

УДК 622 (621.315.05+621.316.93)004.2

О.А. ДЕМЧЕНКО, зам. директора по научной работе, канд. техн. наук,
Л.А. МУФЕЛЬ, ст. науч. сотрудник, канд. техн. наук,
В.Н. СТОЯН, зав. лаб., канд. техн. наук,
А.Ю. ГЛАДКОВ зав. лаб., ст. науч. сотрудник,
В.В. ДИДЕНКО, ст. науч. сотрудник, канд. техн. наук,
В.А. ГАВРИЛКО, ст. науч. сотрудник; МакНИИ, Макеевка

БЕЗОПАСНАЯ СХЕМА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Разработана безопасная схема высоковольтного электроснабжения, в которой устранено формирование активной и емкостной составляющих токов утечки на землю. В системе высоковольтного электроснабжения впервые не предусмотрены общешахтная сеть заземления и местное заземление электрооборудования, что позволяет по-новому обеспечивать электробезопасность и взрывобезопасность в шахтах. Разработана новая конструкция кабеля для реализации безопасной схемы высоковольтного электроснабжения.

Ключевые слова: высоковольтное электроснабжение, утечка тока, кабель, общешахтная сеть заземления, компенсация, защитное отключение, емкость, изоляция, искроопасная цепь, заземлитель.

Взрывы и пожары, происходящие в шахтах, свидетельствуют о том, что применяемая схема высоковольтного электроснабжения (СВЭ) не обладает в полной мере защитными характеристиками.

Основным недостатком действующей в отрасли СВЭ является переход токов утечки в землю, поскольку:

- токи утечки достаточны для электропоражения людей;
- емкость «силовая жила – жила заземления» обладает накопленной энергией, опасной для воспламенения метановоздушной смеси (МВС);
- распределительная высоковольтная сеть электроснабжения является протяженной и непрерывной, что делает ее искроопасной в совокупности с устройством предварительного контроля сопротивления изоляции;
- цепи общешахтной сети заземления, в которую попадают токи утечки, являются искроопасными, что недопустимо с точки зрения безопасности и требований нормативных документов.

К недостатку СВЭ следует также отнести применение разделительного трансформатора, который совместно с устройством контроля сопротивления изоляции используется для отключения поврежденного участка сети, имеет высокую стоимость и требует периодического обслуживания согласно эксплуатационным документам.

Цель статьи – разработать безопасную схему высоковольтного электроснабжения для исключения утечки токов на землю, условий для воспламенения МВС и поражения людей электрическим током.

В [1] обоснована новая стратегия электро- и взрывобезопасности и впервые предложена схема высоковольтного электроснабжения, в которой исключен путь токов утечки на заземляющую жилу и сеть местного заземления за счет применения кабеля новой конструкции. Для этого в структуру СВЭ и конструкцию высоковольтного кабеля введена экранная жила, которая изолирована от жилы заземления и корпусов электрооборудования. Данная жила выполнена неизолированной и контактирует с экранами основных жил. В этой схеме устройство контроля сопротивления изоляции подключено между экранной жилой и фазами распределительной сети, что обеспечивает в случае снижения сопротивления изоляции переход тока утечки посредством экранной жилы обратно в силовую цепь, а не в цепь заземления, как это было предусмотрено ранее. К тому же контроль утечек тока через экранную жилу позволяет разделить всю высоковольтную сеть на участки, определяемые длиной кабеля между высоковольтным электрооборудованием, что обеспечивает селективное отключение поврежденного участка без применения разделительного трансформатора.

Вместе с тем, высоковольтная кабельная сеть, ввиду ее протяженности и разветвленности, обладает емкостью фаз сети относительно жилы заземления, значение которой достигает 10 мкФ. В работе [2] показано, что в электрической сети, обладающей емкостью фаз относительно жилы заземления, могут возникать кратковременные и длительные токи утечки, представляющие опасность в отношении взрыва рудничного газа. Обеспечение искробезопасности этих токов с помощью каких-либо простых средств, не затрудняющих эксплуатацию сетей, является практически неосуществимым.

Для уменьшения емкости сети за счет разработки определенной конструкции и структуры кабеля решение не было найдено. Поэтому для локализации токов утечки в протяженных сетях, обладающих большой емкостью, используют способ ее компенсации с помощью индуктивности, включаемой между нейтралью трансформатора и землей. Принцип компенсации, как известно, заключается в снижении емкостной составляющей полного тока утечки за счет подключения катушки индуктивности, ток которой противоположен по фазе емкостной составляющей тока утечки [3,4]. При соблюдении равенства емкостного и индуктивного токов, что соответствует полной компенсации, значение тока утечки минимально и равно ак-

тивной составляющей. Благоприятное действие компенсации проявляется не только в уменьшении тока утечки, но также и в снижении напряжения на сопротивлении однофазной утечки.

Компенсация емкостной составляющей тока утечки позволяет снизить уставки отключающих сопротивлений устройства защиты от утечек тока при сохранении существующего уровня безопасности, благодаря чему эксплуатационные характеристики, надежность и эффективность защиты от утечек, а также надежность электроснабжения повышаются.

Вместе с тем, применение автоматической компенсации емкости обуславливает протекание индуктивного тока по цепи заземления и, в случае ее повреждения, возможно возникновение открытого электрического искрения. Данное искрение даже при небольших значениях емкости сети по отношению к земле может обладать высокой воспламеняющей способностью и представлять реальную опасность в шахтах, опасных по газу или пыли.

Конечно, выполнение автоматической компенсации емкостной составляющей для обеспечения электробезопасности достаточно эффективно, но вместе с тем ее применение, как упомянуто ранее, создает условия для формирования сценариев взрывов и пожаров в шахтах.

Из приведенного анализа следует, что применение жилы заземления в кабеле и построение на ее основе общешахтной сети заземления ухудшает безопасные характеристики СВЭ и одновременно показывает насколько недопустимо, с точки зрения безопасности, использование в распределительной сети и структуре кабеля жилы заземления. В то же время отсутствие жилы заземления исключает формирование емкостных токов утечки на землю и необходимость ее компенсации. Поэтому в такой сети недостатки, присущие традиционным СВЭ, устранены, что позволяет кардинально улучшить условия безопасности в шахтах.

Здесь также следует отметить, что обустройство общешахтной сети заземления создает электрическую цепь для протекания токов утечки по всей шахте, независимо от того, в каком месте произошло повреждение изоляции, замыкание фазы на корпус и другие аварийные режимы. Вынос же опасного значения тока утечки в места с загазированием рудничного воздуха и при наличии повреждения в общешахтной сети приводит к искрению и воспламенению взрывоопасной МВС.

В настоящее время искрение, возникающее в цепи общешахтного заземления, неоправданно не рассматривают как условие для формирования опасного источника воспламенения МВС и не учитывают при расследовании различных видов аварий в шахтах.

Изложенное дает основание выполнить СВЭ без соединения корпусов комплектных распределительных устройств (КРУ) и оболочек высоковольтных электроприемников с общешахтной сетью заземления. Принимая такой подход, распределительная сеть СВЭ впервые может быть представ-

лена состоящей из трехфазной сети на основе трех основных жил силового кабеля и жилы экранной, а также совокупности электрических защит.

Новая безопасная система электроснабжения разделена на две подсистемы (рис.1):

– высоковольтная распределительная сеть с коммутационными аппаратами (1) и электроприемниками, где не предусмотрено местное заземление оболочек электрооборудования и формирование общешахтной сети заземления;

– низковольтная подсистема, в которой после участковой трансформаторной подстанции (12) формируется традиционная система электроснабжения подземных электроприемников (9), с использованием общешахтной сети заземления (10).

В высоковольтной подсистеме, кроме традиционных защит от токов к.з. должны применяться защиты от утечек тока трехфазной сети на экранную жилу (3(1)), защиты от утечек (замыканий) тока той же сети на корпус электрооборудования (3(2)) и защита от замыкания экранной жилы на корпус электрооборудования (4). В низковольтной подсистеме электроснабжения применяются традиционные защиты (11), обеспечивающие безопасное ведение горных работ.

Отсутствие жилы заземления предполагает гальваническое разделение оболочек электрооборудования СВЭ между собой и с общешахтной сетью заземления. Причем, чем лучше изолированы корпуса высоковольтных установок от «земли» горной выработки, где они устанавливаются, тем меньше значение токов утечки по цепи «силовая жила – земля». Оптимальным решением, например, явилось бы покрытие поверхностей оболочек КРУ изоляционным материалом типа «PLASCOAT», выдерживающим напряжение пробоя 20 кВ. Технология термонапыления вышеуказанного материала с успехом применяется в Болгарии, Германии при производстве модулей аккумуляторных тяговых батарей шахтных электровозов. Указанное построение СВЭ также исключает возможность формирования цепи междуфазных замыканий, появляющихся при однофазных замыканиях на землю разных фаз сети 6 кВ на участках шахты, значительно удаленных друг от друга. Такой подход определяет нецелесообразность выполнения местного заземления электрооборудования в СВЭ, поскольку его применение повышает опасность электропоражений в случае однофазных замыканий на корпус электроустановок. Для устранения такой опасности предусмотрена защита от замыканий фазы на корпус, автоматически отключающая напряжение с поврежденного электрооборудования. Реализация такого решения, в сравнении с действующей в настоящее время концепцией безопасности применения электрической энергии не снижает достигнутый уровень безопасности в шахтах.

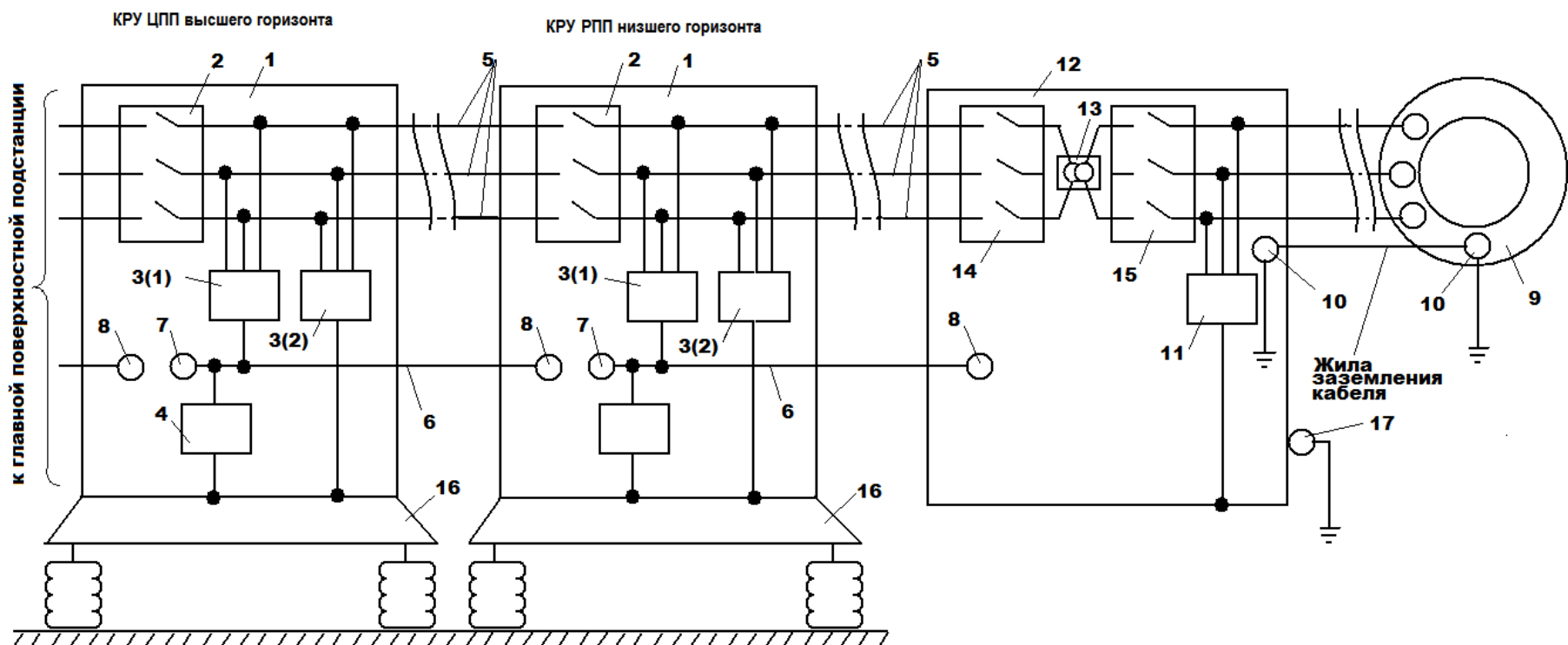


Рис.1. Безопасная высоковольтная схема электроснабжения без жилы заземления с традиционной защитой от токов утечки на землю в сети низкого напряжения:

1 – КРУ; 2 – коммутационный аппарат; 3(1) – устройство защиты от токов утечки на экранную жилу; 3(2) – устройство защиты от токов утечки на корпус; 4 – устройство контроля замыкания «экранный жилу - корпус»; 5 – высоковольтный кабель; 6 – экранная жилу кабеля; 7 – выходной опорный изолятор для экранной жилу; 8 – входной опорный изолятор для экранной жилу; 9 – низковольтный электродвигатель; 10 – внутренний заземляющий зажим взрывозащищенного электрооборудования; 11 – аппарат защиты от токов утечки на землю типа АЗУР; 12 – трансформаторная подстанция; 13 – силовой трансформатор; 14 – разъединитель отсека РУВН подстанции; 15 – автоматический выключатель отсека РУНН трансформаторной подстанции; 16 – условное изображение изоляции корпуса КРУ, указывающего на отсутствие контакта его оболочки с «землей» выработки; 17 – наружный заземляющий зажим взрывозащищенного электрооборудования.

В электрооборудовании низковольтной подсистемы впервые предусмотрено специальное устройство, обеспечивающее непрерывный автоматический контроль сопротивления местного заземления, включая участок цепи естественного растекания тока по почве между искусственно установленными заземляющими электродами. При повышении сопротивления выше допустимого, обрыве заземляющих проводов, устройство осуществляет автоматическое защитное отключение электрооборудования и световую индикацию состояния цепи местного заземления. Ранее оценка состояния цепи местного заземления осуществлялась обслуживающим персоналом посредством ежесменного визуального осмотра и поэтому была не объективной по причине действия человеческого фактора.

Функциональная схема устройства приведена на рис. 2.

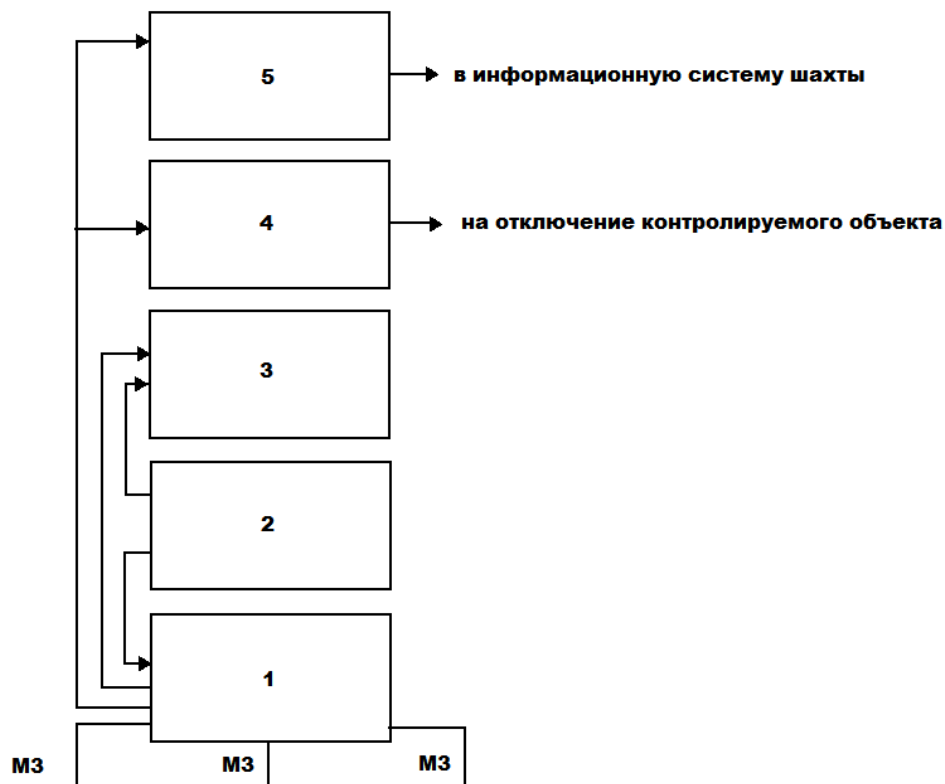


Рис. 2. Функциональная схема устройства контроля параметров цепи заземления

Она содержит: не менее трех измерительных электродов (МЗ); блок измерения сопротивления цепи заземления 1; источник питания 2; блок индикации 3; блок исполнительных команд 4; блок формирования информационных сигналов 5.

Для реализации предложенной СВЭ разработан новый взрывобезопасный кабель. Согласно новой схеме конструкция кабеля содержит: три основные жилы 1 в индивидуальных экранах 3, 5 и жилу экранированную 6, которые скручены между собой. Затем последовательно накладывают внутреннюю оболочку 7, общий экранирующий слой 8, защитную 9 и наружную 10 оболочки (рис.3).

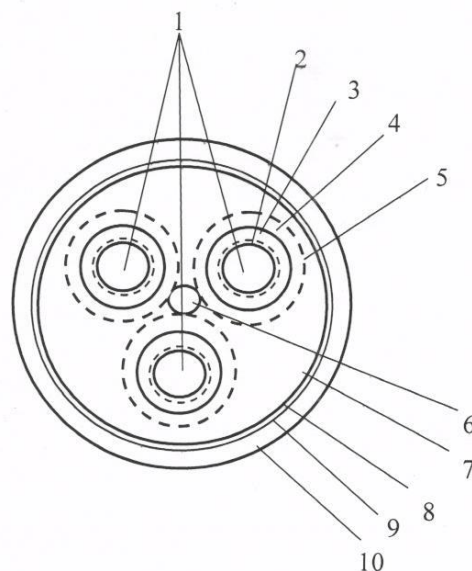


Рис. 3. Кабель силовой экранированный бронированный:

1 – основные (силовые жилы); 2 – медный провод; 3 – экранирующий слой; 4 – изоляция основных жил; 5 – экранирующий слой; 6 – экранирующая жила; 7 – внутренняя оболочка; 8 – общий экран; 9 – бронированная оболочка; 10 – наружная защитная оболочка

Особенность конструкции данного кабеля состоит в том, что в нем отсутствует жила заземления, индивидуальные экраны основных жил выполнены из полупроводящей пластмассы вместо медных лент, а бронированная оболочка изготовлена из упрочненного прессованного ПВХ - пластика вместо стальных лент. Введенные конструктивные изменения обусловлены следующим:

- применение экранов из полупроводящей пластмассы вместо медных лент резко снижает емкость основных жил относительно экранирующей жилы и, кроме того, устраняется нагрев и механическое повреждение изоляции основных жил медными лентами в процессе работы кабеля, так и при электрических разрядах, возникающих в результате ионизации воздуха между экраном и изоляцией жил;

- исключение жилы заземления и изготовление бронированной оболочки из неметаллических материалов устраняет возможность формирова-

ния емкости сети и искроопасной цепи с жилой заземления в аварийных режимах, негативно влияющих на условия безопасности в шахтах, опасных по газу или пыли;

– выполнение индивидуального экранирования основных жил посредством внутреннего и внешнего экранов, а также применение общего экрана способствуют созданию эквипотенциального электромагнитного поля, которое препятствует возникновению разрядов, отрицательно влияющих на состояние изоляции.

Таким образом, разработана безопасная система высоковольтного электроснабжения с изолированной нейтралью, в которой реализованы технические решения, повышающие безопасность применения электрической энергии в шахтах.

ВЫВОДЫ

1. Недостатки действующей в отрасли схемы высоковольтного электроснабжения вызваны утечками тока на землю и в общешахтную сеть заземления, приводящими к взрывам и пожарам в шахтах, а также поражению людей электрическим током.

2. Разработана безопасная схема высоковольтного электроснабжения, в распределительной сети которой не формируются активная и емкостная составляющие тока утечки на землю, так как в ней исключены: жила заземления, общешахтная сеть заземления и цепь местного заземления высоковольтного электрооборудования.

3. Безопасная схема высоковольтного электроснабжения исключает формирование опасных токов утечки по цепи «трехфазная сеть – земля», поскольку посредством экранной жилы кабеля новой конструкции, изолированной от корпусов электрооборудования и земли, образована цепь для «перехода» их обратно в трехфазную сеть, не создавая опасных сценариев для возникновения взрывов и пожаров в шахтах.

4. Впервые введен непрерывный контроль параметров цепи местного заземления в сети низковольтного электроснабжения с обеспечением защитного отключения в случае отклонения указанных параметров от нормированных величин.

5. Для реализации предложенной схемы высоковольтного электроснабжения конструкция кабеля значительно упрощена и содержит три основные и экранную жилу, а экраны и бронированная оболочка выполнены из неметаллических материалов, что снижает массогабаритные характеристики кабеля, исключает формирование емкости в его структуре и повышает механическую прочность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брюханов А. М. Новая стратегия электро- и взрывобезопасности схем высоковольтного электроснабжения. / А. М. Брюханов, О. А. Демченко, Л. А. Муфель, В. Н. Стоян // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка: МакНИИ. – 2014. – № 1 (33). – С. 7-14.
2. Гринь К. А. Средства защиты от поражения электротоком в шахтных сетях высокого напряжения / К. А. Гринь // Техника безопасности в угольной промышленности. – М.: Гос. науч.-техн. изд. лит. по горн. делу, 1963. – С. 138-148.
3. Кизимов Н. А. Условия обеспечения искробезопасности цепей заземления устройств компенсации емкости шахтных низковольтных сетей. / Н. А. Кизимов, В. П. Колосюк // Труды МакНИИ. Вопросы горной электромеханики. – М.: Недра, 1969. – Т. XIX. – С. 257-271.
4. Черников А. А. Компенсация емкостных токов в сетях с незаземленной нейтралью / А. А. Черников. – М.: Энергия, 1974. – 96 с.

Получено: 10.03.15

Розроблено безпечну схему високовольтного електропостачання, у якій усунуто формування активної та ємнісної складових струмів витоку на землю. У системі високовольтного електропостачання уперше не передбачені загальношахтна мережа заземлення та місцеве заземлення електроустановки, що дозволяє по-новому забезпечувати електричну безпеку та вибухобезпеку в шахтах. Розроблено нову конструкцію кабелю для реалізації безпечної схеми високовольтного електропостачання.

Ключові слова: високовольтне електропостачання, витік току, кабель, загальношахтна мережа заземлення, компенсація, захисне відключення, ємність, ізоляція, іскробезпечне коло, заземлювач.

The safe high-voltage power supply scheme has designed, in which the forming of both active and capacitive components of earth leakage current is excluded. For the first time the high-voltage power supply schema does not provide a common mine ground system and local earth of electrical equipment, which allows to guarantee electrical and explosion safety in mines in a new way. The new cable construction for safe high-voltage power supply scheme realization has been designed.

Keywords: high-voltage power supply, current leakage, cable, common mine ground system, compensation, shutoff protection, spark-safe circuit, grounding conductor.