

Н.М. Басов, В.С. Дзюбан, В.В. Кардаш, А.А. Мацегора

## ВЗРЫВОЗАЩИЩЁННЫЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ ТИПА ВСП-КРУ С КОМПЛЕКТНЫМИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

*Конструкция и электрические схемы комплексных устройств типа ВСП-КРУ на высшее напряжение 6/10 кВ и низшее – 3(3,3) или 1,2/0,69 кВ, состоящих из взрывозащищённых трансформаторных подстанций и высоковольтных комплектных распределительных устройств. Технические характеристики устройств.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* комплектная подстанция, силовой трансформатор, распределительное устройство, выключатель высоковольтный, низшее напряжение, 3,3 кВ, блокировка, блоки защиты.

*Конструкція і електричні схеми комплексних пристроїв типу ВСП-КРУ на вищу напругу 6/10 кВ і нижчу – 3(3,3) або 1,2/0,69 кВ, що складаються з вибухозахищених трансформаторних підстанцій і високовольтних комплектних розподільних пристроїв. Технічні характеристики пристроїв.*

*К л ю ч о в і с л о в а:* комплектна підстанція, силовий трансформатор, розподільний пристрій, вимикач високовольтний, нижча напруга, 3,3 кВ, блокування, блоки захисту.

**Постановка проблемы.** Электроснабжение подземных горных машин осуществляется по типовой схеме: «Центральная подземная подстанция – распределительный подземный пункт – трансформаторная подстанция – горные машины». При этом допускается осуществлять питание комплекса технологически связанных машин от одного комплектного распределительного устройства (КРУ), к которому присоединено не более трёх комплектных трансформаторных подстанций (КТП). В остальных случаях каждая КТП должна соединяться отдельным кабелем с КРУ, которое защищает и управляет этой КТП. Такие требования существенно усложняют системы подземного энергоснабжения.

**Анализ публикаций.** Для повышения мощности и производительности горных машин, обеспечения их надежной работы, экономии электроэнергии и материальных ресурсов, создания электрооборудования на напряжения 10 кВ вместо 6 и 3(3,3) кВ вместо 1,2 ранее специалистами МакНИИ (Макеевка) и ПрАО «Донецксталь»-металлургический завод» были разработаны, согласованы и утверждены требования для разработки

электрооборудования на напряжения 3 (3,3) и 10 кВ и безопасной его эксплуатации [1-3].

**Цель статьи.** Путем разработки новой КТП упростить системы подземного энергоснабжения за счет того, чтобы в единой конструкции было обеспечено выполнение функций как трансформации электроэнергии, так и управления, защиты трансформатора и питаемых им присоединений, что позволяет подключить к одному КРУ более трех КТП различной мощности, а также обеспечить возможность перехода шахт на указанное выше повышенное напряжение при создании КТП на напряжение 6/10 и 3(3,3) кВ для внедрения на шахтах по мере их готовности.

**Результаты исследований.** Для выполнения поставленных задач специалистами ПрАО «Донецксталь»-металлургический завод» и ПАО «Донецкий электротехнический завод» были разработаны и освоены в производстве взрывозащищенные КТП типа ВСТП-КРУ с высоковольтными комплектными распределительными устройствами [4]. Преимущества этих изделий и перспективные пути развития конструкций высоковольтных КРУ отражены в статье [5]. При разработке КТП применены оригинальные решения, защищенные патентами Украины и России [6-9].

Подстанция ВСТП-КРУ предназначена для преобразования напряжения 6/10 кВ в напряжение 3(3,3) кВ или 1140/660 В с целью питания трехфазным переменным током частотой 50 Гц подземных токоприемников угольных шахт, опасных по газу (метану) и (или) угольной пыли, а также для защиты от токов утечки, токов короткого замыкания (КЗ), перегруза и от неполнофазных режимов работы при их эксплуатации в следующих условиях:

- а) температура окружающего воздуха – от минус 10 до 35 °С;
- б) относительная влажность окружающего воздуха – до 100 %;
- в) запыленность окружающего воздуха – не более 1000 мг/м<sup>3</sup>;
- г) рабочее положение в пространстве – горизонтальное (допускается отклонение на 15° в любую сторону).

Технические данные ВСТП-КРУ приведены в таблице 1.

Таблица 1

| Параметр                                   | Норма           | Допустимое отклонение |
|--|-----------------|-----------------------|
| 1  | 2               | 3                     |
| Номинальная мощность, кВ·А                 | 1000; 1250      |                       |
| Номинальное высшее напряжение, кВ          | 6,0/10,0        |                       |
| Номинальное низшее напряжение, кВ          | 3(3,3);1,2/0,69 |                       |
| Частота тока, Гц                           | 50              |                       |
| Способ и диапазон регулирования напряжения | ПВВ, ± 5%;      |                       |

Продолжение таблицы 1

| 1   | 2                                | 3                    |
|---|----------------------------------|----------------------|
| Наибольшее длительное допустимое напряжение, подводимое к трансформатору при его номинальной мощности, кВ | 6,3/10,5                         |                      |
| Схема и группа соединения обмоток силового трансформатора   | Y/Δ /Y<br>Y/Δ /Y/Δ-11            |                      |
| Способ охлаждения трансформатора  | воздушный                        |                      |
| Напряжение короткого замыкания при 115 °С, %  | 6,5                              | ± 10                 |
| Сила тока холостого хода, %   | 1,1                              | + 30                 |
| Потери короткого замыкания силового трансформатора при температуре 115 °С, кВт                            | 6,5                              | + 10                 |
| Потери холостого хода силового трансформатора, кВт  | 2,8                              | + 15                 |
| Тип выключателя   | Rollarc 400                      |                      |
| Номинальная мощность короткого замыкания, МВ·А  | 100                              |                      |
| Отключающая/включающая способность выключателя, кА  | 10/25 при 6 кВ<br>7/20 при 12 кВ |                      |
| Габаритные размеры, мм  | L<br>H<br>B                      | 3800<br>1400<br>1080 |
| Масса, не более, кг   | 6300                             |                      |

Уровень и виды взрывозащиты – РВ 4В и РВ 4В Ia для внутреннего рынка или РВ ExdI и РВ ExdiaI для поставок на экспорт.

ВСП-КРУ (рисунок 1) состоит из следующих составных частей:

а) силового трансформатора, заключенного во взрывонепроницаемый корпус;

б) распределительного устройства, взрывонепроницаемый корпус которого соединен с корпусом силового трансформатора;

в) коробки выводов низшего напряжения (НН);

г) ходовой части.



Рисунок 1 – Внешний вид ВСП-КРУ

Магнитопровод силового трансформатора КТП набирается из холоднокатаной электротехнической стали. Обмотки трансформатора изготавливаются из медного провода с изоляцией класса нагревостойкости Н по ГОСТ 8865-93. Согласно ГОСТ 1516.1-76 обмотка высшего напряжения (ВН) испытывается приложенным напряжением 16 кВ, а обмотка НН – 10 кВ для 3(3,3) кВ или 4 кВ для 1,2/0,69 кВ.

Активная часть трансформатора крепится в стальном взрывонепроницаемом корпусе с видом взрывозащиты РВ 4В при помощи болтов к специальным уголкам. Оболочка силового трансформатора – овальная с развитаой поверхностью для обеспечения отвода тепла. Боковая поверхность выполнена волнистой, верхняя поверхность имеет охлаждающие ребра.

Распределительное устройство (РУ) по своей конструкции (рисунок 1) представляет собой взрывонепроницаемый корпус, в верхней части которого находится прямоугольная вводная коробка, разделенная взрывонепроницаемой перегородкой с проходными зажимами [8,9]. К ним присоединяются токоведущие жилы кабелей, питающих КТП и транзитную нагрузку. На передней поверхности коробки находятся фланцы, к которым присоединяются два кабельных ввода силовых кабелей.

На проходных зажимах расположена колодка с силовыми розетками, в которые входят штыревые контакты, смонтированные на выкатной части РУ (через них подается напряжение на выключатель). Камера с указанной колодкой закрывается взрывонепроницаемой шторкой внутри корпуса РУ в положении «отключено», а снаружи камера и вводная коробка РУ закрываются крышками.

В корпусе РУ расположены:

а) разъединитель, подвижными контактами которого являются штыри, находящиеся в корпусе контактодержателя и закрепленные в его верхней части. В нижней части находятся гнезда, расположенные в корпусе контактодержателя, в которые входят штыревые контакты, соединенные с высоковольтными выводами трансформатора;

б) выключатель и трансформатор напряжения, установленные на выкатной каретке, которая передвигается на роликах по направляющим, закрепленным на боковых стенках корпуса РУ;

в) нижняя выемная панель, на которой расположены аппарат защиты от токов утечки, трансформатор собственных нужд, трансформатор искробезопасных цепей, блоки защиты и управления и панель предохранителей;

г) панель приборов и панель индикации состояния КТП;

д) в верхней части РУ расположены окна для визуального наблюдения и регулировки работы разъёмных контактов разъединителя.

Корпус закрывается передней поворотной крышкой, имеющей охранное кольцо. Доступ к болтам крышки возможен только после снятия блокировки и поворота указанного кольца.

В коробке выводов имеются два кабельных ввода под силовой кабель бронированный с токоведущими жилами до  $120 \text{ мм}^2$  или гибкий с токоведущими жилами до  $95 \text{ мм}^2$  и два кабельных ввода под контрольные гибкие кабели наружным диаметром до 30 мм.

Ходовая часть состоит из салазок, к которым возможно крепление стандартных скатов шахтных вагонеток. При этом предусматривается возможность передвижения КТП по колее шириной до 900 мм после установки на скаты соответствующего размера.

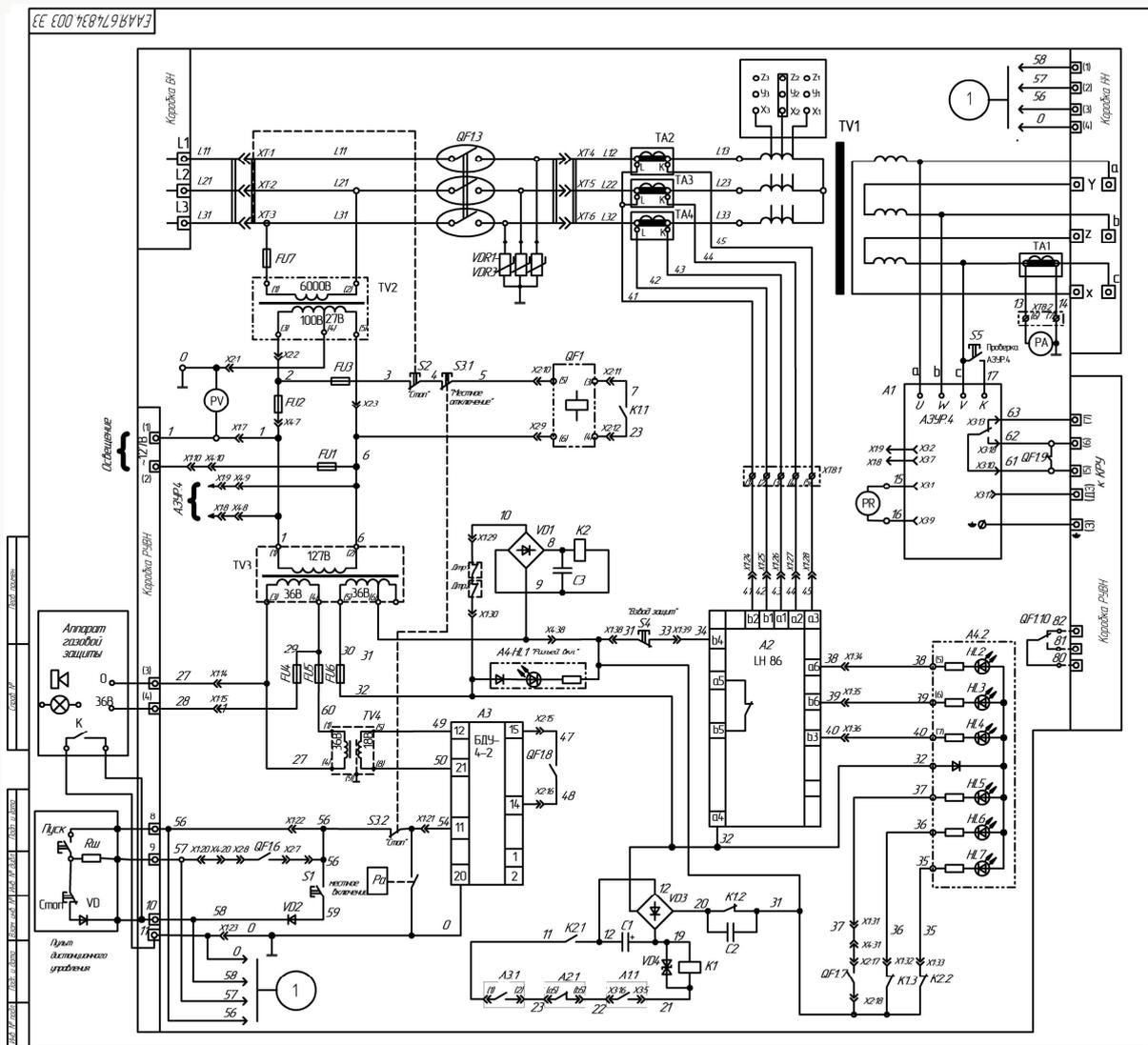
Блокировочный комплекс РУ предназначен для механических блокировок, предотвращающих открывание передней крышки при включенном разъединителе и наличии напряжения в аппаратном отделении и включение разъединителя при открытой передней крышке. Он состоит из двух основных блокировок: «разъединитель-шторка» и «шторка-разъединитель-передняя крышка».

Блокировка «разъединитель-шторка» препятствует включению разъединителя при закрытом состоянии шторы или закрыванию ее при включенном разъединителе. При положении рукоятки «ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ОТКЛЮЧЕН» выдвижная часть РУ выдвинута в крайнее положение к передней крышке, штыревые контакты разъединителя выведены из отверстий шторы, упор при этом освобождает ход рейки, которая при положении рукоятки «ОТКЛЮЧЕНО» перемещается и задвигает шторку, перекрывая при этом проходные отверстия из камеры. В таком положении включение разъединителя рукояткой невозможно.

Блокировка «шторка-разъединитель-передняя крышка» препятствует открыванию передней крышки РУ при включенном разъединителе или открытой шторке, а также открыванию этой шторы или включению разъединителя при открытой передней крышке. Поворотом охранного кольца на крышке против часовой стрелки при помощи двух ручек открывается доступ к ее болтам. После отвинчивания этих болтов и открывания передней крышки включить разъединитель или открыть шторку невозможно, так как рукоятка зафиксирована в положении «ОТКЛЮЧЕНО» блокировочным штоком, который при открытой крышке подпирается откидной скобой, не дающей ему хода, а шторка закрыта.

Принципиальная электрическая схема ВСТП-КРУ приведена на рисунке 2 [10].

Напряжение 6/10 кВ через кабельный ввод подается на проходные изоляторы L1, L2, L3 и через разъединитель и выключатель QF на обмотку ВН силового трансформатора TV1, соединенную в «звезду» или «треугольник». Для возможности изменения коэффициента трансформации обмотка ВН имеет отпайки (X1, X2, X3; Y1, Y2, Y3; Z1, Z2, Z3). Переключение отпайек осуществляется на специальной панели в корпусе.



Искробезопасные цепи: 54-59, 61-63, 80-82. Индикация о срабатывании защиты:  
 HL1 - Индикация включения (зеленый);  
 HL2 - максимальная токовая защита "МТЗ" (красный);  
 HL3 - токовая защита от перегрузки "ТЗП" (красный);  
 HL4 - защита от неполнофазного режима работы электродвигателя "ОФ" - обрыв фазы (красный);  
 HL5 - Контактор QF включен (зеленый);  
 HL6 - защита АЗУР.4 "РУ" (красный);  
 HL7 - тепловая защита (красный).

Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема ВСТП-КРУ-1000-6/1,2/0,69

Распределительное устройство содержит следующую аппаратуру и приборы:

- а) выключатель QF типа Rollarc 400 на номинальную силу тока 400 А;

б) аппарат защиты А1 от токов утечки АЗУР-4 (660 или 1140 В) или АЗУР-5 (3,3 кВ), обеспечивающий защиту от токов утечки и контроль сопротивления изоляции отходящего присоединения в отключенном положении выключателя (функция БРУ);

в) блок защиты А2 типа ЛН-86, обеспечивающий регулирующую защиту от токов КЗ, перегрузки и несимметрии токов в линии НН сети;

г) блок дистанционного управления А3 типа БДУ4-2, обеспечивающий дистанционное управление устройством;

д) блок индикации универсальный А4 со светодиодами HL5-HL7 L53SGD – зеленый и HL2- HL4 L53SRD – красный;

е) предохранитель высоковольтный типа ПКН-001-1015, низковольтные предохранители типа ВП-2Б-1;

ж) трансформаторы вспомогательные TV2 10000/6000/127/100 В; TV3 127/42/36 В; TV4 36/18 В;

з) трансформатор тока ТА1 типа ТШЛМ-0,5Т, 800/5;

и) датчики тока ТА2, ТА3 и ТА4 к блоку ЛН-86;

к) выключатели кнопочные S1 – S5 типа КЕ.

В цепь катушки выключателя QF1 включены контакты кнопок «Местное отключение», «Стоп» и контакт промежуточного реле К1.1, обеспечивающий немедленное отключение выключателя QF при исчезновении напряжения питания вторичных цепей устройства.

В цепь катушки включения промежуточного реле К4.2 последовательно включены контакты промежуточных реле К 2.1, блоков А1 (АЗУР), А2 (ЛН 86) и А3 (БДУ). В цепь питания реле К 2 включены размыкающие контакты термореле ДТР1 и ДТР2, установленных на обмотках трансформатора, а в цепь питания блока А2 – размыкающий контакт кнопки S4 «Взвод защит».

Для снижения перенапряжений, возникающих при коммутации нагрузки, после выключателя Rollarc 400 установлены ограничители перенапряжений VDR1-VDR3, собранные в «звезду».

Дополнительное заземление «Дз» для АЗУР (А1) соединено с проходным зажимом в вводной коробке. Оно выполняется на расстоянии не менее 5 м от местного заземления.

При появлении в сети 1140 В опасных утечек тока срабатывают исполнительные реле АЗУР (А1), размыкая контакты цепи питания катушки К1.1, что приводит к отключению выключателя QF. О срабатывании АЗУР (А1) сигнализирует светодиод HL6, расположенный у смотрового окна. Для проверки исправности реле служит выключатель S5 «Проверка АЗУР». Загорание светодиода HL6 до включения выключателя QF свидетельствует о снижении сопротивления изоляции отключенной силовой цепи ниже уставки БРУ или неисправности самого АЗУР (А1).

Блок токовой защиты ЛН-86 (А2) совместно с датчиками тока ТА2–ТА4 обеспечивает отключение выключателя QF в случае возникно-

вения токов КЗ, перегрузки или несимметрии тока в отходящей линии. При срабатывании блока А2 загораются сигнальные светодиоды HL2, HL3, HL4, расположенные у смотрового окна.

Защита трансформатора TV1 от перегрева обмоток осуществляется посредством двух термореле ДТР1 и ДТР2, закрепленных на низковольтных отводах трансформатора. При перегреве трансформатора выше допустимой температуры контакты ДТР1 и ДТР2 размыкают цепь питания катушки промежуточного реле К2, что ведет к отключению выключателя QF. Одновременно загорается сигнальный светодиод HL7.

Питание аппарата контроля метана предусмотрено от трансформатора TV3 напряжением 36 В через предохранитель FU4 и проходные зажимы (3, 4) в выводной коробке.

Устройство дистанционного управления и местного включения-отключения КТП предназначено для отключения и включения выключателя QF при помощи выносного кнопочного поста или встроенных кнопок S1, S3, а также для отключения этого выключателя при срабатывании аппарата контроля метана. При отсутствии аппарата контроля метана проходные зажимы (10, 11) соединяются перемычкой. Исполнительные цепи аппарата контроля метана и цепи поста «ДУ» выполнены искробезопасными. После подачи напряжения на КТП и замкнутом контакте аппарата контроля метана после нажатия кнопки «Пуск» замкнется контакт блока БДУ в цепи катушки реле К1, при срабатывании которого замыкается его контакт К1.1 в цепи катушки включения выключателя QF. Подключение поста «ДУ» должно осуществляться контрольным кабелем.

Блок БДУ (А3) осуществляет контроль целостности заземляющей жилы кабеля. Проходной зажим и заземляющая жила соединяются с заземляющим зажимом, расположенным в выводной коробке. В кабельной коробке аппарата, к которому подключается магистральный кабель, отходящий от КТП, устанавливается диод VD, один из электродов которого соединяется с заземляющим зажимом, а другой – с обратным проводом заземляющей жилы. Увеличение сопротивления заземляющей цепи до 50 Ом, а также замыкание обратного провода на землю приведет к отключению БДУ и выключателя QF; о срабатывании блока А3 и выключателя сигнализирует светодиод HL5.

Трансформатор TV2 подключен к силовым зажимам до выключателя QF с целью обеспечить питание цепей управления, защит и освещения устройства со стороны НН при отключенном выключателе QF. Светильники местного освещения напряжением 127 В общей мощностью 120 Вт должны подключаться к проходным зажимам (1, 2) в корпусе РУ через предохранитель FU1.

Панель приборов и блок индикации предназначены для визуальной индикации состояния основных узлов РУ. Она имеет стрелочные приборы, показывающие наличие напряжения и тока, и светодиодные индикаторы

состояния основных реле защиты и коммутационного аппарата. Блок индикации отображает на цифровых индикаторах значения напряжения, силы тока и электрического сопротивления изоляции в силовых цепях НН. Эти значения автоматически ежесекундно записываются на съемную карту памяти в течение двух недель, после чего старые значения заменяются новыми.

Подстанции ВСПП-КРУ прошли приемочные промышленные испытания в шахте и на когенерационной станции шахтоуправления «Покровское» (Красноармейск Донецкой обл.). В ходе испытаний были выявлены недостатки, присущие всем выключателям с магнитной или механической защелками. В случае исчезновения ВН выключатель остается в замкнутом положении и для его отключения необходимо устанавливать конденсаторную батарею либо другой независимый источник питания. Но эти изделия обладают низкой надежностью и могут быть причиной аварий с сетях электроснабжения. В связи с отмеченными недостатками выключатель Rollarc 400 D был заменен выключателем Rollarc 400 без механической защелки и соответственно были внесены изменения в принципиальную схему КТП, что позволило также увеличить ресурс выключателей со 100 до 300 тыс. циклов «Включение-Отключение». Новая схема КТП согласована с основным заказчиком (шахтоуправлением «Покровское») и госконтрольной организацией (МакНИИ).

ПАО «Донецкий электротехнический завод» серийно изготавливает ВСПП-КРУ и готов к их поставкам для шахт и рудников Украины и России.

### ***Выводы:***

1. Возможность включения ВСПП-КРУ на напряжение 6 или 10 кВ позволяет не только использовать это устройство в перспективных системах электроснабжения на напряжение 10 кВ, но и осуществлять их стыковку с системами энергоснабжения напряжением 6 кВ.

2. Наличие в ВСПП-КРУ высоковольтного выключателя-контактора и других средств обеспечивает защиту как отходящих от КТП присоединений, так и ее силового трансформатора, что позволяет присоединить любое количество таких КТП к одному КРУ шахтного распределительного подземного пункта (РПП) одним магистральным кабелем. Это даёт возможность существенно упростить систему подземного энергоснабжения.

3. Наличие разъединителя на напряжение 10 кВ, размещенного в отдельной взрывобезопасной камере и заблокированного с быстрооткрываемой крышкой, позволяет открывать крышку и обслуживать КТП, не отключая КРУ шахтного РПП, подающего напряжение как на эту, так и на другие КТП, которые при этом остаются включёнными.

4. Возможность дистанционного управления ВСПП-КРУ позволяет устанавливать его на значительном расстоянии от низковольтного РПП

участка, снизить количество передвижек и осуществлять управление его работой издалека, в том числе с поверхности шахты.

5. Экономия при производстве и эксплуатации новых КТП появляется из-за того, что их стоимость ниже суммарной стоимости обычной КТП и шкафа КРУ с учетом их коммуникаций и линий связи.

### Список литературы

1. Требования к изготовлению рудничного взрывозащищённого электрооборудования на напряжение 3(3,3) кВ.– Макеевка-Донбасс, 2007.

2. Требования к электроснабжению и безопасному применению в шахтах электрооборудования на напряжение 3(3,3) кВ.– Макеевка-Донбасс, 2007.

3. Требования к изготовлению и безопасному применению взрывозащищённого электрооборудования для систем подземного электроснабжения на напряжение 10 кВ. – Донецк: Юго-Восток, 2010.

4. Новое направление в создании рудничных взрывозащищённых трансформаторных подстанций на низшее напряжение до 3300 В/ Н.М. Басов, В.С.Дзюбан, В.В.Кардаш [и др.] // Взрывозащищённое электрооборудование: сб. науч. тр. УкрНИИВЭ.– Донецк: ООО «АИР», 2010.– С.61-71.

5. Пути развития конструкций рудничных высоковольтных устройств/ А.Г.Мнухин, А.В.Антиптин, В.А.Гаврилко [и др.] // Уголь Украины.- 2013.- №1.– С. 20-24.

6. Патент 88430, Україна, МПК H02B 11/00, H02B 13/00. Вибухозахищений електротехнічний пристрій / Кужель С.В., Басов Н.М., Дзюбан В.С.– № а200901218; заявл.16.02.09; опубл.12.10.09. Бюл. № 19.

7. Патент 2400001, Российская Федерация, МПК H02B 13/00, H02H 7/00. Взрывозащищённое электротехническое устройство / Кужель С.В., Басов Н.М., Дзюбан В.С.–№2009120929; заявл.03.06.09; опубл.20.09.10. Бюл. № 26.

8. Патент 88429, Україна, МПК H02B 5/00, H02B 7/00. Вибухозахищена трансформаторна підстанція / Кужель С.В., Басов Н.М., Дзюбан В.С.– № а200901216; заявл.16.02.09; опубл.12.10.09. Бюл. № 19.

9. Патент 2399131, Российская Федерация, МПК H02B 7/01, H02B 7/08. Взрывозащищённая трансформаторная подстанция / Кужель С.В., Басов Н.М., Дзюбан В.С.–№2009120930; заявл.03.06.09; опубл.10.09.10. Бюл. №25.

10. Патент 93336, Україна, МПК H02H 3/00, H02H 1/00. Пристрій керування та захисту електроустаткування / Филатов Ю.В., Басов Н.М., Дзюбан В.С., Кардаш В.В. – № а201006401; заявл.25.01.10; опубл.10.11.10.Бюл. №21.