

УДК 621.315.673.1:62-213.34



А. Г. МНУХИН,
доктор техн. наук
(МакНИИ)



А. В. АНТИПИН,
инж.
(МакНИИ)



В. А. ГАВРИЛКО,
инж.
(МакНИИ)



А. П. ЛИХВАН,
инж.
(МакНИИ)

Пути развития конструкций рудничных высоковольтных распределительных устройств

Проанализирована тенденция развития шахтных высоковольтных распределительных устройств, направленная на широкомасштабное внедрение вакуумной и элегазовой техники, а также микропроцессорных схем управления и защит. Выполнены экспериментальные исследования параметров переходных процессов при коммутациях элегазовых выключателей в шахтных высоковольтных сетях.

Для обеспечения безаварийной работы современных угольных шахт необходимо организовать такую систему их электроснабжения, которая бы исключала или сводила к минимуму перерывы в питании основных электроприемников, и прежде всего – вентиляторов главного проветривания и насосов водоотлива.

С этой целью на поверхностной подстанции шахт устанавливают обычно не менее двух трансформаторов с расщепленной обмоткой, получающих питание по независимым (несвязанным) линиям электропередачи напряжением 35 или 110 кВ. Подземные и поверхностные электроприемники подключают к разным обмоткам трансформаторов, что позволяет обеспечить обособленное питание подземной нагрузки и энергоемких потребителей поверхности, характеризующихся, как правило, повышенной повреждаемостью и низким уровнем сопротивления изоляции. При этом надежность электроснабжения подземных потребителей во многом зависит от безаварийной работы коммутационных аппаратов как на поверхностной подстанции, так и в шахте.

В качестве коммутационных аппаратов в схемах подземного высоковольтного электроснабжения угольных шахт используют комплектные распределительные устройства (КРУ) различных типов и заводов-изготовителей, число которых в современных условиях рыночной экономики постоянно возрастает. На смену старым заводам, не сумевшим приспособиться к жестким условиям рыночной конкуренции, приходят предприятия, конструкторские отделы которых укомплектованы инженерами и специалистами, предлагающими множество новых технических идей и решений.

Как следствие, процесс модернизации и совершенствования конструкций шахтных КРУ не стоит на месте (рис. 1). Однако жесткие условия рыночной экономики (и экономии) часто приводят к тому, что конструкция КРУ претерпевает изменения в сторону упрощения и удешевления, а это снижает надежность работы и безопасность обслуживания таких распределительных устройств.

В данной статье авторы попытались отразить наиболее важные направления модернизации современных шахтных высоковольтных комплектных распределительных устройств.

Одно из наиболее интересных нововведений, касающихся взрывонепроницаемых оболочек КРУ, – появление распределительных устройств с быстрооткрываемой крышкой аппаратного отделения по типу шахтных магнитных пускателей, так как раньше не удавалось обеспечить надежность такого узла при больших диаметрах крышки. Данное техническое решение упрощает обслуживание аппаратного отделения распределительного устройства и, при наличии выдвигаемого элемента со встроенной откидной рамой, существенно экономит время на подготовку КРУ к ремонту или техническому обслуживанию (рис. 2).

Лабиринтное взрывонепроницаемое соединение быстрооткрываемой крышки образуется за счет зацепления зажимного кольца с фланцами двери при повороте ручки привода. После испытаний, проведенных в МакНИИ, и последующих конструктивных доработок удалось добиться того, чтобы указанное лабиринтное соединение не приводило к передаче взрыва из аппаратного отделения во внешнюю шахтную среду и тем самым обеспечивало уровень и вид взрывозащиты РВ 4В [1].

Наиболее интересное решение, касающееся силовой части КРУ, – разработка комплектной трансформаторной подстанции (КТП), совмещенной по стороне напряжением 6 кВ с КРУ. Основным отличием указанной трансформаторной подстанции от своих аналогов традиционной структуры является наличие силового коммутационного аппарата вме-



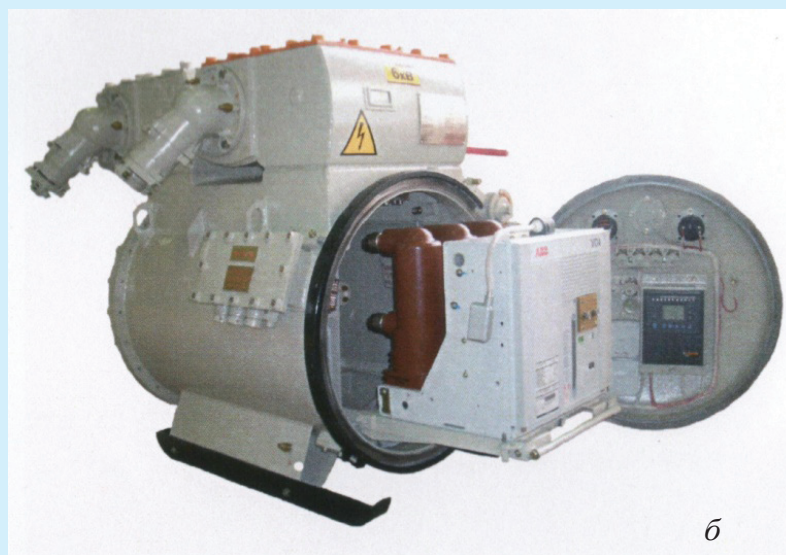
Рис. 1. Внешний вид КРУ в традиционном исполнении с болтовым соединением крышки аппаратного отделения.

сто разъединителя на стороне напряжением 6 кВ. Коммутационный аппарат на стороне низшего напряжения (автоматический выключатель) в этом случае, как правило, отсутствует.

Установка коммутационного аппарата на стороне напряжением 6 кВ в определенной степени устраняет один из основных недостатков традиционной структуры КТП – отсутствие возможности подключения нескольких подстанций различной



а



б

Рис. 2. Внешний вид КРУ с быстрооткрываемой крышкой: *а* – в закрытом положении; *б* – при открытой крышке аппаратного отделения и выкаченном выдвигаемом элементе.

мощности к одному КРУ. В таком случае невозможно обеспечить требуемый Правилами технической эксплуатации коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}} \geq 2$ максимальной токовой защиты КРУ на вторичной стороне КТП наименьшей мощности [2].

Новая конструкция КТП позволяет возложить функции защиты силового трансформатора и сети низшего напряжения каждой подстанции на коммутационный аппарат, расположенный в отделении распределительного устройства высшего напряжения, что допускает подключение нескольких подстанций различной мощности к одному КРУ, так как в этом случае высоковольтный выключатель обеспечивает все виды защит конкретной КТП.

В указанной подстанции в качестве коммутационного аппарата использовался, в частности, элегазовый контактор-выключатель типа Rollarc 400D. Основной особенностью указанного выключателя, заявляемой изготовителем, является дугогасительная система, основанная на принципе гашения дуги. Вращение и гашение дуги в элегазе между дугогасительными контактами происходит в момент расхождения главных контактов. При этом в специальном соленоиде протекает отключаемый ток и создает электромагнитное поле. Дуга начинает вращаться между кольцевыми дугогасительными контактами под действием силы, которая возникает в результате взаимодействия отключаемого тока и электромагнитного поля и прямо пропорциональна квадрату отключаемого тока. Поэтому чем больше ток, тем больше и скорость вращения дуги, следовательно быстрее происходит ее охлаждение и гашение. Как заявлялось изготовителем указанных выключателей, данный принцип гашения дуги позволяет полностью отказаться от необходимости использовать устройства защиты от коммутационных перенапряжений.

Однако в работах [3, 4] экспериментально и теоретически доказано, что уровень импульсов коммутационных перенапряжений достигает своего максимума не при максимальном токе нагрузки, а при коммутации индуктивной нагрузки, т. е. ненагруженной трансформаторной подстанции, подключенной короткой кабельной линией (LC-резонансные цепи).

Экспериментальными исследованиями, проведенными в МакНИИ, установлено, что при отключении выключателем ненагруженной подстанции на стороне напряжением 6 кВ относительно земли возникали коммутационные перенапряжения, амплитудные значения которых превышали 27 кВ –

более $5,5U_{\text{ф}}$ (амплитудного значения фазного напряжения). Прогнозные значения перенапряжений могут достигнуть 36,5 кВ или $7,44U_{\text{ф}}$ [3].

Измеренные значения значительно превышали допустимый уровень изоляции шахтных высоковольтных сетей и нормируемые [5] значения (19,6 кВ), что могло привести к пробое изоляции трансформатора при его включении (отключении). Принцип гашения дуги, основанный на ее вращении в элегазе, показал свою неэффективность при малых значениях коммутируемых токов (токов холостого хода трансформатора). При этом импульсы коммутационных перенапряжений на вторичной стороне трансформатора не превышали двукратных значений.

При установке на выходе элегазового выключателя устройств защиты от коммутационных перенапряжений, представляющих собой последовательно соединенные металлооксидные резисторы, размещенные внутри изоляционного корпуса [6], перенапряжения не превышали 15 кВ.

Кроме нововведений, касающихся силовой части, в указанной КТП-КРУ были применены автоматические «взрывонепроницаемые» шторки, закрывающие колодку с гнездами неподвижных контактов, когда из них выдвигаются штыревые контакты выключателя, установленного на выкатной части. И если в конструкции традиционных КРУ в рудничном нормальном исполнении указанные шторки служат для обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала, то в данном случае на них возлагаются функции элементов взрывозащиты, хотя они, как показывает практика, в ходе эксплуатации нередко не выполняют своих защитных функций. Подобное техническое решение много лет назад уже использовалось в ячейках ЯВ-6400 и как недостаточно надежное было снято с производства и заменено обособленными камерами (например, в распределительных устройствах типа КРУВ-6-УХЛ5 и др.)

В угольном машиностроении, как и в других отраслях промышленности, широко внедряют новые электроизоляционные материалы. До последнего времени в конструкциях напряжением свыше 1,2 кВ для шахтных сетей фарфор преобладал над другими электроизоляционными материалами. И если в сетях напряжением до 1,2 кВ он встречается достаточно редко, то в шахтных высоковольтных КРУ его только начинают вытеснять высококачественные материалы на основе полиуретановых смол

или премиксов, не уступающих фарфору по электроизоляционным и механическим свойствам.

Важнейшим направлением развития рудничных КРУ также является модернизация схем релейной защиты и автоматики на основе микропроцессорных блоков защит и управления (БЗУ). Указанные блоки выполняют функции традиционной релейной защиты КРУ, а также устройств управления, автоматики и сигнализации независимо от положения аппарата в пространстве. Блоки нового поколения типа БЗУ (рис. 3) дают возможность интеграции КРУ в системы диспетчеризации и автоматизации (например, в унифицированную телекоммуникационную систему мониторинга и управления типа УТАС и др.). Они имеют удобный интерфейс оператора, предназначенный для оперативного наблюдения за параметрами КРУ, состоянием защит и для изменения настроек.

Блоки защиты и управления типа БЗУ обеспечивают защиту от токов перегрузки и короткого замыкания, направленную защиту отходящего присоединения от однофазных замыканий на землю, защиту минимального напряжения, однократное автоматическое повторное включение, искробезопасность цепей дистанционного управления, а также защиту от потери управляемости при замыкании или обрыве цепей дистанционного управления. Кроме того, блоки БЗУ позволяют обеспечить контроль и управление шкафом КРУ с компьютеризированного места диспетчерского управления с помощью интерфейса RS-485, а также осуществляют индикацию реального времени, значений напряжения на вводе и потребляемого тока, расхода электроэнергии, защиты от токов короткого замыкания, перегрузок и утечек тока на землю. Для



Рис. 3. Внешний вид микропроцессорного блока защиты и управления типа БЗУ.

управления режимами работы дисплея, в том числе навигации по меню оператора, предусмотрены кнопки управления меню.

Блоки оснащены системой архивации данных на энергонезависимую память, а также поддерживают возможность удаленного технического обслуживания. Однако, несмотря на многочисленные преимущества, первоначальные модификации блоков БЗУ не были лишены недостатков. Опытные образцы блоков оказались чувствительны к электромагнитным колебаниям и помехам. Так как блоки БЗУ чаще всего устанавливали на внутренней стороне двери аппаратного отделения в непосредственной близости к высоковольтному коммутационному аппарату, это приводило к постоянным сбоям в работе блоков из-за высокочастотных помех в момент коммутации силового выключателя.

Нередко разработчики блоков, в угоду своим заказчикам, закладывали в них возможность программного отключения некоторых «ненужных» им защит, что тоже своевременно выявлялось при испытаниях и устранялось. Также из вновь вводимых технических решений большой интерес представляла импульсная схема блокировочного реле утечки (БРУ). Как известно, БРУ осуществляет в КРУ контроль сопротивления изоляции отходящей линии и препятствует подаче напряжения на эту линию в случае повреждения изоляции относительно земли. Устройство БРУ к высоковольтной линии традиционно подключалось с помощью механического трехполюсного коммутатора, отключавшего БРУ от линии в момент включения силового выключателя. Очень часто в условиях эксплуатации (из-за рассогласования в работе выключателя и коммутатора) БРУ служило причиной возникновения аварий (трехфазных коротких замыканий).

В предложенной схеме БРУ механический трехполюсный коммутатор заменен тремя высоковольтными герконовыми реле, управляемыми заложенной программой. Для исключения возникновения трехфазного короткого замыкания (например, при отказах БЗУ) последовательно с каждым реле включены высокоомные токоограничивающие резисторы. При этом предварительный контроль сопротивления изоляции защищаемой линии осуществляется не в длительном режиме, а непосредственно перед подачей высокого напряжения на отходящее присоединение. Напряжение тестирования близко к значению 2,5 кВ, равному напряжению, на котором традиционно контролируется

сопротивление изоляции высоковольтного электрооборудования мегаомметрами.

Отметим также, что, несмотря на появление большого количества новых модификаций распределительных устройств, из-за недостаточного финансирования отрасли на угольных шахтах Украины распространены распределительные устройства с масляными выключателями типа РВД-6. В последнее время предпринимались попытки модернизировать схемы управления и защиты распределительных устройств типа РВД-6, а также заменить в них масляный выключатель на вакуумный. Однако в связи с тем, что стоимость затрат на модернизацию ячеек типа РВД-6 в этом случае будет составлять не менее половины стоимости нового КРУ, такая модернизация изделия недостаточно обоснована, поскольку горючие неконтролируемые и незаменимые компоненты камер останутся в шахте на неопределенный срок. Следует также иметь в виду, что масляный бак ячейки, рассчитанный на обеспечение взрывобезопасности как в нормальном, так и в аварийном режимах (искрение и дуговые короткие замыкания), после многих лет эксплуатации сверх положенного срока также нуждается в проверке и испытаниях на взрывобезопасность в установленном порядке.

Выводы. Тенденция совершенствования современной шахтной высоковольтной распределительной аппаратуры направлена на повышение удобства и комфортности ее обслуживания и эксплуатации, а предприятия-изготовители достаточно быстро и своевременно реагируют на спрос и нужды заказчиков. В отдельных случаях слепое выполнение пожеланий заказчиков хотя и приводит к снижению стоимости КРУ, но происходит это за счет снижения надежности и безопасности изделий. Наиболее характерный пример такой «модер-

низации» – отказ от традиционной схемы выключатель-разъединитель в обособленных отделениях. Тем не менее при наличии контроля со стороны соответствующих профильных институтов и испытательных центров тенденция, ориентированная на широкомасштабное внедрение вакуумной и электрогазовой техники, микропроцессорных схем управления и защиты, позволит существенно повысить безопасность применения и надежность эксплуатации шахтных высоковольтных комплектных распределительных устройств, а следовательно, и электрических сетей в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ССБТ*. Электрооборудование взрывозащищенное. Термины и определения. Классификация. Маркировка: ГОСТ 12.2.020-76. – [Действует с 1980-01-01]. – М.: Госкомитет стандартов Совета Министров СССР, 1976. – 12 с. – (Государственный стандарт СССР).
2. *Товстик Ю. В.* Об электроснабжении шахтных передвижных трансформаторных подстанций / Ю. В. Товстик, Л. А. Муфель, В. А. Гаврилко // Уголь Украины. – 2005. – № 4. – С. 46.
3. *Мнухин А. Г.* Защита электрических сетей шахт от коммутационных перенапряжений / А. Г. Мнухин, Б. И. Коневский. – М.: Недра, 1987. – 143 с.
4. *Техника высоких напряжений* / Под ред. М. В. Костенко. – М.: Высш. шк., 1973. – 528 с.
5. *Устройства защиты от коммутационных перенапряжений подземных электрических сетей угольных шахт: ГОСТ 27863-88 (СТ СЭВ 6041-87)*. – [Действует с 1989-01-07]. – М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1988. – 8 с.
6. *Разработка рудничных нелинейных ограничителей перенапряжений ОПНР-6* / А. Г. Мнухин, В. П. Коптиков, А. И. Волобуев и др. // Безопасная эксплуатация электромеханического оборудования в шахтах: сб. науч. тр. МакНИИ. – Макеевка: Макеевка-Донбасс, 1983. – С. 15 – 21.