

II. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 622 (621.315.05+621.316.93)004.2

В.Н. СТОЯН, канд. техн. наук, зав. лаб.,

В.А. ГАВРИЛКО, ст. науч. сотрудник,

В.В. ДИДЕНКО, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник; *МакНИИ,*
г. Макеевка

Ю.А. ГОНЧАРОВ, канд. техн. наук, доцент; *ДонНТУ, г. Донецк*

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ЗАЩИТ ОТ УТЕЧЕК (ЗАМЫКАНИЙ) ТОКА НА ЗЕМЛЮ В ШАХТНЫХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 6 КВ

Проанализированы принципы построения защит от утечек (замыканий) тока на землю, как на главной поверхностной подстанции шахты, так и в системе электроснабжения подземных выработок. Отмечено, что устройства контроля изоляции в высоковольтных шахтных распределительных сетях, не обнаруживают повреждения изоляции на ранней стадии их развития, а постоянно изменяющаяся конфигурация сети шахты и отсутствие устойчивых угловых соотношений между током и напряжением нулевой последовательности значительно усложняют задачу создания надежной защиты от замыканий на землю.

Ключевые слова: шахтная сеть напряжением 6 кВ, параметры срабатывания, комплектное распределительное устройство.

Безопасность производства на угольных предприятиях и стабильность их работы определяется бесперебойностью электроснабжения сети 6 кВ, которая зависит, как от надежности комплектных распределительных устройств (КРУ), так и корректности работы защит от аварийных режимов.

Актуальность статьи определяется некорректной работой устройств контроля в части обнаружения повреждений изоляции на ранней стадии их развития, связанных с постоянно изменяющейся конфигурацией сети шахты, отсутствием устойчивых соотношений между током и напряжением нулевой последовательности в зависимости от величины сопротивления утечки.

Целью статьи является анализ основных принципов построения защит от утечек (замыканий) тока на землю в шахтных сетях напряжением 6 кВ для создания надежной защиты от замыканий на землю.

На шахтах Донбасса, проектировавшихся в сороковых годах про-

шлого века, подземные и поверхностные электроприемники подсоединялись к одной системе шин и были гальванически связаны между собой, т.е. аварии в сетях на поверхности влияли на надежность электроснабжения подземных электроприемников.

На шахтах, строившихся в 50-60 годах прошлого века, проектами предусмотрено обособленное от поверхностных сетей питание подземных электроустановок напряжением 6 кВ с применением для этих целей специальных трехобмоточных трансформаторов 110/6,3/6,6 кВ.

Вследствие большой протяженности распределительных сетей современных угольных шахт, токи замыкания на землю превышают 30 А. Поэтому для компенсации емкостного тока замыкания на землю в соответствии с п.1.2.16 [1] на поверхностной подстанции применяются компенсирующие устройства с регуляторами автоматической настройки. Согласно п. 8.1.4 [2], в подземных выработках должны применяться сети с изолированной нейтралью трансформаторов.

Распределительные сети напряжением 6 кВ характеризуются большой разветвленностью, ступенчатостью питания, неблагоприятными условиями эксплуатации, а именно: повышенной температурой, наличием влаги, проводящей пыль и горючими материалами. Воздействие этих факторов способствует возникновению аварийных ситуаций, сопровождающихся взрывами метановоздушной смеси или пыли, пожарами и электропоражения персонала. В распределительных сетях угольных шахт до 90% от общего числа аварий составляют несимметричные повреждения, к которым относятся однофазные и двойные замыкания на землю, а статистические данные свидетельствуют о ежедневно возникающих замыканиях фазы на землю. Причины разные – механические и электрические повреждения изоляции, загрязнение и увлажнение изоляторов, растрескивание битумной мастики в соединительных муфтах, воздействие атмосферных и коммутационных перенапряжений. Наибольшая опасность заключается в переходе однофазных замыканий на землю в междуфазные замыкания в различных точках сети, сопровождающиеся большими токами и высокими потенциалами, появляющимися на корпусах электрооборудования и значительно превышающих допустимые безопасные значения. При таких аварийных ситуациях происходит повреждение сети, разрушение изоляции, появляется опасность электропоражения персонала. Прохождение тока утечки по цепям заземления может привести к выносу опасного потенциала в сеть заземления шахты и вызвать открытое искрение, являющееся причиной пожара или взрыва метановоздушной смеси. Основная мера борьбы с такими авариями – оснащение распределительных сетей защитой от замыканий на землю, способной выявлять и отключать все виды замыканий на землю, в первую очередь, дуговые, и защищать персонал от электропора-

жения при прикосновении к корпусу электроустановки, в которой возникло однофазное замыкание.

Согласно п. 8.7.1 [2] в подземных сетях напряжением выше 1140В должна осуществляться защита кабельных линий, трансформаторов (передвижных подстанций) и электродвигателей от утечек (замыканий) на землю, а также защита, предотвращающая включение отходящей сети со сниженным сопротивлением изоляции. Устройствами, реагирующими на возникновение утечки (замыкания) на землю, оснащаются как сети поверхности шахты, так и подземные распределительные сети высокого напряжения. По результатам проведенного анализа установлено пять принципов построения защит от утечек (замыканий) тока на землю, применяемых в шахтных сетях напряжением 6кВ:

- защиты, реагирующие на напряжение фаз относительно земли;
- защиты, реагирующие на напряжение нулевой последовательности;
- защиты, реагирующие на ток нулевой последовательности;
- защиты, реагирующие на ток, напряжение нулевой последовательности и фазовый угол между ними;
- защиты, работающие на принципе наложения постоянного оперативного тока на распределительную сеть высокого напряжения.

На главной поверхностной подстанции применяются устройства контроля сопротивления изоляции с действием на сигнал, осуществляемый с помощью пятистержневого трехфазного трансформатора напряжения типа НТМИ-6-66 или трех однофазных трансформаторов напряжения.

Устройство контроля изоляции состоит из трех реле минимального напряжения, включенных на напряжение фаз относительно земли или схемы с реле напряжения, включенным на напряжение нулевой последовательности. Вместо реле на фазы относительно земли могут подключаться вольтметры или лампы накаливания. При появлении “Земли” устройство контроля выдает звуковые и световые сигналы, после которых дежурный персонал поочередным отключением присоединений, сначала в центральной подземной подстанции определяет поврежденную линию, а затем – в распределительном подземном пункте. Указанный способ определения повреждения связан с длительными перерывами электроснабжения, особенно неудобен на подстанциях без постоянного дежурного персонала. В зависимости от сложности сети электроснабжения перерывы питания иногда достигают 1-2 часов. Поэтому указанный способ контроля сопротивления изоляции необходимо дополнять селективной защитой от замыканий на землю.

В сетях с малыми токами замыкания на землю в качестве селективных защит, указывающих поврежденный участок, применяются токовые и направленные защиты, реагирующие на ток, напряжение нулевой последо-

вательности и фазовый угол между ними.

Токовые защиты, реагирующие на емкостной ток сети, являются наиболее простым решением для осуществления селективной защиты. Но обеспечить требуемую селективность защиты оказывается возможным только при большом количестве присоединений (не менее пяти), когда суммарный емкостной ток сети при замыкании на землю во много раз превосходит емкостной ток каждого присоединения. Защиты устанавливаются в начале каждого присоединения и реагируют на сигналы, получаемые с трансформаторов тока нулевой последовательности. При выборе уставок необходимо обеспечить отстройку от собственных емкостных токов линии, а также от токов небаланса при коротких замыканиях в сети. При замыкании на землю по действию защиты определяется то радиальное направление, на котором произошло повреждение и поврежденным считается тот участок, на котором сработавшая защита является последней. Для обеспечения продольной селективности время действия защиты подбирается по ступенчатому принципу.

Среди направленных защит от замыканий на землю для поверхностных сетей с изолированной нейтралью наибольшее распространение получила защита типа ЗЗП-1, предназначенная для селективного отключения защищаемого присоединения при однофазном замыкании на землю. Для работы устройства используются трансформаторы тока последовательности типов ТЗЛ, ТЗЛМ, ТЗ. Срабатывание защиты обеспечивается при суммарном емкостном токе от 0,2 до 20А. Защита типа ЗЗП-1 представляет собой реле направленной мощности и работает на принципе сравнения по фазе тока и напряжения нулевой последовательности. В этом случае не требуется отстраивать защиту от собственных емкостных токов защищаемой линии. Селективность работы защиты обеспечивается сравнением величин и направлений токов, появляющихся при замыкании на землю на поврежденном и неповрежденном присоединениях. Направление тока на поврежденном и неповрежденном присоединениях противоположны. Реагируя на это различие, защита действует только на поврежденном присоединении и не срабатывает на неповрежденных присоединениях. Защита типа ЗЗП-1 имеет первичный ток срабатывания на уставке 1 – 0,07 А, на уставке 2 – 0,5 А, на уставке 3 – 2 А. Порог срабатывания защиты по напряжению нулевой последовательности – (20÷40) В. Время срабатывания защиты при двукратном значении тока срабатывания составляет 45 мс.

Работы по созданию защиты от утечек (замыканий) тока на землю для распределительных сетей напряжением 6 кВ горных выработок угольных шахт, ведутся уже длительное время в двух направлениях:

– разработка селективной защиты от утечек (замыканий) на землю для подземных распределительных сетей напряжением 6 кВ;

– разработка общесетевой защиты от утечек тока на землю для обособленных малоразветвленных сетей, которая совместно с блокировочным реле утечки (БРУ) и устройством автоматического повторного включения (АПВ) позволяет обеспечить избирательное отключение поврежденной линии.

Для селективной защиты от однофазных замыканий (утечек) на землю в сетях подземных выработок напряжением 6 кВ разработан блок направленной защиты типа БНЗ. Он предназначен для встройки во взрывозащищенные оболочки КРУ типа КРУВ-6 и отключает его выключатель при токе замыкания на землю до 30 А. При возникновении в сети однофазного замыкания на землю, возникает ток и напряжение нулевой последовательности, которые одновременно поступают в токовый канал и канал напряжения. В фазочувствительном усилителе напряжение нулевой последовательности сдвигается по отношению к входному напряжению на угол, выбранный из условия максимальной чувствительности блока по току нулевой последовательности. Схема блока построена таким образом, что в поврежденном присоединении входные сигналы фазочувствительного усилителя (ток и напряжение нулевой последовательности) совпадают по фазе, а в неповрежденном находятся в противофазе. При совпадении сигналов по фазе исполнительное устройство срабатывает и выдает команду на отключение КРУ, а также световой сигнал о возникновении однофазного замыкания на землю. Когда входные сигналы фазочувствительного усилителя находятся в противофазе, исполнительное устройство не срабатывает, чем исключаются неселективные отключения неповрежденных присоединений. Минимальный порог срабатывания блока по первичному току – 0,2А. Порог срабатывания блока по напряжению нулевой последовательности при двукратном значении тока срабатывания равен 11В. Время срабатывания при напряжении нулевой последовательности, равном 0,8 номинального и токе, равном двукратному значению тока срабатывания, составляет не более 60 мс. Зона срабатывания блока составляет (150 ± 20) электрических градусов.

При модернизации релейной схемы управления КРУВ-6 были разработаны микропроцессорные блоки защиты и управления БЗУ-2, альтернативы которым в настоящее время нет. По выполняемым функциям и алгоритму работы все модификации блоков одинаковы, отличаются лишь программным обеспечением и комплектующими изделиями.

Рассмотрим наиболее типичный блок защиты и управления БЗУ-2-11, в котором предусмотрено два режима работы защиты: ненаправленная и направленная. Ненаправленная защита рекомендуется для радиальных сетей. Эта защита работает как токовая и устанавливается в начале каждого радиального направления. Селективность работы защиты обеспечивает-

ся отстройкой от собственных емкостных токов линии. Для обеспечения продольной селективности работы защиты предусмотрена выдержка времени от 20 до 5000 мсек.

Направленная защита предназначена для применения в разветвленных распределительных сетях напряжением 6 кВ. Она работает на принципе сравнения фазы напряжения нулевой последовательности с фазами токов замыкания на землю в поврежденных и неповрежденных линиях. Минимальный порог срабатывания по первичному току нулевой последовательности не более 500 мА. Порог срабатывания по напряжению нулевой последовательности составляет 12 В. При возникновении замыкания на землю по вторичной обмотке трансформатора тока проходит ток нулевой последовательности и одновременно на вторичной стороне датчика напряжения нулевой последовательности появляется напряжение смещения нейтрали. Оба этих сигнала поступают на вход логического элемента “И”, где нормируются и анализируются. Поперечная селективность работы защиты основана на том принципе, что ток замыкания на землю в поврежденном присоединении отстает от напряжения нулевой последовательности на 90° , а токи в неповрежденных присоединениях опережают напряжение на 90° . Электрическая схема осуществляет сдвиг фазы выходного тока на угол, близкий 90° по отношению к первичному току трансформатора тока нулевой последовательности. Алгоритм работы блока построен таким образом, что значения тока и напряжения нулевой последовательности совпадают по фазе на поврежденном присоединении в заданном угловом секторе. При соблюдении этого условия происходит срабатывание направленной защиты. Выбираемый сектор можно задавать любой ширины и знака в диапазоне от $+120$ до -120 электрических градусов. На неповрежденном присоединении сигналы находятся в противофазе и срабатывание направленной защиты не происходит. Срабатывание защиты сопровождается подачей команды на отключение КРУ и включением индикатора “Земля”. В момент замыкания на экране дисплея блока БЗУ-2 высветятся фактические значения тока замыкания на землю, напряжения нулевой последовательности и угла между ними. Эти сведения, а также дата и время срабатывания защиты, заносят в журнал аварийных ситуаций. Свечение индикатора “Земля” при включенном КРУ, свидетельствует о том, что в отходящем присоединении возникали самоустраняющиеся замыкания на землю, которые обычно предшествуют возникновению устойчивых замыканий. Нельзя исключать и вероятности появления ложных срабатываний защиты, особенно при дуговых замыканиях на землю. Поэтому защиту рекомендуется использовать совместно с АПВ и БРУ, создавая, таким образом, непрерывный контроль изоляции под напряжением и без него. Контроль работоспособности защиты осуществляется посредством кнопки

“Проверка”. При этом на экране блока появляется сообщение “Проверка Земли” с параметрами срабатывания.

В обособленных малоразветвленных кабельных сетях применяется аппарат общесетевой защиты АЗО-6, в котором для контроля сопротивления изоляции используется принцип наложения постоянного оперативного тока на рабочую сеть и контроль его величины в цепи: “три фазы – земля”. АЗО-6 обеспечивает контроль целостности цепи между аппаратом и нейтралью силового разделительного трансформатора. Сопротивление срабатывания при однофазной, двух и трехфазной утечках тока на землю не менее – 120, 240, 360 кОм соответственно. Длительный ток утечки – не более 0,03 А. Собственное время срабатывания аппарата при сопротивлении однофазной утечки 1 кОм и емкости сети от 0,1 до 2 мкФ /фазу – не более 0,06 с. Измерительный ток источника оперативного тока не более – 10 мА. Напряжение источника оперативного тока составляет (450±50) В. Суммарная емкость сети – не более 2 мкФ/фазу. Емкость отдельной подключаемой линии не более 1 мкФ/ фазу.

При снижении сопротивления изоляции ниже допустимого значения аппарат срабатывает и отключает потребителя от сети 6 кВ. На аппарате появится световой сигнал “Утечка” и величина сопротивления изоляции, при котором произошло отключение КРУ. Кнопка “Проверка” предназначена для проверки функционирования аппарата, при нажатии которой к аппарату подсоединяется дополнительная земля “ДЗ”. В этом режиме значение проверочного сопротивления, при котором происходит отключение КРУ, составляет 100-120 кОм.

ВЫВОДЫ

В результате анализа существующих устройств контроля изоляции, применяемых в шахтных распределительных сетях высокого напряжения, установлено, что они не определяют повреждения изоляции на ранней стадии их развития и не предупреждают об опасности, обусловленной токами утечки на землю.

В шахтных сетях напряжением 6 кВ устройства направленной защиты, вследствие большой емкости сети, обладают недостаточной чувствительностью и практически реагируют на металлические замыкания на землю, а существующая селективная защита не надёжна вследствие постоянно меняющейся конфигурации сети шахты, а также недостаточно четких и устойчивых угловых соотношений между током и напряжением нулевой последовательности при замыканиях на землю. Поэтому оптимальным вариантом является защита от утечек, работающая на принципе наложения постоянного оперативного тока на рабочую сеть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок: НПАОП 40.1-1.32-01. – Офиц. изд. – Харьков: Форт, 2009. – 708 с.
2. Правила безопасности в угольных шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10. – Офиц. изд.– Киев: Редакция журнала “Охрана труда”, 2010. – 431 с.

Получено: 12.10.17

ANALYSIS OF MAIN PRINCIPLES OF PROTECTION CONSTRUCTION AGAINST EARTH CURRENT LEAKAGE (EARTH SHORT CIRCUIT) IN MINE NETWORKS WITH THE VOLTAGE OF 6 KV

The principles of protection construction against earth current leakage (earth short circuit) have been analyzed both on the main mine surface substation and in the power supply system of underground workings. It is pointed out that insulation control devices in high-voltage mine distribution networks do not show any insulation failures at early stages of their development while constantly changing configuration of mine network and absence of stable angled relations between current and zero phase-sequence voltage complicate significantly the task of development of safe protection against earth short circuit.

Keywords: mine network with the voltage of 6 kV, operating values, switchgear and control gear.