

УДК 622.647.1

А.М. Брюханов /д.т.н./, О.А. Демченко /к.т.н./, Л.А. Муфель /к.т.н./
 ГУ «Макеевский государственный научно-исследовательский институт
 по безопасности работ в горной промышленности» (Макеевка)

К.Н. Маренич /д.т.н./
 ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ЛОКАЛЬНЫЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ СЕТИ – НОВОЕ РЕШЕНИЕ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ПОДЗЕМНОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

На основании анализа схемы и функционирования общешахтной заземляющей сети в составе подземных высоковольтных сетей выявлены условия возникновения потенциально опасных состояний, вызванных электропоражением и появлением открытого искрообразования. Обоснованы применение локальных заземляющих сетей и структура технических средств, ограничивающих емкостную проводимость между фазами сети и контуром «земля».

Ключевые слова: система, местное заземление, локальная заземляющая сеть, общешахтная заземляющая сеть, ток утечки на землю, емкость электрической сети, кабель, конструкция.

Постановка проблемы

Применение защитного заземления корпусов электроустановок как важнейшего компонента системы безопасности эксплуатации в полной мере получило распространение на шахтные высоковольтные сети и является общепринятым техническим решением в области защиты от электропоражения в случае появления контакта фазного проводника с металлическим корпусом электроустановки, нормально не находящимся под напряжением [1]. Действующий ГОСТ 28298 «Заземление шахтного электрооборудования. Технические требования и методы контроля» [2] определяют структуру общешахтной заземляющей сети (ОЗС) как «совокупность главных и местных заземлителей и соединяющих их заземляющих проводников, предназначенных для защиты человека от поражения электрическим током заземлением».

Наряду с обеспечением защиты человека от электропоражения при касании к корпусу электрооборудования, который может оказаться под напряжением, концепция обустройства и эксплуатации ОЗС предопределила и ряд потенциально опасных состояний. В частности, это относится к контуру заземляющей цепи, имеющему электрическую связь с трехпроводной трехфазной сетью, что приводит к перемещению токов утечки из силовой сети в контур «земля» под действием активной и емкостной проводимостей. Токи утечки также протекают в контуре «земля» – ОЗС при разряде емкости силовых кабелей после их отключения; работе устройств защиты от перенапряжений; компенсации емко-

сти в распределительной высоковольтной сети. Величина тока утечки на землю определяется активным и емкостным сопротивлением (между контуром «земля» и фазами сети) и с учетом тенденции применения разветвленных и протяженных электрических сетей, в т.ч. кабельных линий, имеет тенденцию к увеличению.

В настоящее время токи утечки, протекающие по заземляющей сети, имеют искроопасные параметры [3,4], что нарушает положения Правил безопасности [5]. Кроме этого, к проблемным вопросам эксплуатации ОЗС можно отнести:

– однофазное замыкание на корпус (жилу заземления) или двухфазное замыкание в трехфазной сети в одном месте, посредством ОЗС происходит вынос опасных потенциалов на оболочки всего электрооборудования в шахте, создавая незащищенные участки контура заземления в выработках;

– короткие замыкания в трехфазной сети происходят с участием жилы заземления (контур «земля»). В результате такого повреждения по ОЗС протекает искроопасный ток, превышающий сотни ампер. В случае нарушения ОЗС возникает потенциальная опасность взрыва метано-воздушной смеси, пожара в шахте, создаются условия для электропоражения;

– ОЗС, выполняя гальваническое соединение корпусов всего электрооборудования в шахте и металлического оборудования (в выработках), имеющего контакт с контуром «земля», способствует увеличению емкости сети. Эта емкость сети, помимо питающих кабелей, определяется

емкостью коммутационной аппаратуры, электродвигателей и металлического оборудования, соединенного с местными заземлителями. При этом разветвленная высоковольтная система электроснабжения с питанием от одного источника с помощью ОЗС значительно увеличивает емкость сети в каждом направлении питания;

– параметры и непрерывность цепи местного заземления не контролируются, что не гарантирует соблюдения требуемых защитных параметров контура ОЗС;

– заземление экранов основных жил вызывает увеличение емкости в экранированных кабелях в сравнении с неэкранированными. Контакт индивидуальных экранов на основе медной фольги с изоляцией основных жил сокращает расстояние между ними, что ведет к увеличению емкости контура «медный провод, изоляция, фольга». Соединение экрана с заземляющей сетью, содержащей корпуса различного оборудования, также увеличивает емкость сети.

Таким образом, ОЗС способствует формированию емкости в силовых кабелях и, следовательно, увеличивает емкостные утечки тока на землю, что существенно повышает риск электротравматизма. В еще большей степени это относится к электросетям с большим количеством силовых присоединений, т.к. в этом случае ОЗС (включая местные заземлители) соединена с корпусами электрооборудования параллельно, что увеличивает емкость сети. Существующие защиты от электропоражения не устраняют опасности, а лишь сокращают продолжительность опасного состояния [4,6].

Из изложенного следует, что формирование сценариев опасных событий в большинстве случаев обусловлено общей сетью заземления. Опасности, формируемые ОЗС, достаточно значимы и очевидны. В широком спектре опасных событий, состояний при эксплуатации шахтных электрических сетей действие ОЗС должно рассматриваться как причина аварий, фактор несоответствия регламентированным требованиям Правил безопасности. Этим обусловлена актуальность изменения сложившихся традиций и представлений при разработке технических мер, направленных на обеспечение взрыво- и электробезопасности в шахтах.

Анализ последних исследований и публикаций

Снижение емкости шахтной электросети известными научными обоснованиями и техническими решениями осуществляется в основном в двух направлениях [7]. Во-первых, шахтная высоковольтная электрическая сеть, учитывая об-

щую тенденцию к увеличению количества электропотребителей, в т.ч. размещенных на дальних расстояниях от главной поверхностной подстанции шахты, в настоящее время выполняется двумя, гальванически не связанными между собой компонентами: высоковольтной электросетью потребителей поверхности и высоковольтной электросетью подземных потребителей [8]. Это позволяет исключить параллельное присоединение активно-емкостных цепей (между фазами сети и контуром «земля») подземной электросети и электросети поверхности. Однако ОЗС электросети поверхности и ОЗС подземных электроустановок присущи все недостатки концептуальной ОЗС, отмеченные выше.

Вторым направлением повышения безопасности эксплуатации электрической сети является компенсация емкости (путем приближения уровней емкостного и индуктивного токов, протекающих по цепи «трехфазная сеть – ОЗС»). При параллельном подключении индуктивности к контуру емкости достигается резонанс токов, когда индуктивные и емкостные сопротивления равны между собой (по модулю). Однако в этом случае индуктивный ток в общей части сети заземления может достигать 30 А и более при величине фазного напряжения 3400 В. При этом запасенная энергия, пропорциональная емкости сети и квадрату напряжения ($W=CU^2/2$), существенно превышает энергию воспламенения метано-воздушной смеси (0,28 мДж).

Изложенное позволяет сделать вывод о том, что формирование сценариев рассмотренных выше опасных событий обусловлено, в частности, общей сетью заземления. Ей присущи такие состояния, как вынос потенциалов общей сетью заземления на корпуса всего электрооборудования по всей шахте, переход тока короткого замыкания в незащищенную заземляющую сеть, воспламенение метано-воздушной смеси токами утечки на землю, включая процессы при компенсации емкости сети. В результате создаются условия, представляющие опасность электропоражения, открытого искро- и дугообразования, интенсивного нагрева корпусов электроустановок. Это требует дальнейших исследований и разработок технических решений в области повышения безопасности эксплуатации рудничного высоковольтного электрооборудования.

Цель (задачи) исследования

Целью настоящего исследования является обоснование технических решений, позволяющих снизить емкостную проводимость в шахтной высоковольтной сети на основе изменения концепции общешахтной заземляющей сети и

применения вместо нее локальных заземляющих сетей, а также разработку высоковольтных кабелей специальной конструкции.

Основной материал исследования

Рассмотрим процессы в ОЗС и ее защитные свойства на примере модели электрической связи трехфазной цепи с жилой заземления (рис. 1), что соответствует общепринятому способу обустройства шахтной высоковольтной электрической сети. Сопоставим их с вариантом применения локальной сети заземления (на примере структуры местного заземления распределительного пункта участка (рис. 2).

Применительно к схеме (рис. 1), надежность защиты человека от электропоражения повышается с увеличением числа параллельно соединенных заземлителей (существенное снижение сопротивления растеканию тока в контуре «земля»). При этом схема позволяет эффективно выравнивать потенциалы между корпусами электрооборудования за счет присоединения к ним жил заземления, в т.ч. проложенных в кабелях. Применение на шахтах металлокрепя как естественного заземлителя обеспечивает выравнивание потенциалов между стойками крепи, что очень важно для устранения опасности шагового напряжения.

Представляется целесообразным в ходе совершенствования технических решений в обла-

сти обеспечения электробезопасности эксплуатации систем подземного высоковольтного электроснабжения сохранить и использовать технические решения, обеспечивающие реализацию положительных свойств ОЗС. Этой концепции соответствует предложение о применении вместо ОЗС совокупности локальных заземляющих сетей (ЛЗС, рис. 2), оснащенных дополнительными средствами обеспечения безопасности. Так, впервые предусматривается непрерывный контроль токов утечки в землю и автоматическое отключение системы электроснабжения в случае превышения нормируемого значения; снижение аварийного тока утечки через заземляющее устройство посредством локализации утечек активной и емкостной составляющих; деление высоковольтной сети на отдельные самостоятельные участки; устранение токов утечки, возникающих в режиме короткого замыкания в кабеле; гальваническое разделение трехфазной и заземляющей сетей; применение технических мер по ограничению емкости сети, включая использование полимерных материалов, неактивных к формированию емкости; применение защитной изоляции и защитного изолирования, устраняющих утечки тока. Основу ЛЗС составляет заземляющая шина в зоне компактного размещения электрооборудования технологического участка.

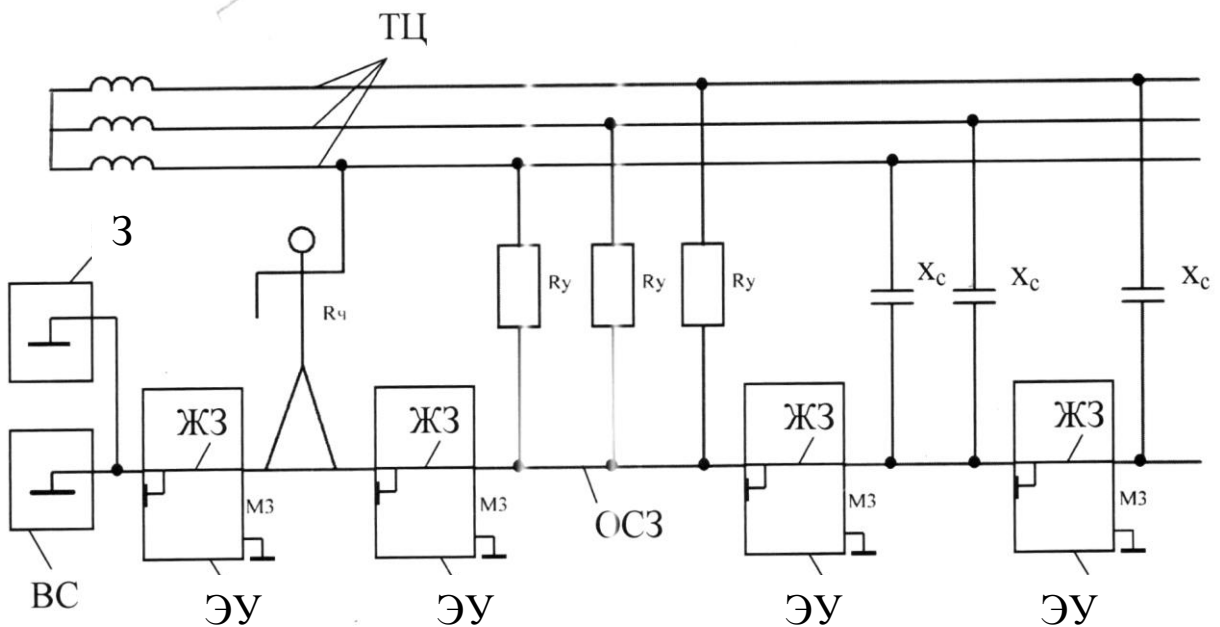


Рис. 1. Модель электрической связи трехфазной цепи с жилой заземления и условия поражения человека электрическим током:

ТЦ – трехфазная цепь; МЗ – местное заземление; ЖЗ – жила заземления; ЭУ – электроустановка; ОЗС – общешахтная сеть заземления; ВС – водосборник; З – зумпф; R_ч – сопротивление человека; R_y – активное сопротивление изоляции жил кабеля в контуре утечки тока на землю; X_c – емкостное сопротивление в контуре утечки тока на землю

Ее габаритные размеры (длина l и сечение s) должны быть регламентированы критерием превышения активным сопротивлением изоляции $R_{из}$ допустимого значения $R_{дон}=\rho l/s$. Применительно к стальному проводнику с удельным сопротивлением $\rho=0,1$ Ом мм²/м (при температуре 20 °С) длина заземляющей шины регламентируется величиной в 21 м при сечении не менее 50 мм².

Особенностью предлагаемой системы местного заземления является применение двух устройств МЗ с заземлителями на основе трех рам металлокрепей, устанавливаемых на концевых участках заземляющей шины. Последняя, соединяет параллельно между собой оба устройства МЗ, что позволяет достичь весьма малое сопротивление растеканию и равномерно распределить потенциалы токов утечки по почве выработки. Это позволит локализовать токи утечки на заданном участке, не допуская их протекание по всей шахте (что было свойственно ОЗС). Данное техническое решение, безусловно, предусматривает функционирование в штатном режиме аппаратов защиты от утечек тока на землю и отключение сети при превышении током утечки нормируемого значения (25 мА). В то же время, концепция ЛЗС позволяет существенно снизить величину тока утечки между фазами сети и контуром «земля», что достигается локализацией активной и емкостной составляющих утечек тока; делением высоковольтной сети на

самостоятельные участки.

Для снижения тока утечки (между фазами сети и контуром «земля») служит реализация гальванического разделения трехфазной цепи и заземляющей сети. Вследствие исключения ОЗС изменены функциональное назначение и принцип размещения жил в кабеле. В связи с этим концепция конструкции высоковольтного кабеля также претерпевает изменения. Она состоит в следующем:

- в структуру системы электроснабжения и, в частности, в конструкцию кабеля вводится экранная жила, изолированная от корпусов электрооборудования и цепей МЗ, что позволяет обеспечить циркуляцию токов утечки и оперативного тока аппарата защиты от утечек между фазами и экранной жилой (кроме того, применение экранной жилы снижает емкость кабеля ввиду деления ею сети);

- в качестве материала бронированной оболочки кабеля, в т.ч. индивидуальных экранов основных жил, используют полимер, не активный к формированию емкостного эффекта (что еще в большей степени будет способствовать снижению емкости (емкостной проводимости) кабеля);

- заземляющую жилу в кабеле не предусматривают и вместо нее в штреке, в местах размещения распределительного пункта и устройств МЗ, обустройства ЛЗС.

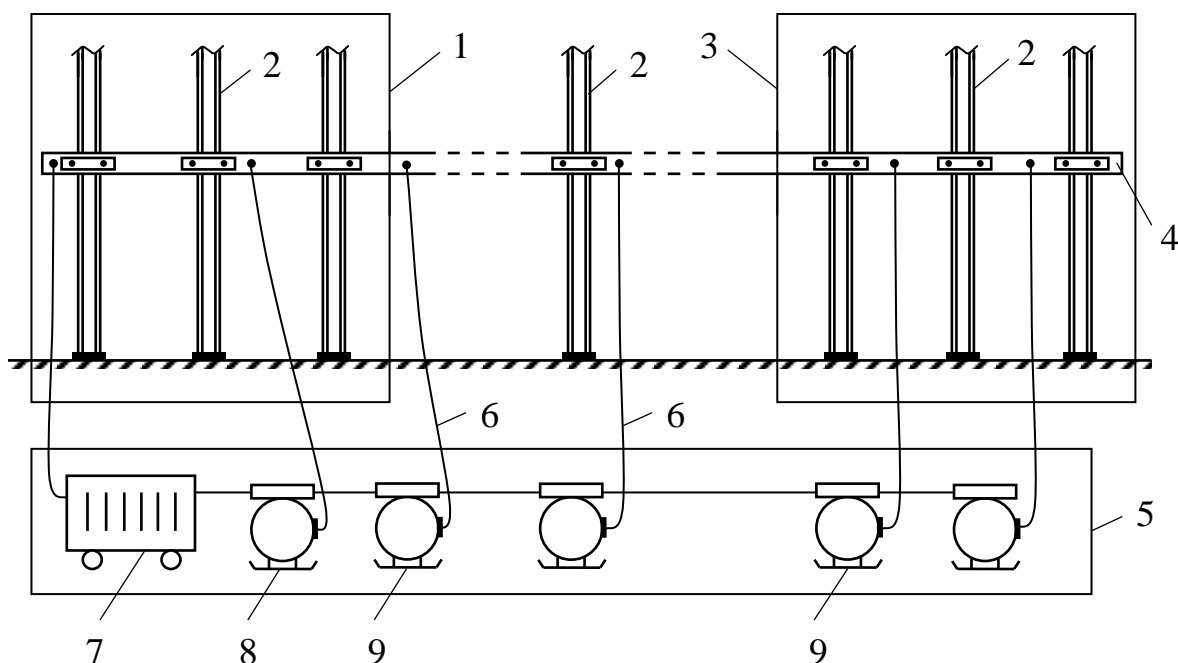


Рис. 2. Локальная сеть заземления в структуре местного заземления распределительного пункта участка:

1, 3 – устройство местного заземления; 2 – рамы металлокрепей; 4 – локальная заземляющая сеть; 5 – распределительный пункт участка; 6 – заземляющие провода; 7 – передвижная трансформаторная подстанция; 8 – фидерный выключатель; 9 – коммутационные аппараты

Такие технические решения позволят существенно снизить ток утечки через заземляющее устройство; устранить ток утечки, обусловленный возникновением короткого замыкания жил непосредственно в кабеле (что является характерной аварией для систем с применением ОЗС); исключить необходимость применения компенсации емкости, что применительно к высоковольтной шахтной электрической сети характеризуется искроопасными параметрами и высокой стоимостью реализации; устранить условия для образования между человеком и токоведущими частями нежелательных электрических цепей, что способствует повышению электробезопасности работ в шахтах.

Эффективными техническими решениями следует считать защитную изоляцию нетоковедущих корпусов и защитное изолирование токоведущих частей в соответствии с требованиями защиты вида «е», что существенно уменьшает ток утечки на землю ввиду устранения условий для замыкания фазы на корпус электрооборудования.

Таким образом, с учетом распределения активного $R_{из}$ и емкостного $X_c=1/2\pi fC$ сопротивлений изоляции ток утечки на землю $I_{ум}$ (т.е. ток через человека $I_{чел}$) в сети фазного напряжения U_ϕ частоты f определяется формулой:

$$I_{ум} = I_{чел} = \frac{U_\phi}{R_{чел} \cdot \sqrt{1 + \frac{R_{из}(R_{из} + 6R_{чел})}{9R_{чел}^2(1 + R_{из}^2 \omega^2 C^2)}}}, \quad (1)$$

где $\omega=2\pi f$ – угловая частота синусоидального тока.

В сетях линейного напряжения 6 кВ, в случае если емкостное сопротивление значительно ниже активного, ток через человека может быть определен формулой:

$$I_{чел} = \frac{3U_\phi \omega C}{R_{чел} \cdot \sqrt{1 + 9R_{чел}^2 \omega^2 C^2}}. \quad (2)$$

С учетом изложенного, ток утечки, локализованный в кабеле модернизированной конструкции с сечением рабочих жил $3 \times 70 \text{ мм}^2$ и цепи контура «земля» (с сопротивлением растеканию 11,90 Ом – параметр глинистого сланца), составляет 107 мА (расчетное значение), в то время как в высоковольтной электросети шахты токи утечки в контуре «земля» достигают 30 А. Того же порядка результаты расчета применительно к формированию контура «земля» породами «суглинок» и «песчаный сланец» с сопро-

тивлением растеканию, соответственно, 34,01 Ом и 106,37 Ом.

Сопротивление местного заземления в основном определяется сопротивлением растеканию вмещающих пород в выработках. Установлено, что потенциал и плотности тока уменьшаются по мере удаления от заземлителя, и на некотором расстоянии от него (20 м для одиночного электрода и 7 м для естественного заземлителя на основе трех рам металлокрепей) плотность тока практически можно принять равной нулю.

Как видно, условия для протекания тока утечки относительно заземлителя более благоприятны для ЛЗС с использованием естественного заземлителя. Обусловлено это тем, что в этом случае ток утечки протекает по поверхности почвы (боковых пород) выработки между расположенными рамами крепи. Это определяется относительно малым сопротивлением растеканию и связано с увлажнением почвы, высокой токопроводностью угольной и породной пыли.

Расчеты параметров электробезопасности в электросети с применением ЛЗС и вышеуказанными параметрами модернизированного кабеля и местного заземления показали, что ток через тело человека (расчетное значение) составляет 0,00208 А, напряжение прикосновения – 1,25 В. Эти данные значительно ниже нормируемых значений названных величин, которые, соответственно, равны: 6 мА при длительно допустимом токе через тело человека и 36 В при воздействии тока свыше 1 с. Результаты расчетов показывают, что сопротивление растеканию, равное 11,90 Ом, принято с достаточно высокими запасами. Полученные результаты относятся к одному устройству МЗ, тогда как в локальной системе заземления предусмотрено два, причем включенных параллельно. Таким образом, приведенные результаты характеризуют достаточно высокие защитные свойства локальной заземляющей сети усовершенствованной структуры.

Шаговое напряжение в зоне размещения двух МЗ также не представляет опасности для человека, поскольку разность потенциалов по почве выработки практически равна нулю. Последнее обусловлено выравниванием потенциалов вследствие шунтирующего действия ЛЗС и металлической крепи в зоне наибольшего проявления утечки тока, а также ввиду малого сопротивления растеканию естественных заземлителей.

Таким образом, предлагаемое усовершенствование представляет собой комплекс технических решений, функции которых взаимосвязаны, а результат состоит в ограничении емкости сети, предотвращении взаимного воздействия

компонентов присоединений разветвленной высоковольтной электросети, сопровождаемого значительным снижением активно-емкостных параметров, устранении условий для формирования проводимости между фазами и контуром «земля» в случае появления междуфазного короткого замыкания внутри кабеля. В совокупности, предложенные технические решения спо-

собствуют устранению условий для электропоражения человека, появления искрений и температурных перегрузок в элементах электрооборудования шахт. Предложенному комплексу технических решений соответствует структура системы высоковольтного электроснабжения подземных потребителей шахты, приведенная на рис. 3.

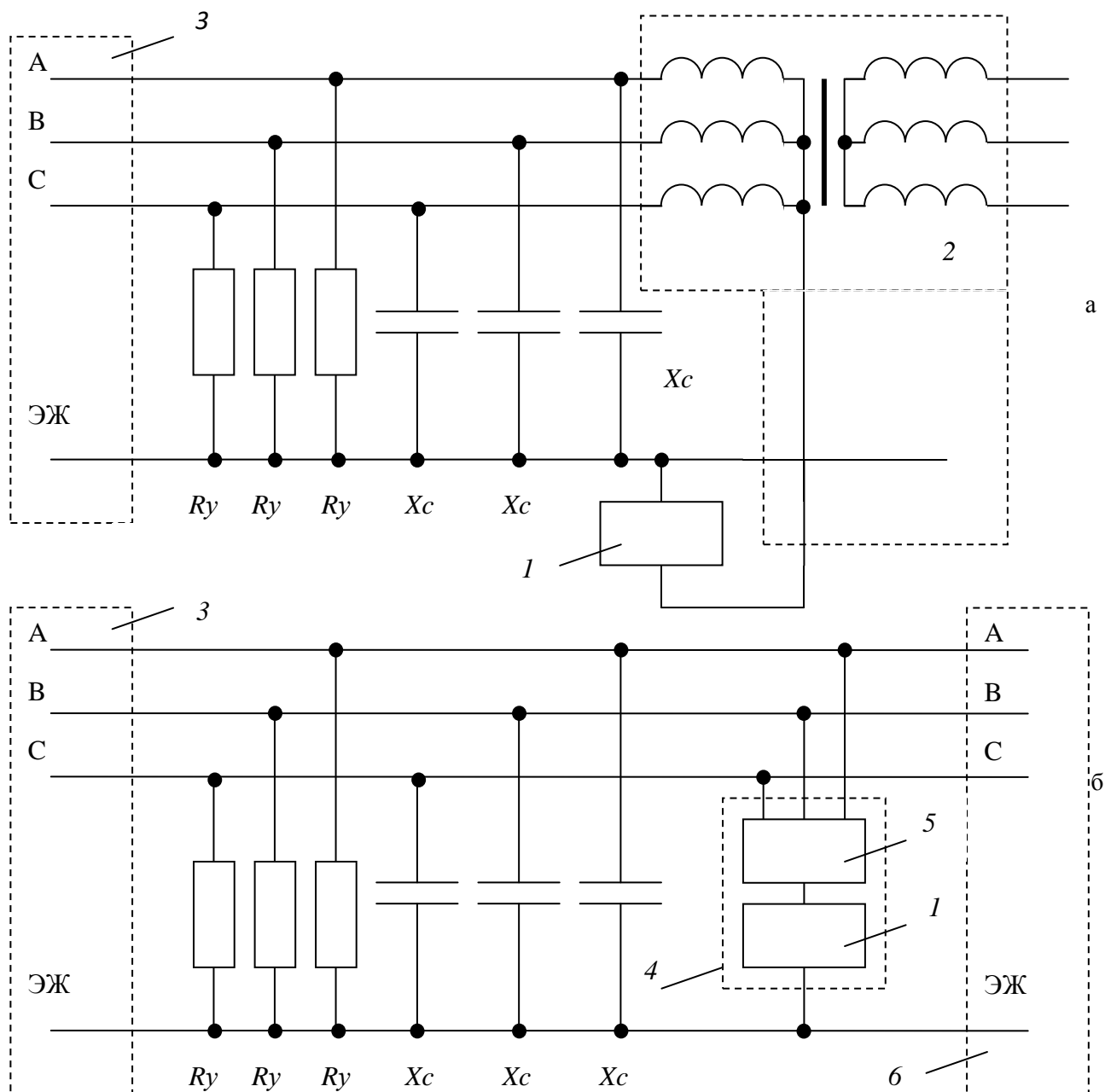


Рис. 3. Система подземного высоковольтного электроснабжения без использования общешахтной заземляющей сети с подключением узла 1 измерения токов утечки:
 а – к общей точке обмоток трансформатора электропитания; б – непосредственно к фазам сети.
 А, В, С – трехпроводная трехфазная сеть; ЭЖ – экранированная жила;
 R_u – сопротивление активной утечки; X_c – сопротивление емкостной утечки;
 2 – передвижная трансформаторная подстанция; 3 – комплектное распределительное устройство;
 4 – устройство контроля токов утечки; 5 – присоединительный узел; б – электроприемник

Особенностью построения системы электропитания является применение ЛЗС, расположенной в штрэке и входящей структуру МЗ вместо ОЗС, и выполнение местного заземления с новыми защитными свойствами. Введение в структуру системы электропитания и кабеля экранной жилы позволило высоковольтную сеть разделить на самостоятельные участки. Ранее для этой цели использовали высоковольтный дорогостоящий разделительный трансформатор. Экранная жила, плотно прилегающая к изоляции основных жил в кабеле, служит коллектором для токов активной утечки. Емкости в кабельной сети в этом случае образованы между фазами и экранной жилой.

Система подземного высоковольтного электропитания (см. рис. 3а) приемлема на участке сети «комплектное распределительное устройство – передвижная трансформаторная подстанция». В ней для протекания токов утечки создается электрическая цепь «фаза сети – узел контроля и измерения 1 – нулевая точка высоковольтных обмоток передвижной трансформаторной подстанции». Впервые в системах электропитания (см. рис. 3) контроль токов утечки осуществляется на переменном токе, что позволяет выполнить локализацию как активной, так и емкостной утечек.

Система электропитания (см. рис. 3б) предусматривает подключение устройства контроля сопротивления изоляции 4 непосредственно к фазам сети. Оно содержит соединительный узел 5 и узел 1 измерения токов утечки. Цепи для контроля и измерения токов утечки образованы электрическими связями активной и емкостной проводимостей, обеспечивающими протекание токов утечки через узел 1.

Важным условием является выполнение кабеля с применением полимерных материалов, не активных к формированию емкости. Эти материалы должны быть предусмотрены для изготовления индивидуальных экранов основных жил и бронированной оболочки. Жила заземления в кабеле в этом случае не предусматривается.

Выводы

Установлены свойства общешахтной заземляющей сети, препятствующие достижению параметров, соответствующих критериям безопасности эксплуатации систем подземного высоковольтного электропитания. Предложено заменить общешахтную заземляющую сеть комплексом локальных заземляющих сетей при использовании кабелей, конструкция которых предусматривает применение диэлектрических мате-

риалов малой удельной емкости. Расчетами подтверждено обеспечение нормируемых параметров безопасности эксплуатации подземных высоковольтных сетей при реализации локальных заземляющих сетей вместо ОЗС.

Направлением дальнейших исследований является установление конкретных параметров конструкции кабелей, адаптированных к применению совместно с комплексом локальных заземляющих сетей.

Список литературы

1. Berryann, R.J. Evolution of Longwall Mining and Control Systems in the United States [Electronic resource] / R.J. Berryann, J.A. Voelker // Mine Safety and Health Administration, Division of Electric Safety. – Triadelphia, West Virginia, 2005. – Mode of access: www.msha.gov/s&hinfo/techrpt/electrical/lwcntrl.pdf
2. ГОСТ 28298. Заземление шахтного электрооборудования. Технические требования и методы контроля. – Введ. 01.07.1990. Минуглепром СССР. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gostbank.metaltorg.ru/gost/19042/>
3. Кизимов, Н.А. Исследование возможности обеспечения искробезопасности тока замыкания на землю шахтной участковой сети путем компенсации его емкостной составляющей // Вопросы горной электромеханики. – М.: Госгортехиздат, 1961. – Т. XII. Вып. 4. – С. 28-38.
4. Антонов, Ю.П. Анализ обеспечения максимальной безопасности, при наличии утечек в шахтных кабельных сетях // Вопросы горной электромеханики. – М.: Госгортехиздат, 1961. – Т. XI, вып. 3. – С. 22-39.
5. Правила безопасности в угольных шахтах: НПА ОП 10.0-1.01-16. – Макеевка: Полипресс, 2016. – 218 с.
6. El-Hawary, M.E. Electric Power Systems: Design and Analysis. – Wiley-IEEE Press, 2009. – 808 p.
7. Nelson, J.P. System Grounding, Ground Fault Protection and Electrical Safety. IEEE Press Series on Power Engineering / J.P. Nelson, P.K. Sen. – Wiley-IEEE Press, 2009. – 500 p.
8. Маренич, К.Н. Автоматическая защита электрооборудования шахт от аварийных и опасных состояний: уч. пособ. для высш. учебн. заведений / К.Н. Маренич, И.В. Ковалёва. – Донецк: ООО «Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ», 2015. – 214 с.

A.M. Bryukhanov /Dr. Sci. (Eng.)/, O.A. Demchenko /Cand. Sci. (Eng.)/, L.A. Mufel /Cand. Sci. (Eng.)/
State Makeevka Safety in Mines Research Institute (Makeevka)
K.N. Marenich /Dr. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

LOCAL EARTHING NETWORKS – THE NEW SOLUTION TO ENSURE SAFE OPERATION OF THE UNDERGROUND HIGH-VOLTAGE POWER SUPPLY SYSTEMS

Background. *The concept of application of the general mine earthing network as a part of the system of power supply and cables with the earthing of the central conductor has exhausted the resource in the context of ensuring safe operating conditions of the electric equipment. Allocation of the high-voltage electrical network of underground consumers in a separate group of mines and the use of means of compensation of network capacity also does not allow achieving safe electrical parameters.*

Materials and/or methods. *The general mine earthing network is a mandatory element of the power supply system as a means of protecting personnel from electric shock. However, modern electrical networks are characterized by a considerable length and number of cables. In this regard, the general mine earthing network has a very high insulation capacity, which creates conditions for the danger of operation of electrical equipment. It is established that the safe operation of electrical equipment of the mine may be provided, subject to the application of the complicated local networks and earthing cables with low insulation capacity.*

Results. *The principal possibility established to provide safe operating parameters of the mine electrical network when using a complex of local earthing networks and cables of exclusive design with the use of polymers of low electrical capacity, shielding of power conductors and distribution of earthing conductors along the cable circuit near the outer surface. Acceptable parameters and configuration of the mine local earthing network scheme determined.*

Conclusion. *The properties of the earthing network, preventing the achievement of parameters that meet the criteria of safe operation of mine power systems, including high-voltage electrical systems. The proposed improvements suggest the replacement of the mine earthing network with a complex of local earthing networks when using cables, the design of which provides for the use of dielectric materials of low specific capacity, shielding of working cores and the distribution of the bulk earthing conductor along the cable contour near the surface of its shell. The calculations confirmed the provision of normalized safety parameters of operation of mine electrical installations in the implementation of the proposed technical solution.*

Keywords: *system, local earthing, local earthing network, general mine earthing network, earth leakage current, electric network capacity, cable, construction.*

Сведения об авторах

А.М. Брюханов

Телефон: +380 (71) 320-67-46
 Эл. почта: maknii.ra@gmail.com

Л.А. Муфель

Телефон: +380 (71) 475-08-99
 Эл. почта: maknii.ra@gmail.com

О.А. Демченко

Телефон: +380 (71) 373-92-58
 Эл. почта: maknii.ra@gmail.com

К.Н. Маренич

SPIN-код: 8632-8425
 Author ID: 377905
 ORCID iD: 0000-0002-6309-4986
 Телефон: +380 (71) 301-98-61
 Эл. почта: knm1@donntu.org

Статья поступила 12.07.2019 г.

*© А.М. Брюханов, О.А. Демченко, Л.А. Муфель, К.Н. Маренич, 2019
 Рецензент д.т.н., проф. А.П. Ковалёв*