

УДК 658.8:622.8:621.311

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ПЕРВИЧНЫХ КРИТЕРИЕВ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЯГОВЫХ КОНТАКТНЫХ СЕТЕЙ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ**О. Н. Синчук, С. Т. Толмачов, А. А. Харитонов, А. В. Омельченко**

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ул. XXII партсъезда, 11, г. Кривой Рог, 50027, Украина. E-mail: sania.ss2013@yandex.ua

Для построения тактики данных исследований рассмотрены три принципиальных подхода. Приведенные результаты исследований позволили получить статистические характеристики, экспериментальные и теоретические законы распределения параметров сопротивления изоляции контактных сетей. Проверка статистической гипотезы о виде закона распределения позволила с вероятностью 0,95 принять гамма-закон для контактных сетей, классифицированных по двум группам – эксплуатирующихся в сухих и сырых выработках. Подтверждается несостоятельность оценки опасности прикосновения к троллею, рассматривающей тяговую контактную сеть как постоянную по величине. Для обеспечения безопасности электроустановок подземной контактной откатки необходимо использовать в решениях критерии электробезопасности для пульсирующих токов. Проведенные исследования позволяют выработать рекомендации по условию обеспечения максимального эксплуатационного уровня сопротивления изоляции контактной сети.

Ключевые слова: тяговая контактная сеть, пульсирующие токи, электробезопасность, сопротивление изоляции, троллея, электротравма.

ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ ПЕРВИННИХ КРИТЕРІЇВ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЯГОВИХ КОНТАКТНИХ МЕРЕЖ ЖЕЛІЗОРУДНИХ ШАХТ**О. М. Синчук, С. Т. Толмачов, О. О. Харитонов, О. В. Омельченко**

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

вул. XXII партз'їзду, 11, г. Кривий Ріг, 50027, Україна. E-mail: sania.ss2013@yandex.ua

Для побудови тактики даних досліджень розглянуто три принципових підходи. Наведені результати досліджень дозволили одержати статистичні характеристики, експериментальні й теоретичні закони розподілу параметрів опору ізоляції контактних мереж. Перевірка статистичної гіпотези про вид закону розподілу дозволила з імовірністю 0,95 прийняти гамма-закон для контактних мереж, класифікованих за двома групами – контактні мережі, що експлуатуються в сухих і сирих виробітках. Підтверджується неспроможність оцінки небезпеки дотику до тролей, що розглядає тягову контактну мережу як сталу за величиною. Для забезпечення безпеки електроустановок підземного контактної відкочування необхідно використовувати в розв'язках критерії електробезпеки для пульсуючих струмів. Проведені дослідження дозволяють виробити рекомендації за умови забезпечення максимального експлуатаційного рівня опору ізоляції контактної мережі.

Ключові слова: тягова контактна мережа, струми, що пульсують, електробезпеки, опір ізоляції, тролей, электротравма.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Анализ несчастных случаев на отечественных промышленных производствах показывает, что электротравмы составляют немногим более 1 % от общего количества случаев. Однако на пораженных электрическим током приходится 15 % смертельных исходов, а в горнорудной промышленности – более 20 % [1–15].

Наиболее травмоопасным видом электроустановок электротехнических комплексов горных предприятий, а именно железорудных шахт (включая и комплекс поверхности), являются контактные сети электровозной откатки в подземных выработках. Доля электротравм при прикосновении к токоведущим частям электроустановок в подземных выработках, а именно, к контактному проводу, составляет 75 %. Это можно объяснить особенностями эксплуатации электровозного транспорта в подземных условиях, сопряженных с повышенной опасностью электротравматизма, поскольку связаны с такими неблагоприятными факторами, как низкая подвеска контактного провода (КП) (особенно в ортах-заездах), высокая влажность и запыленность воздуха, ограниченность рабочего пространства, проявление горного давления, агрессивность шахтных вод и др.

Дифференцированная оценка электротравматизма при ведении подземных горных работ в условиях железорудных шахт показывает, что основным источником поражения горнорабочих является тяговая контактная сеть, а точнее контактный провод тяговой сети ВШТ [2].

Связано это с технологией ведения горных работ, когда высота подвески КП, особенно в ортах-заездах, т.е. в местах погрузки электросоставов, соизмерима с ростом человека, а условия ее монтажа допускают значительную реальность несанкционированного прикосновения к нему во время погрузочных операций [3].

Особенностью характеристики данного источника поражения при прикосновении к КП является 100 % смертельный исход [2].

При этом одной из главных причин такого исхода является неработоспособность устройств защитного отключения (УЗО). Помимо субъективных причин такого поражения существуют и объективные – колебания параметров тяговой сети [3].

При этом отметим, что данный факт носит колебательный характер по двум причинам – изменяется протяженность КС в связи с понижением уровня

ведения горных работ и увеличения протяженности горных выработок и наличие различных несанкционированных подключений или разрывов.

На рис. 1 приведена средняя длина квершлагов транспортных горизонтов шахт Кривбасса.

Исследования, выполненные в [1], позволили определить статистические характеристики (точечные и интервальные), квантильные оценки напряжения прикосновения, тока и сопротивления организма человека при воздействии на него токов при изменении угла открытия тиристорных преобразователей АТП. Полученные результаты позволят сформулировать отдельные слагаемые рекомендаций по первичным критериям электробезопасности для тяговых контактных сетей.

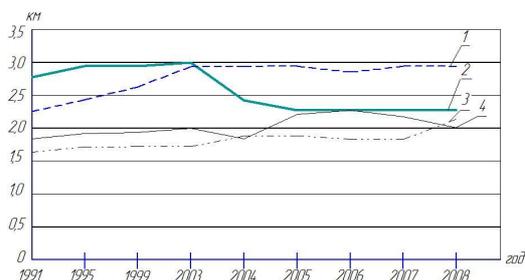


Рисунок 1 – Средняя длина квершлагов транспортных горизонтов шахт: 1 – Родина, 2 – Октябрьская, 3 – Гвардейская, 4 – Ленина

Однако для полноты построения характеристики тяговой контактной сети (ТКС) как источника поражения человека этого недостаточно. Необходимы знания и оценка не только параметров поражения, но и диапазона их влияния.

Цель исследований – установление первичных критериев электробезопасности тяговых контактных сетей железорудных шахт.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Для построения тактики данных исследований реально следующие принципиальные подходы при разработке первичных критериев электробезопасности.

Первый подход. Определение нормативных значений на основании данных об осязательных токах. Пороговые осязательные токи могут длительно воздействовать на организм человека, не вызывая патофизиологических последствий. Реализация данного подхода в полной мере в настоящее время невозможна по технико-экономическим возможностям. Вместе с этим, критериальные значения, полученные при использовании рассматриваемого подхода, могут в настоящее время использоваться при расчетах изоляции электроустановок.

Второй подход. Определение нормативных значений на основе данных о болевых (максимальных отпускающих) токах. Пороговые значения максимальных отпускающих токов при прохождении их через организм позволяют персоналу самостоятельно освободиться от контакта с электроустановкой, что обеспечивает условия электробезопасности. Ре-

ализация данного подхода в полной мере в настоящее время затруднена по технико-экономическим соображениям. Вместе с этим, критериальные значения, полученные при использовании рассматриваемого подхода, должны использоваться в настоящее время для расчетов параметров защитного заземления и измерительных токов устройств защитного отключения.

Третий подход. Определение нормативных значений на основании данных о фибрилляционных токах.

Протекание пороговых фибрилляционных токов через организм не может допускаться более, чем ограниченное (малое) время, и прекращается после отключения электроустановки устройством защитного отключения. При реализации данного подхода осуществляется достижимый в настоящее время по технико-экономическим условиям компромисс между условиями электробезопасности и возможностью их обеспечения в реальных электротехнических комплексах. Критериальные значения, полученные при использовании рассматриваемого подхода, используются при определении параметров срабатывания устройств защитного отключения.

Реализация рекомендаций по первичным критериям электробезопасности для пульсирующих токов, соответствующие первому подходу, находят свое выражение в следующем.

Пороговые значения осязательного тока (действующие значения) удовлетворяют условию

$$P(I_{n.оц.}^{(Д)} \leq I_{оц.ср}^{0,05}) = 0,95 . \quad (1)$$

где $I_{оц.ср}^{0,05}$ – квантиль значений осязательного тока, определен при вероятности 0,05.

В соответствии с (1) значения осязательного тока с вероятностью не менее 0,95 будут находиться в области, ограниченной "сверху" прямой:

$$I_{оц.ср}^{0,05} = 0,61 - 0,0055 \cdot \alpha . \quad (2)$$

где α – угол фазовой отсечки, $\alpha = (13-93)^\circ$.

Значение напряжения прикосновения (амплитудное значение), соответствующее пороговому осязательному току, может быть получено как квантиль нормального распределения значений осязательных напряжений, при этом выполняется условие

$$P(U_{n.оц.}^{0,05} = 6B) \geq 0,05 . \quad (3)$$

Значения токов и напряжений, полученные в соответствии с (2) и (3), могут быть рекомендованы в качестве первичных критериев электробезопасности для пульсирующих токов.

Применительно к контактным сетям электровозной откатки железорудных шахт [2, 3] рекомендации по безопасности горнорабочих в значительной мере обусловлены состоянием изоляции КС. Следует заметить, что по-прежнему в ПБ, ЕПБ отсутствуют законодательные нормативы на уровни сопротивлений изоляции подземных контактных тяговых

сетей. Вместе с этим, условия электробезопасности обуславливаются действующим в контактных сетях опасным производственным фактором – выпрямленным напряжением, которое, к сожалению, до настоящего времени с точки зрения воздействия на человека рассматривается по величине как постоянное, а не пульсирующее.

Выполненные исследования позволили получить статистические характеристики, экспериментальные и теоретические законы распределения параметров сопротивления изоляции контактных сетей. При нормировании сопротивления изоляции следует учитывать условия пожаро- и электробезопасности, условия устойчивой работы защиты от утечек тока в контактных сетях, условия обеспечения минимального эксплуатационного уровня сопротивления изоляции к.с.

Условия, в которых эксплуатируются контактные сети, с точки зрения выделения основных факторов, влияющих на сопротивление изоляции к.с., можно разделить по критерию обводненности выработок. К *первой группе* можно отнести условия сухих выработок, в которых отсутствует капёж; ко *второй группе* – условия сырых выработок, в которых наблюдается значительный капёж, большая влажность атмосферы. Естественно, такое разделение имеет ряд условностей, обусловленных трудностями определения водопритока в выработках при экспериментальных исследованиях параметров КС. Однако подобный подход позволяет подразделять выработки по одному из основных факторов, влияющих на уровень сопротивления изоляции.

В соответствии с изложенным, исследуемые контактные сети были классифицированы на две группы: эксплуатирующиеся в сухих (первая группа) и сырых (вторая группа) выработках. Статистики распределений указанных групп контактных сетей приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Статистики распределения приведенного активного сопротивления изоляции к.с.

Группы к.с.	Первая	Вторая
$R_{из.а.о.}$, кОм/км	49,1	18,89
σ , кОм/км	24,8	6,51
Q	0,51	0,39
Медиана, кОм/км	51,7	18,4
Мода, кОм/км	45,5	14,1
Ассиметрия	1,13	0,63
Экссесс	1,57	0,11

Данные табл. 1 свидетельствуют о значительном различии значений сопротивления изоляции для рассматриваемых групп тяговых контактных сетей.

Проверка статистической гипотезы о виде закона распределения позволила с вероятностью 0,95 принять гамма-закон с плотностью распределения – для сухих выработок:

$$f(R_{из.а.о.}) = 12,5^{2,92} [r(2,92)]^{-1} \cdot R_{из.а.о.} \exp(-12,5 R_{из.а.о.}) \quad (4)$$

– для мокрых выработок:

$$f(R_{из.а.о.}) = 2,6^{5,46} [r(5,46)]^{-1} \cdot R_{из.а.о.} \exp(-2,6 R_{из.а.о.}) \quad (5)$$

Экспериментальные и теоретические распределения активного сопротивления изоляции для условий сухих и сырых выработок приведены на рис. 2.

При разработке норм на сопротивление изоляции КС [4] с учетом опыта разработки норм на сопротивление изоляции элементов шахтного электрохозяйства переменного тока [4] наметились определенные тенденции, ограничивающие минимальный уровень сопротивления изоляции, исходя из условий пожаробезопасности, электробезопасности и надежной работы защиты от утечек. Кроме этих условий, норматив на сопротивление изоляции к.с., очевидно, должен учитывать реально достижимые уровни, в качестве которых могут быть приняты устойчивые уровни сопротивления изоляции эксплуатирующихся контактных сетей.

Используя следствие одного из свойств интегральной функции распределения (вероятность того, что случайная величина примет значение, заключенное в определенном интервале, равна приращению интегральной функции на этом интервале) и учитывая, что при статистическом исследовании относительная частота является мерой вероятности наступления события, определяем интервалы значений (начиная от нуля) приведенного активного сопротивления изоляции при принятой вероятности 0,4 для рассматриваемых групп контактных сетей.

Для первой группы контактных сетей интервал равен (0–34,6) кОм/км, для второй группы контактных сетей – (0–11,5) кОм/км. Другими словами в сухих выработках 40% к.с. имеют приведенное активное сопротивление изоляции менее 34,6 кОм/км, в сырых выработках 40% контактных сетей имеют значение этого параметра менее 11,5 кОм/км.

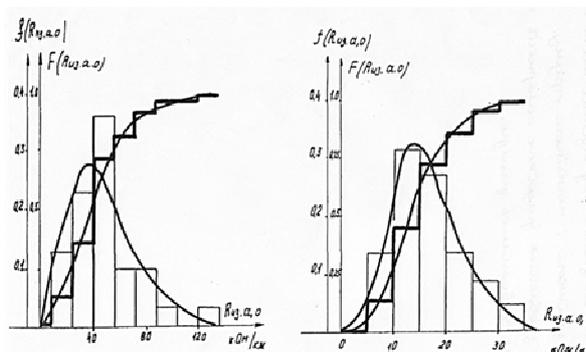


Рисунок 2 – Экспериментальные и теоретические законы распределения сопротивления изоляции контактных сетей: а) – первая группа; б) – вторая группа

Для учета рода измерительного тока при определении активного сопротивления изоляции к.с. целесообразно использовать коэффициент эквивалентности сопротивлений изоляции к.с. выпрямленному току с коэффициентом пульсации 0,057 и переменному току частотой 50 Гц, который представляет собой математическое ожидание отношений указанных сопротивлений. Статистические характеристики указанного коэффициента для условий шахт Криворожского железорудного бассейна следующие: средняя $K_3=1,55$, дисперсия $D=0,166$, асимметрия $A=-0,65$, эксцесс 0,032. Таким образом, для рассматриваемых условий коэффициент эквивалентности может быть принят равным 1,55.

С учетом коэффициента эквивалентности вышеуказанные устойчивые уровни приведенного активного сопротивления изоляции к.с. будут равны: для сухих выработок – 53,6 кОм/км; для мокрых выработок – 17,8 кОм/км.

Полученные значения сопротивления изоляции могут характеризоваться как устойчивые эксплуатационные уровни и служить рекомендациями при разработке нормативов на сопротивление изоляции к.с.

Представляет интерес зависимости сопротивления изоляции от длины к.с. Указанные зависимости получены в виде уравнений регрессии

$$R_{из.а} = A + B \lg L_{к.с.} \quad (6)$$

где $R_{из.а}$ – сопротивление изоляции к.с., кОм; $L_{к.с.}$ – длина к.с., км; A и B – коэффициент уравнения.

Значения коэффициентов приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Коэффициенты зависимостей $R_{из.а}=f(L_{к.с.})$

Группы контактных сетей	Значения коэффициентов регрессий	
	A	B
Первая	52	128
Вторая	31	114

По указанным зависимостям можно, используя критические значения сопротивления изоляции, определять допустимые значения длины к.с. для различных условий, обуславливающей безопасность в контактной сети.

Исследование напряжения контактных сетей в качестве поражающего фактора, результаты которого представлены в [1], со всей очевидностью показывает, что в его составе имеют место постоянная и гармоническая составляющие, имеющие значения такой величины, при которых возможны (в случае прикосновения к троллею) физиологические эффекты, несвойственные постоянному по величине току (например, эффект «приковывания»). Подтверждением этому являются факты, которые выявлены при анализе электротравматизма в условиях шахт и рудников. Таким образом, подтверждается несостоятельность оценки опасности прикосновения к троллею, рассматривающей КС как постоянное по величине.

Вместе с этим, развитие подземного электровозного транспорта характеризуется все более широким применением преобразовательной техники. В настоящее время имеются регулируемые преобразовательные агрегаты тиристорных электровозов, преобразовательные агрегаты с устройствами, сочетающими в себе (за счет применения управляемых вентилях) свойства максимально-токовой защиты и защиты от поражения электрическим током при прикосновении к троллею. Кроме этого, выше отмечалось, что наблюдается тенденция применения для защиты от утечек принципа полярного разделения оперативного и силового сигналов. Таким образом, в к.с. имеет место распространение напряжений с фазовыми отсечками.

С целью определения формы кривой напряжения контактной сети было выполнено его моделирование с использованием следующего:

1) сохранение в моделируемом напряжении периодичности, равной периодичности напряжения к.с., и обеспечение пульсационного характера, аналогичного напряжению контактной сети.

2) Соблюдение в моделируемом напряжении процентных соотношений между гармоническими и постоянной составляющими в пределах, имеющих место в реальных контактной сети.

3) Размах броска напряжения в моделируемом напряжении должен быть не менее аналогичного параметра напряжения контактной сети.

ВЫВОДЫ. В качестве модели напряжения КС может быть принято напряжение на выходе управляемого трехфазного тиристорного преобразователя, собранного по мостовой схеме, при малых углах регулирования ($\alpha = 10-15^\circ$).

Проведенные исследования позволяют выработать рекомендации по условию обеспечения максимального эксплуатационного уровня сопротивления изоляции контактной сети.

На основании вышеизложенного можно констатировать, что для обеспечения безопасности электроустановок подземной контактной откатки необходимо использовать в решениях критерии электробезопасности для пульсирующих токов.

В этой связи, в рекомендациях по повышению безопасности в контактных сетях электровозной откатки целесообразно отразить вопросы, связанные с нормированием сопротивления изоляции контактных сетей и установлением вида воздействующего на персонал напряжения при прикосновении к контактному проводу.

Повысить безопасность людей при выполнении различного рода работ в шахтных откаточных выработках в наибольшей мере можно путем соблюдения комплекса мер по технике безопасности. Основными из них являются:

1) выполнение работ по повышению уровня подготовки работников шахт по технике безопасности;

2) совершенствование организационных и организационно-технических мероприятий по обеспечению выполнения требований безопасности работ в откаточных выработках;

3) повышение профессиональной подготовки работников, освоение ими безопасных методов и приемов работ;

4) совершенствование контроля и надзора за соблюдением правил безопасности;

5) совершенствование технических средств защиты людей от поражения электрическим током на основе изучения условий их работы, а также параметров и режимов работы электрооборудования системы шахтного электровозного транспорта.

Для устранения основной причины возникновения электротравматизма – случайного прикосновения человека к токоведущим элементам контактной сети – в настоящее время применяются системы защитного отключения. Они выполняют следующие функции: селекцию измеряемых сигналов, используемых для контроля сопротивления изоляции или утечки (в том числе и сопротивления тела человека) всей находящейся под напряжением сети на фоне силового тока ее нагрузки и сигналов помех; автоматическое отключение защищаемой сети при снижении сопротивления изоляции ниже допустимых значений или появлении тока утечки; предупреждение возможности включения сети при сопротивлении изоляции ниже допустимых значений или наличии тока утечки; предотвращение появления ЭДС вращающихся двигателей в отключенной сети и подавление их самоиндукции; автоматическое повторное включение сети после отключения ее защитой. Основным функциональным элементом этих систем являются устройства защитного отключения. Эти устройства обеспечивают контроль предельно допустимых уровней токов, протекающих через тело человека и через сопротивление изоляции сети, и отключение сети с заданным быстродействием в соответствии

Специфические условия эксплуатации электрооборудования подземного электровозного транспорта предъявляют дополнительные требования к техническим способам и средствам защиты, поэтому они существенно отличаются от применяемых в общепромышленных электроустановках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ляхомский А.В. Исследование воздействия на человека напряжения и тока с фазовыми отсечками // Межвуз. сбор. науч. трудов «Вопросы электроснабжения и электропривода». – Калинин, 1997. – С. 52–54.

2. Синчук О.Н., Гузов Э.С., Ликаренко А.Г., Животовский 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. – Кривой Рог: КНУ, 2013. – Вып. 3/2013 (96). – С. 288–290.

4. Субботин А.И., Беляк Л.А., Каледина И.О. и др. Правила безопасности в угольных шахтах. ПБ 05-618-03 2004. – 302 с.

5. Цапенко Е.Ф., Шкундин С.З. Электробезопасность на горных предприятиях. – И.: МГГУ, 2006. – 104 с.

6. Кузнецов К.Б., Мишарин А.С. Электробезопасность в электроустановках железнодорожного транспорта. – М.: Маршрут, 2005. – 456 с.

7. Браун Дэвид Анализ и разработка систем обеспечения техники безопасности: (системный подход в технике безопасности) / Пер. с англ. под ред. С.М. Жовинского. – М.: Машиностроение, 1999. – 360 с.

8. Бунько В.А., Волотовский С.А., Пивняк Г.Г. Повышение безопасности рудничной электровозной откатки. – М.: Недра, 1978. – 200 с.

9. Волотковский С.А., Фурсов В.Д., Пивняк Г.Г. Полупроводниковые преобразовательные подстанции для подземного электровозного транспорта. – К.: Высшая школа, 1971. – 224 с.

10. Ляхомский А.В. Исследования условий и разработка мероприятий по обеспечению электробезопасности в контактных сетях электровозной откатки угольных шахт: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.09.03. – Москва: МГИ, , 1977. – 15 с.

11. Ляхомский А.В., Синчук О.Н., Харитонов А.А. Физиологическая характеристика горнорабочих железорудных шахт как элемента эрготехнической системы обеспечения электробезопасности // Вестник Криворожского технического университета. – Кривой Рог: КНУ, 2013. – Вып. 35. – С. 152–156.

12. Синчук И.О., Скапа Е.И. Электротравматизм и пути его уменьшения при эксплуатации электрифицированных видов транспорта на подземных горнорудных предприятиях: сбор. науч. работ IX Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов. – Кременчук: КрНУ, 2011. – С. 338–339.

13. Щуцкий В.И., Ляхомский А.В., Израитель С.А. Электротравматизм и пути его снижения на горнодобывающих предприятиях чёрной металлургии // Горный журнал. – Москва: МГИ, 1979. – Вып. 3. – С. 55–57.

14. Гончаров В.Б. Защита от токов утечки в тяговой сети рудничного бесконтактного электрического транспорта: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.09.03, 05.26.01. – ДГУ, Днепропетровск, 1984. – 22 с.

15. Кибек Д. Методы учета несчастных случаев на производстве в Федеративной Республике Германии / Пер. с нем. – Бюлетень электротехнического союза, 1983. Вып. 12. – 74 с.

ON EVALUATION OF PRIMARY ELECTRICAL SAFETY CRITERIA
ON CONTACT TRACTION LINES OPERATING AT IRON-ORE MINES

O. Synchuk, S. Tolmachov, A. Kharitonov, A. Omelchenko

Krivoy Rog National University

vul XXII Parts'yezda, 11, Krivoy Rog, 50027, Ukraine. E-mail:sania.ss2013@yandex.ua

Three basis approaches are considered for constructing tactics of this research. Given results allowed getting statistical characteristics, experimental and theoretical laws of contact lines insulation parametrization. Testing of statistical hypotheses about the form of distribution law allowed with a probability of 0,95 taking of gamma law for contact lines classified into two groups: operating in dry and wet roadways. Inefficiency of contact with trolley wire hazards analysis which takes contact traction line as a constant in magnitude is confirmed to be proved. It is necessary to use electrical safety criteria for pulsatory current to provide safety of electrical plants in the possess of underground contact haulage. These researches allow developing of recommendations on conditions of providing maximum operating level of contact lines insulation.

Key words: traction contact line, pulsatory current, electrical safety, insulation, trolley wire, electrical injury.

REFERENCES

1. Lyahomsky A. (1997), " Action research of voltage and current phase angle on human ", *Interacademic collection of scientific papers "Electric power supply and electric drive problems"*, Kalinin, pp. 52–54.
2. Sinchuk, O.N., Guzov, E.S., Likarenko, A.G., Zhivotovsky, A.G. (2009), *Elektrobezopasnost rudnichnoy otkatki* [Electrical safety at mine haulage], Tehnika, Kiev, Ukraine.
3. Sinchuk I. (2013), "Traction contact line as a potential source of electrical injury", *Girnichy Visnyk KNU*, vol. 96, pp. 288–290.
4. Subbotin, A.I., Belov, L.A., Kaledinf, I.O., Novoseltsev, A.I., Podobrazhin, S. N., Rudenko, Yu.F., Smorchkov, Yu.P., Chigrin, V.D. (2004), *Pravila bezopasnosti v ugolnyh shahtah* [Safety Rules at Coal Mines], SR 05–618–03, Moskov, Russia.
5. Tsapenko, E.F., Shkundin, S.Z. (2006) [Electrical safety at mines], Izdatelstvo MNMU, Moskov, Russia.
6. Kuznetsov, K.B. and Misharin, A.S. (2005) *Elektrobezopasnost v elektroustanovkah zheleznodorozhnogo transporta* [Electrical safety at electrical rail transport], Marshrut, Moskov, Russia.
7. Brown David (1999), *Analiz I razrabotka sistem obespecheniya tehniki bezopasnosti (sistemniy podchod v tehnike bezopasnosti)* [Analysis and development of systems for ensuring safety: (Systematic approach to safety)], Translated by Zhovinsky, C.M., Mashinostroenie, Moscov, Russia.
8. Bunko, V.A., Volotovskiy, S.A., Pivnyak, G.G. (1978) *Povishenie bezopasnosti rudnichnoy elektrovnoy otkatki* [Improving the safety at mine haulage], Nedra, Moscov, Russia.
9. Volotkovskiy, S.A., Fursov, V.D., Pivnyak, G.G. (1971) *Poluprovodnikovye preobrazovatelnie podstansii dly podzemnogo elektrovnoy transporta* [Semiconductor converter stations for underground electric transport], Visshaya shkola, Kiev, Ukraine.
10. Lyakhomsky, A.V. (1977), "Research of conditions and development of activities to ensure electrical contact lines at locomotive haulage of coal mines", Manuscript, thesis for obtaining Ph.D. degree. tehn. Sciences: special 05.09.03, Moscov Mining Institute, Moscov, Russia.
11. Lyakhomsky, A.V., Sinchuk, O.N., Kharitonov, A.A. (2013), "Physiological characteristic of miners at ore mines as a part of the system for maintaining electrical safety", *Vestnik of Krivorozhsky National University*, vol. 35, pp. 152–156.
12. Sinchuk, I.O., Skapa, E.I. (2011), "Electrical injury and ways to reduce it at electric machines operating at mining enterprises", *Zbirnyk naukovykh prats X Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistiv* [Collection of scientific papers IX International scientific and technical conference for young scientists and specialists], Kremenchug, KrNU, pp. 338–339.
13. Shchutsky, V.I., Lyakhomsky, A.V., Izraitel, S. A. (1979), "Electrical injury and ways to reduce it at the iron-ore enterprises", *Mining Journal Moscov Mining Institute*, vol. 3, pp. 55–57.
14. Goncharov, V. B. (1984), "Protection from leakage in the traction line of mine contactless electric transport", Manuscript, thesis for obtaining Ph.D. degree tehn. Sciences: special 05.09.03, 05.26.01, Dnepropetrovsk Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine.
15. Kibek D. (1983), *Metody ucheta neschastnih sluchaev na proizvodstve v Federativnoy Respublike Germanii* [Methods for accounting accidents at work in FRG], Trans. from german, Electrical Union Bulletin, vol. 3, 74 p.

Стаття надійшла 25.10.2013.