль. Оно определяет надежность электроснабжения и, следовательно, влияет и на скорость движения поездов. В последнее время в нашей стране наиболее эффективным считается техническое обслуживание и ремонт по фактическому состоянию. Такая система позволяет повысить надежность и снизить эксплуатационные расходы, а также производить техническое обслуживание оборудования в зависимости от его фактического технического состояния.

Для применения такого подхода к техническому обслуживанию системы «несущий трос — седло» необходима разработка метода диагностики внутренних повреждений несущего троса, который позволит выявить внутренние дефекты и тем самым предотвратить аварийные ситуации в связи с обрывом несущего троса [1].

Для построения такого метода важным условием является точное определение механизма развития повреждений и дефектов в эксплуатируемом несущем тросе и выявление физических признаков, наиболее чувствительных к появлению повреждений и дефектов и могущих послужить основой построения названного метода диагностики.

В настоящей статье рассмотрен механизм появления повреждений в наиболее используемом на контактной сети несущем тросе марки М-95 и влияние их на теплопроводность троса.

Последний конструктивно состоит из 19 повивов, а его разрез представлен на рис. 1.

A. P. Myasoedov. Messenger cable damages and their influence on cable temperature.

The analysis of messenger cable stress-state is presented including defining the most dangerous location when seat fastening and temperature distribution in cable. The actuality of elaborating method of copper messenger cable internal damage diagnostics is formulated.

Keywords: messenger cable — seat system, contact stress, cable windings, heat temperature distribution.

При анализе напряженного состояния несущего троса следует подчеркнуть, что при переходе троса через седло существенно изменяется характер напряженного состояния троса. Если в пролете несущий трос и повивы проволок испытывают практически чистое растяжение, то в зоне седла появляется поперечное давление и трос и повивы проволок оказываются в сложном напряженном состоянии. При этом появляются контактные напряжения между повивами проволок, характер и величина которых зависят от размещения проволок внутри троса. Наиболее нагруженными оказываются проволоки внутренних повивов, а в

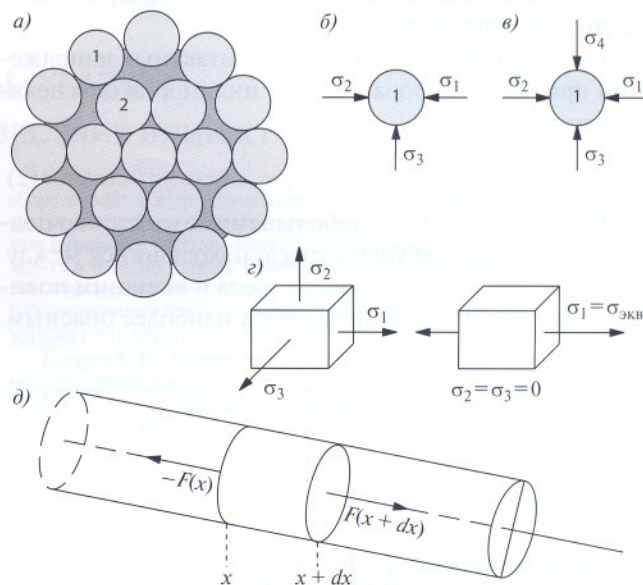


Рис. 1. Схемы формирования контактных напряжений для наружного и внутреннего повивов медного несущего троса и переход к одноосному напряженному состоянию повива:

а — несущий трос марки М-95 в разрезе; б — для наружного повива; в — для внутреннего повива; г — напряжения, действующие на повив несущего троса и их переход к эквивалентному напряжению; д — одноосное напряженное состояние повива медного несущего троса

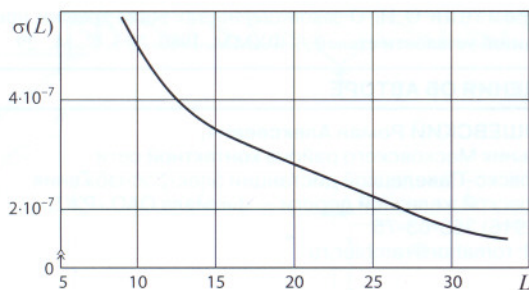


Рис. 2. График зависимости напряжения троса от расстояния до точки крепления

меньшей степени испытывают контактные напряжения проволоки внешнего повива.

Для оценки контактных напряжений между проволоками повивов наиболее приемлемыми являются модели, в которых проволоки представляются в виде цилиндров, контактирующих друг с другом при равномерном распределении давления по их длине. Для внешнего повива такая модель может быть представлена в виде двух цилиндров, а для внутреннего повива — в виде трех цилиндров, контактирующих между собой.

Используя отмеченные модели и решая контактную задачу теории упругости, получим:

- наибольшая интенсивность контактных напряжений между внешним и внутренним повивом при линейном распределении давления по высоте троса равна

$$\sigma_1 = 0,263 \sqrt{\frac{PE}{IR}}, \quad (1)$$

где P — величина опорной реакции на трос в седле; E — модуль упругости материала повива; l — длина площадки контактирования троса с седлом; R — диаметр проволоки повива;

- наибольшая интенсивность контактных напряжений при контактировании трех цилиндров определяется из выражения

$$\sigma_2 = 0,53 \sqrt{\frac{PE}{IR}}. \quad (2)$$

Отсюда видно, что наибольшему воздействию подвергается повив несущего троса, находящийся между центральной жилой несущего троса и внешним повивом. Именно этот повив является наиболее опасным

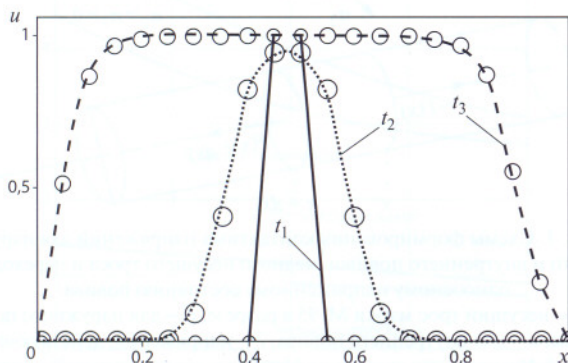


Рис. 3. График распределения температуры при повреждении жил медного несущего троса контактной сети

участком несущего троса при воздействии на него нагрузок большой величины [2].

Для дальнейших расчетов используем преобразование сложного напряженного состояния, в котором преобладают повивы троса (см. рис. 1, з). Такое состояние, вызывающее переход материала в пластическое, может быть заменено эквивалентным одноосным напряженным состоянием с помощью приведенных напряжений.

При объемном напряженном состоянии приведенные напряжения определяют по формуле

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}. \quad (3)$$

Определим наиболее опасное место в повивах троса при креплении в седле.

Для этого рассмотрим повив медного несущего троса [3], который находится в состоянии одноосного растяжения-сжатия (см. рис. 1, д). Ось x направлена вдоль оси стержня.

На выделенный сечениями x и $x + dx$ элемент действуют силы внутренних напряжений $-F(x) = -\sigma(x)S$ и $-F(x + dx) = -\sigma(x + dx)S$, где S — площадь сечения. На боковой поверхности силы не действуют, поэтому вектор напряжений равен нулю.

Если считать, что на стержень действуют силы с плотностью g , направленные вдоль оси стержня, то уравнение движения выделенного элемента можно получить, записав уравнение равновесия с учетом массовых сил и сил инерции

$$\sigma S |x + dx - \sigma S |x + \rho g S dx - \rho u S dx = 0, \quad (4)$$

которое после деления на dx приводит к дифференциальному уравнению движения цилиндрического стержня

$$\frac{\partial(\sigma S)}{\partial x} + \rho g S = \rho S \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (5)$$

где σ — напряжение; ρ — плотность материала; S — площадь сечения стержня; $u(x, t)$ — перемещения сечений стержня.

Для статических задач равновесия $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0$ уравнение (5) становится уравнением равновесия и позволяет определить распределение напряжений вдоль оси стержня

$$\frac{\partial(\sigma S)}{\partial x} + \rho g S = 0. \quad (6)$$

Для динамических задач уравнение (5) замыкается выражением для деформации и законом Гука

$$\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E}. \quad (7)$$

После соответствующих преобразований получаем решение дифференциального уравнения (6):

$$\sigma(L) = \frac{g}{a_0 h} e^{-\frac{\rho g L}{a_0}}, \quad (8)$$

где g — вектор силы тяжести; a_0 — предельное напряжение; h — сечение заданной толщины; ρ — плотность меди; L — длина рассматриваемого участка троса.

Данное дифференциальное уравнение было решено с помощью программного обеспечения MathCAD. В результате получаем решение (рис. 2).

При анализе графика видно, что в месте крепления несущего троса в седле напряжение максимально и при превышении им пластичности меди происходит удлинение несущего троса и, как следствие уменьшения сечения, — увеличение температуры нагрева. Наибольшая допустимая температура нагрева для медных проводов 100°C . При превышении этого значения происходит пепрежог жилы несущего троса, и она обрывается.

Для отражения наиболее полной физической картины распределения температуры нагрева при повреждении медного несущего троса используем одномерное динамическое уравнение [3]

$$\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} + \varphi(x,t,u). \quad (9)$$

Расчеты распределения температуры при нагреве выполним в среде MathCAD с построением результирующих графиков.

Наиболее интересное решение можно получить для нелинейного уравнения теплопроводности, например, с использованием нелинейного источника тепла, который наблюдается при уменьшении сечения повивов троса и их обрыве (рис. 3). В результате получается решение уравнения теплопроводности, имеющее профиль тепловых фронтов. С течением времени граница раздела высокой и низкой температуры распространяется в обе стороны от зоны первичного нагрева, оставаясь весьма четко выделенной.

По оси x откладывается условная длина стержня, а по оси y — значения функции распределения температуры. На графике (см. рис. 3) условными обозначениями показано распространение тепловых фронтов с течением времени. Причем $t_1 < t_2 < t_3$,

Степень отжига провода определяется температурой нагрева, его продолжительностью и в значительной мере зависит от состава материала провода. Чем выше температура, тем быстрее происходит отжиг провода. Нагрев провода до температуры $300...350^{\circ}\text{C}$, хотя бы кратковременный (в течение нескольких минут), вызывает полный отжиг провода. Предел прочности медного провода снижается при этом с 90 до $24...25 \text{ кг/мм}^2$.

У большинства материалов предел прочности, предел текучести и модуль упругости с ростом температуры уменьшаются, а пластические свойства повышаются.

Выводы. В результате выполненных расчетов видно, что наиболее уязвимыми при эксплуатации являются внутренние повивы несущего троса. Их повреждение ведет к увеличению температуры троса в месте крепления, понижению механической прочности и, как следствие, обрыву. С появлением обрывов проволок в тросе изменяется его температурное поле, что может явиться диагностическим признаком при оценке состояния троса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борц Ю.В., Чекулаев В.Е. Контактная сеть. М.: Транспорт, 2001. 247 с.
2. Беляев Н.М. Сопrotивление материалов. М.: Физматгиз, 1962. 856 с.
3. MathCAD 13. Наиболее полное руководство. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 608 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

МЯСОЕДОВ Алексей Петрович,
технический директор ООО «Новатор-2008».
143090, г. Краснознаменск Московской области,
ул.Победы, д. 6 «Р».
Тел: (498) 676-18-10.
E-mail: myasoedov@inbox.ru