

ТЯГОВАЯ КОНТАКТНАЯ СЕТЬ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ - ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ПОРАЖЕНИЯ ГОРНОРАБОЧИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Проблема обеспечения безопасности вообще и электробезопасности в частности работников горнометаллургической отрасли, всегда была и остаётся проблемой острой и ждущей своего разрешения. К сожалению, в последние десятилетия эта проблема дополнительно охарактеризовалась увеличением числа электротравм в отрасли [1].

Анализ исследований и публикаций. Как показывают результаты исследований [1 - 5] наиболее травмоопасными электроустановками в электротехнических комплексах подземных железорудных предприятий являются тяговые контактные сети (КС) электровозной откатки. В этой связи целесообразно рассмотреть методические принципы исследования указанных электроустановок как источников опасности.

Постановка задания. Целью исследований является оценка электрических параметров тяговой контактной сети железорудных шахт как базиса для разработки устройств защиты горнорабочих от поражения электрическим током.

Изложение материалов и результатов исследований. Шахтная контактная сеть обладает рядом характеристик, обуславливающих процесс ее функционирования [4]. К числу таковых относятся, прежде всего, её параметры, в том числе параметры изоляции. Кроме этого, контактная сеть, как источник поражения, характеризуется действующим в ней напряжением, которое имеет специфический пульсирующий характер, а при применении защит от утечек тока с временным разделением рабочего и оперативного токов, имеет еще и фазовые отсечки [2].

Определение параметров КС, а затем расчёт параметров изоляции можно осуществить на основании теории линии с распределительными параметрами. Справедливость указанного методического подхода может быть подтверждена следующим:

КС достигают значительной длины;

ёмкость КС, слагающаяся из ёмкости троллея и ёмкостей изоляторов, а также активная проводимость изоляции, обусловленная утечками тока на землю через изоляторы, имеет распределительный характер, что обуславливает непрерывное изменение тока и напряжения в КС при переходе от одной точки к другой вдоль длины линии;

если считать, что снижение сопротивления изоляции каждой отдельно взятой КС происходит под влиянием одинаковых внешних условий (изоляторы находятся в пределах одной выработки), а изменение сопротивления петли «контактный провод - рельсовый путь» вдоль длины равномерно (износ вследствие трения), то поперечные и продольные сопротивления участков КС одинаковой длины можно принять равными друг другу.

Таким образом, КС правомерно считать однородной линией с распределительными параметрами.

В этом случае первичные параметры КС (продольное сопротивление R_0 , индуктивность L_0 , поперечную проводимость G_0 , ёмкость C_0) можно определить, зная волновое сопротивление КС Z_c и постоянную распространения γ

$$\gamma Z_c = R_0 + j\omega L_0, \quad (1)$$

$$\gamma Z_c^{-1} = G_0 + j\omega C_0, \quad (2)$$

Параметры Z_c и γ определяются через исходные сопротивления контактной сети в режимах холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ)

$$Z_c = (Z_{\text{вххх}} \cdot Z_{\text{вккк}})^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\text{th}\gamma l = (Z_{\text{вккк}} \cdot Z_{\text{вххх}})^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

где $Z_{\text{вххх}}, Z_{\text{вккк}}$ - входные сопротивления КС в режимах ХХ и КЗ; l - длина КС.

Задача определения значений входных сопротивлений КС в режимах КЗ и ХХ сводится к определению напряжения и тока в начале КС, а также угла между ними в соответствующих режимах в комплексной форме

$$Z_{вх.хх} = \frac{U_{0хх}}{I_{0хх}} \cdot e^{j\varphi_{хх}} \quad (5)$$

$$Z_{вх.кз} = \frac{U_{0кз}}{I_{0кз}} \cdot e^{j\varphi_{кз}} \quad (6)$$

где $U_{0хх}$, $I_{0хх}$, $\varphi_{хх}$ - значения напряжения, тока и угла между ними в начале КС при режиме ХХ; $U_{0кз}$, $I_{0кз}$, $\varphi_{кз}$ - значения напряжения, тока и угла между ними в начале КС при режиме КЗ.

При определении сопротивления изоляции КС, наряду с прочими факторами, следует учитывать род тока. В связи с этим целесообразно оценить сопротивление изоляции КС при переменном токе частотой 50 Гц (применяемом для определения первичных параметров КС) и постоянном выпрямленном трехфазной мостовой схемой (применяемом для питания электровозной откатки). Указанную оценку можно дать с использованием коэффициента эквивалентности K_z , рассчитанного по формуле

$$K_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{R_{и.в.д.и}}{R_{и.в.д.в}}, \quad (7)$$

где $R_{и.в.д.и}$, $R_{и.в.д.в}$ - сопротивления изоляции i -й КС, соответственно, выпрямленному и переменному току;

n - количество КС в экспериментальной выборке.

Модуль входного сопротивления является функцией напряжения и тока на входе КС (у ТП). Абсолютная погрешность модуля входного сопротивления определяется согласно выражению

$$Z_{ex.} = \sqrt{(\partial Z_{ex.} / \partial U)^2 \Delta U^2 + (\partial Z_{ex.} / \partial I)^2 \Delta I^2}, \quad (8)$$

Учитывая функциональную связь между модулем входного сопротивления, напряжением и током, а также рассматривая режимы измерений в КС при ХХ и КЗ, после соответствующих преобразований получаем выражения

$$\Delta * Z_{ex.хх} = \frac{r_{э.а.}}{Z_{ex.хх}}, \quad (9)$$

$$\Delta * Z_{ex.кз} = \frac{Z_{ex.кз}}{r_{э.в.}}, \quad (10)$$

где $r_{э.а.}$ и $r_{э.в.}$ - эквивалентные сопротивления цепей тока и напряжения измерительных приборов.

С учетом того, что минимальные значения $Z_{ex.хх}$ составляют единицы кОм, а $r_{э.а.}$ - единицы Ом, относительная погрешность $\Delta * Z_{ex.хх}$ будет на уровне, не превосходящем единицы процента. Сопротивления короткозамкнутой КС $Z_{ex.кз}$ составляют единицы Ом, тогда как сопротивление $r_{э.в.}$ - единицы кОм. Тем самым относительная погрешность при измерениях в режиме к.з. не будет превышать единицы процента.

Косинус угла между током и напряжением, определяющий значение аргумента, является функцией мощности, напряжения и тока.

Учитывая функциональную зависимость $\cos \varphi$ от мощности, напряжения и тока, а также рассматривая режимы измерений в КС при ХХ и КЗ, после соответствующих преобразований получаем выражения для определения относительных погрешностей коэффициентов мощностей

$$\Delta * \cos \varphi_{хх} = \frac{\sqrt{2} r_{э.а.}}{Z_{ex.хх} \cdot \cos^2 \varphi_{хх}}, \quad (11)$$

$$\Delta * \cos \varphi_{кз} = \frac{\sqrt{2} Z_{ex.кз}}{r_{э.в.} \cdot \cos^2 \varphi_{кз}}, \quad (12)$$

Как видно из графиков (рис. 1) для выражений (11) и (12), в режиме ХХ пятипроцентная относительная погрешность $\Delta * \cos \varphi_{хх}$ будет иметь место при $Z_{ex.хх} \leq 9$ кОм и $\cos \varphi_{хх} = 0,2$; в

режиме к.з. пятипроцентная относительная погрешность будет иметь место при $\Delta * Z_{\text{вх.к.з.}} \geq 4,5$ кОм и $\cos \varphi_{\text{к.з.}} = 0,2$.

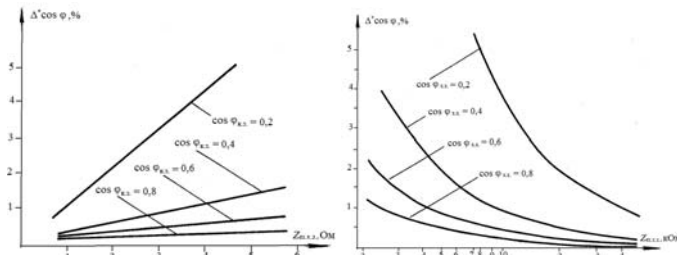


Рис. 1. Графики изменения относительной погрешности коэффициента мощности в режимах холостого хода *a* и короткого замыкания *б*

Указанный уровень погрешности можно считать удовлетворительным, тем более, что приведенные неблагоприятные, с точки зрения погрешности измерений, сочетания параметров имеют малую вероятность.

Выпрямленное пульсирующее напряжение КС характеризуется коэффициентами пульсаций, равными соответственно: 0,057 - при трехфазной мостовой схеме соединения и при схеме "звезда - две обратные звезды с уравнивающим реактором"; 0,250 - при трехфазной схеме с нулевым выводом. С увеличением нагрузки в кривой выпрямленного напряжения появляются коммутационные участки.

Величину гармонических составляющих, с учетом явления коммутации, аналитически можно определить, интегрируя кривую выпрямленного напряжения в пределах периода повторности на внекоммутационном и коммутационном участках.

Однако, при этом не учитывается ряд факторов, имеющих место в КС. В частности, нагрузка тяговой сети содержит встречную ЭДС; элементы устройства связи, автоматического управления и блокировок имеют в составе емкости и т.д. В связи с этим анализ формы кривой напряжения по аналитическим выражениям не охватывает все условия, в которых эксплуатируется электровозная откатка горнодобывающих предприятий. Тем самым, аналитическое исследование электрических процессов в КС затруднено вследствие сложностей, возникающих при учёте ряда факторов, изменяющих их форму. В силу этого исследование КС целесообразно осуществлять экспериментальным путем в условиях непосредственно производства.

Выводы и направления дальнейших исследований. 1. Приведенные методические принципы позволяют исследовать КС как источник опасности поражения электрическим током горнорабочих подземных выработок железорудных шахт при несанкционированном, но реально возможном прикосновении их к контактному проводу.

2. Выбор КС для исследования должен проводиться, исходя из возможно максимального учёта разновидностей типов применяемого электротехнического и электромеханического оборудования (понижающие трансформаторы, преобразовательные агрегаты, электрозоны и др.)

Список литературы

1. **Синчук Ю.О., Скапа Є.І.** Електроотравитизм і шляхи його зменшення при експлуатації електрифікованих видів транспорту на підземних гірничорудних підприємствах./ «Електромеханічні та енергетичні системи і методи моделювання та оптимізації». Збірник наукових праць ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук: КНУ, 2011. – С. 338-339.
2. **Электробезопасность рудничной откатки** **О.Н. Синчук, Э.С. Гузов, А.Г. Ликаренко, А.Г. Животовский.** – К.: Техника, 1988. – 188 с.
3. **Щуцкий В.И., Ляхомский А.В., Израитель С.А.** Электротравматизм и пути его снижения на горнодобывающих предприятиях чёрной металлургии. – Горный журнал, 1979, №3. – С. 55-57.
4. **Щуцкий В.И., Глухарёв Ю.Д., Ляхомский А.В.** Исследование параметров контактных сетей подземной электровозной откатки. – Известия ВУЗов – Горный журнал, 1976, №2. – С. 159-161.
5. **Синчук О.Н., Гузов Э.С.** Исследование сопротивлений подключений к контактной сети. Безопасность и надежность электроснабжения горнорудных предприятий. Тезисы докладов и сообщений III-й Всесоюзной научной конференции «Электробезопасность на горнорудных предприятиях чёрной металлургии СССР» - Днепропетровск, 1982. – С. 31-32.

Рукопись поступила в редакцию 25.02.13