

экскаваторов. ОАО «Электропривод», М.: Изд-во «ЗНАК», 2002. – 114 с.

4. А.Н. Закладной, О.А. Закладной. Энергоэффективный электропривод с вентильными двигателями. Монография. – К: Либра, 2012. – 187 с.

Рукопись поступила 19.09.2013 г.

УДК 658.8:622.8:621.311

*И.О. Синчук, канд. техн. наук, доцент кафедры АЕСПТ
А.А. Харитонов, старший преподаватель кафедры ЕПЕМ,
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»*

КОНТАКТНЫЕ СЕТИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ КАК ИСТОЧНИК ПОРАЖЕНИЯ ГОРНОРАБОЧИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

В статье проводится оценка параметров тяговых контактных сетей при эксплуатации в современных условиях, так как комплексное исследование параметров контактных сетей в условиях отечественных железорудных шахт, в требуемом для обобщения объёме, ранее не проводилось. Определены входные сопротивления контактной сети в режиме холостого хода и короткого замыкания для 5-ти процентной относительной погрешности. Приведенные методические принципы позволяют выполнить исследования КС как источника опасности.

Ключевые слова: контактный провод, электротравматизм, относительная погрешность, тяговая контактная сеть, сопротивление.

У статті проводиться оцінка параметрів тягових контактних мереж при експлуатації в сучасних умовах, тому що комплексне дослідження параметрів контактних мереж в умовах вітчизняних залізрудних шахт, у необхідному для узагальнення обсязі, раніше не проводилося. Визначені вхідні опори контактної мережі в режимі холостого ходу й короткого замикання для 5-ти процентної відносної погрешності. Наведені методичні принципи дозволяють виконати дослідження КС як джерела небезпеки.

Ключові слова: контактний провід, електротравматизм, відносна погрешність, тягова контактна мережа, опір.

In article the assessment of parameters of traction contact networks is carried out at operation in modern conditions as complex research of parameters of contact networks in the conditions of domestic iron ore mines, in the volume demanded for generalization, wasn't carried out earlier. Entrance resistance of a contact network in a mode of idling and short circuit for 5 percentage relative errors are determined. The given methodical principles allow to execute researches KS as danger source.

Keywords: contact wire, electrotraumatism, relative error, traction contact network, resistance.

Актуальность проблемы при решении научных и прикладных задач. Основным видом транспорта железорудных шахт является

электровозный. На этих шахтах, как правило, эксплуатируются так называемые рудничные контактные электровозы типов К10 и К14. Источником питания таких электровозов является тяговая контактная сеть.

Специфику электротравматизма [1] в условиях железорудных шахт, а также большой удельный вес или, что более верно, значимость исследования ТКС как источника поражения горнорабочих электрическим током подтверждают данные таблицы.

Основные причины электротравматизма по горным отраслям

Причины электротравматизма	Распределение по отраслям, % к итогу			
	Уголь- ные предп- риятия	Желе- зородные предп- риятия	Уголь- ные предп- риятия	Желе- зородные предп- риятия
	открытые работы		подземные работы	
1. Прикосновение к токоведущим частям, в том числе и к оголенным проводам;	24,0	35,4	9,7	18,8
-к контактному проводу;	10,1	10,8	37,1	75,0
-к кабелям и проводам с нарушенной изоляцией;	5,1	3,0	8,1	-
-при работе без снятия напряжения;	36,7	30,8	8,9	-
-при ошибочной подаче напряжения во время обслуживания;	8,9	9,2	7,2	6,2
-прочие.	7,6	1,6	2,4	-
2. Прикосновение к корпусам, оказавшимся под напряжением в следствие:				
-замыканий на корпус или снижения изоляции ниже допустимого уровня;	7,6	3,0	25,0	-
-дефектов монтажа токоведущих и заземляющих жил;	-	-	1,6	-
-касание машин, механизмов проводов ЛЭП;	9,2	6,2	-	-
-прочие.	9,2	-	-	-

Тяговые контактные сети шахт питаются напряжением 275В от тяговых подстанций типа АТП – 500/275 оборудованных тиристорными преобразователями, а технология и оборудование откатки на всех шахтах практически одинаковые.

Однозначным фактором использования тяговых контактных сетей является реальная возможность прикосновения к ним, а точнее к контактному проводу (КП), горнорабочих [2].

Как свидетельствует статистика в 100% таких несанкционированных прикосновений – электротравмы становятся смертельными [1].

Цель исследований. Оценка параметров контактных сетей связана с особенностями эксплуатации в современных условиях, собственно ухудшение их в связи с понижением уровня ведения горных работ и протяженности откаточных горизонтов, от чего изменяются электрические параметры источника поражения – контактной сети железорудных шахт.

От оценки этих параметров зависит работоспособность УЗО, т.е. исход поражения горнорабочих электрическим током.

Материалы исследований. Необходимость оценки параметров рудничных контактных сетей возникает всякий раз, когда разрабатываются или эксплуатируются устройства или системы, связанные с контактной сетью. Например, защита от поражения людей электрическим током с частотным или полярным разделением; защиты от коротких замыканий контактной сети, использующие полные токи, переходные процессы, гармонические составляющие тока; высокочастотная связь по контактной сети между диспетчером и машинистами электровозов; телеуправление электровозами при погрузке руды.

Все эти системы специфичны и предполагают различный подход к исследованию параметров контактных сетей. Поэтому проводимые исследования выполнялись в различном объеме и с различными целями [2]. Комплексное исследование параметров контактных сетей в условиях отечественных железорудных шахт, в требуемом для обобщения объеме, ранее не проводилось.

При исследовании системы защитного отключения необходимо: определить активную проводимость изоляции, емкость, индуктивность, активное сопротивление контактных сетей в диапазоне 0-1000 Гц; измерить сопротивления подключений к контактным сетям; величины наводок постоянного и переменного токов на секциях контактных сетей; исследовать схемы контактных сетей и определить количество подключений к ним, а также дать рекомендации по исходным параметрам для разработки систем защитного отключения.

Контактная сеть как источник опасности обладает рядом характеристик, обуславливающих ее надежную и безопасную работу. К

таким характеристикам, прежде всего, относятся параметры контактной сети, в частности, параметры изоляции.

Кроме этого, контактная сеть, как источник поражения, характеризуется действующим в ней напряжением, которое имеет специфический пульсирующий характер, а в ряде случаев, например, при применении защит от утечек тока с временным разделением рабочей и оперативного токов, имеет фазовые отсечки.

Определение параметров к.с., а затем расчет параметров изоляции можно осуществить, если распространить на к.с. положения теории линии с распределенными параметрами. Справедливость указанного методического подхода может быть подтверждена следующим.

КС достигают значительной длины. Емкость КС, слагающаяся из емкости троллей и емкостей изоляторов, а также активная проводимость изоляции, обусловленная утечками тока на землю через изоляторы, имеет распределительный характер, что обуславливает непрерывное изменение тока и, напряжения в к.с. при переходе от одной точки к другой вдоль длины линии. Если считать, что сужение сопротивления изоляции каждой отдельно взятой к.с. 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. На этом основании КС правомерно считать однородной линией с распределенными параметрами.

В этом случае первичные параметры КС (продольное сопротивление R_o , индуктивность L_o , поперечную проводимость G_o , емкость C_o можно определять, зная волновое сопротивление КС, Z_c и постоянную распространения γ :

$$\gamma Z_c = R_o + j\omega L_o. \quad (1)$$

$$\gamma Z_c^{-1} = G_o + j\omega C_o. \quad (2)$$

Параметры Z_c и γ определяются через исходные сопротивления контактной сети в режимах холостого хода (х.х.) и короткого замыкания (к.з.):

$$Z_c = (Z_{\text{вх.х.х}} \cdot Z_{\text{вх.к.з}})^{\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

$$th\gamma L = (Z_{\text{вх.к.з}} \cdot Z_{\text{вх.х.х}})^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

где $Z_{\text{вх.х.х}}$, $Z_{\text{вх.к.з}}$ – входные сопротивления к.с. в режиме х.х и к.з.; L – длина к.с.

Задача определения значений входных сопротивлений к.с. в режимах к.з. и х.х. сводится к определению напряжения и тока в начале к.с, а также угла между ними в соответствующих режимах:

$$Z_{\text{вх.х.х}} = \frac{U_{\text{ох.х}}}{I_{\text{ох.х}}} \cdot e^{j\varphi_{\text{х.о}}} \quad (5)$$

$$Z_{\text{вх.к.з}} = \frac{U_{\text{ок.х}}}{I_{\text{ок.х}}} \cdot e^{j\varphi_{\text{х.з}}} \quad (6)$$

где $U_{\text{ох.х}}, I_{\text{ох.х}}, \varphi_{\text{х.х}}$ – значение напряжения, тока и угла между ними в начале к.с. при режиме х.х.; $U_{\text{ок.х}}, I_{\text{ок.х}}, \varphi_{\text{к.з}}$ – значение напряжения, тока и угла между ними в начале к.с. при режиме к.з.

При определении сопротивления изоляции КС, наряду с прочими факторами, следует учитывать род измерительного тока. В связи с этим целесообразно дать оценку сопротивлению изоляции к.с. при переменном измерительном токе частотой 50 Гц (применяемом для определения первичных параметров КС) и при выпрямленном с помощью трехфазной мостовой схемы токе (применяемом для питания электровозной откатки). Указанную оценку можно дать с помощью коэффициента эквивалентности, рассчитанного по формуле:

$$K_3 = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^h \frac{R_{\text{из.в.и}}}{R_{\text{из.а.и}}} \quad (7)$$

где $R_{\text{из.в.и}}, R_{\text{из.а.и}}$ – сопротивления изоляции i -той к.с. соответственно, выпрямленному и переменному току; h – количество к.с. в экспериментальной выборке.

Для определения угла между напряжением и током в начале к.с. можно использовать выражение:

$$\cos \varphi = P \cdot U^{-1} \cdot I^{-1} \quad (8)$$

где P, U, I – показания приборов схемы при соответствующих режимах измерения.

Оценка погрешностей определения входных сопротивлений контактной сети состоит в оценке погрешностей определения их модулей и аргументов.

Модуль входного сопротивления является функцией напряжения и тока на входе к.с. Абсолютную погрешность определения модуля входного сопротивления можно найти из выражения:

$$Z_{\text{вх}} = \sqrt{\partial Z_{\text{вх}} / \partial U^2 + (\partial Z_{\text{вх}} / \partial I)^2 \Delta I^2} \quad (9)$$

Учитывая функциональную связь между модулем входного сопротивления, напряжением и током, а также рассматривая режимы измерений в к.с. при х.х. и к.а., после соответствующих преобразований получаем выражения для относительных погрешностей определения модулей входящих сопротивлений:

$$\Delta_* Z_{\text{ex.x.x}} = \frac{Z_{\text{Э.А}}}{Z_{\text{ex.x.x}}}, \quad (10)$$

$$\Delta_* Z_{\text{ex.к.з}} = \frac{Z_{\text{ex.к.з}}}{Z_{\text{Э.В}}}, \quad 1)$$

где $Z_{\text{Э.А}}$, $Z_{\text{Э.В}}$ – эквивалентные сопротивления цепей тока и напряжения измерительных приборов.

С учетом того, что минимальные значения $Z_{\text{ex.x.x}}$ составляют единицы кОм, а $Z_{\text{Э.А}}$ – единицы Ом, относительная погрешности $\Delta_* Z_{\text{ex.x.x}}$ будет на уровне, не превосходящем единицы процента. Сопротивления короткозамкнутой контактной сети $\Delta_* Z_{\text{ex.к.з}}$ составляют единицы Ом, тогда как сопротивление $Z_{\text{Э.В}}$ – 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. Абсолютная погрешность определения:

$$\Delta \cos \varphi = \sqrt{(\partial \cos \varphi / \partial P)^2 \Delta P^2 + (\partial \cos \varphi / \partial U)^2 \Delta U^2 + (\partial \cos \varphi / \partial I)^2 \Delta I^2}. \quad (12)$$

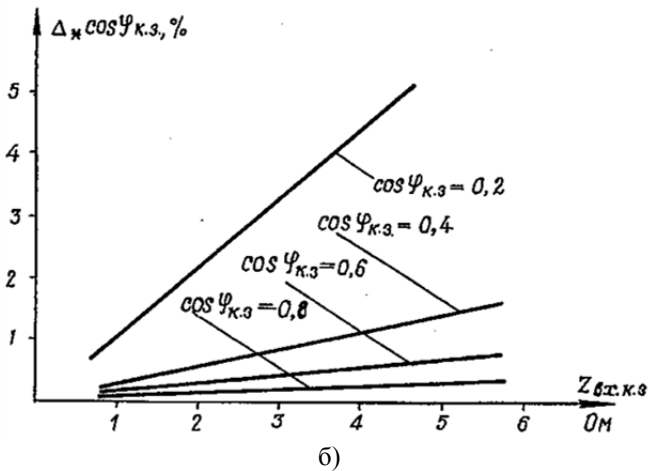
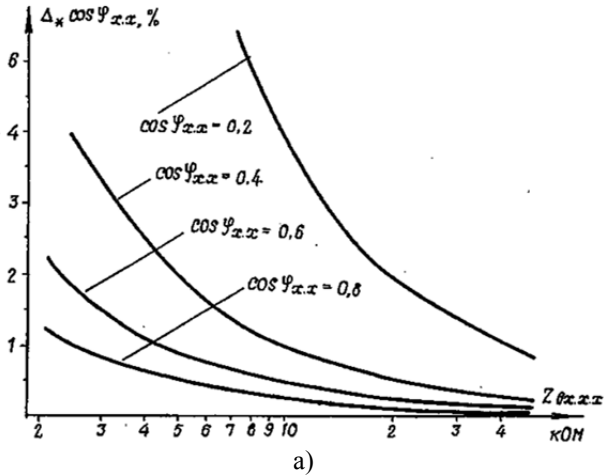
Учитывая функциональную зависимость от мощности, напряжения и тока, а также рассматривая режимы измерений в к.с. при х.х. и к.з., после соответствующих преобразований получаем выражения для относительных погрешностей:

$$\Delta_* \cos \varphi_{\text{x.x}} = \frac{\sqrt{2} \cdot Z_{\text{Э.А}}}{Z_{\text{ex.x.x}} \cdot \cos^2 \varphi_{\text{x.x}}}, \quad (13)$$

$$\Delta_* \cos \varphi_{\text{к.з}} = \frac{\sqrt{2} \cdot Z_{\text{ex.к.з}}}{Z_{\text{Э.В}} \cdot \cos^2 \varphi_{\text{к.з}}}. \quad (14)$$

Как видно из графиков (рис.) в режиме х.х. 5%-ная относительная погрешность $\cos \varphi_{\text{x.x}}$ будет иметь место при $Z_{\text{ex.x.x}} < 9$ кОм и $\cos \varphi_{\text{x.x}} = 0,2$; в режиме к.з. 5%-ная относительная погрешность будет иметь место при $Z_{\text{ex.к.з}} \geq 4,5$ кОм и $\cos \varphi_{\text{к.з}} = 0,2$. Указанный уровень погрешности можно считать удовлетворительным, тем более, что указанные неблагоприятные, с

точки зрения погрешности измерений, сочетания параметров имеет малую вероятность.



Погрешности определения $\cos \varphi$ в режимах холостого хода (а) и короткого замыкания (б)

Выпрямленное напряжение КС характеризуется коэффициентами пульсаций, равными соответственно: 0,057 – при трехфазной мостовой схеме

и при схеме "звезда – две обратные звезды с уравнительным реактором"; 0,250 – при трехфазной схеме с нулевым выводом. С увеличением нагрузки в кривой выпрямленного напряжения появляются коммутационные участки.

Величину гармонических колебаний с учетом явления коммутации аналитически можно определить, интегрируя кривую выпрямленного напряжения в пределах периода повторяемости на двух участках: внекоммутационного и коммутационного. Однако при этом не учитывается ряд факторов, имеющих место в КС. В частности, нагрузка тяговой сети содержит встречную э.д.с; 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 всех условий, в которых эксплуатируется электровозная откатка горнодобывающих предприятий.

Выводы.

1. Аналитическое исследование электрических процессов в КС затруднено вследствие сложностей, возникающих при учете ряда факторов, изменяющих форму процессов. В силу этого исследование электрических процессов в КС целесообразно осуществлять экспериментальным путем в условиях непосредственно производства.

2. Выбор КС для исследования должен производиться, исходя из возможности максимального охвата разновидностей типов применяемого электротехнического и электромеханического оборудования (понижающие трансформаторы, преобразовательные агрегаты, электровозы и др.).

3. Приведенные методические принципы позволяют выполнить исследования КС как источника опасности.

Список использованных источников

1. Гладилин Л.В., Щуцкий В.И., Бацежев Ю.Г. Электробезопасность в горнодобывающей промышленности. – М.: Недра, 1997. – 327 с.

2. Синчук О.Н., Гузов Э.С., Ликаренко А.Г., Электробезопасность рудничной откатки. – К.: Техніка, 2009. – 188 с.

3. Синчук И.О. Тяговая контактная сеть железорудных шахт – потенциальный источник поражения горнорабочих электрическим током // Горный вестник. – №96. – 2013. – С. 288-290.

Рукопись поступила 13.09.2013 г.