

УДК 621.314.213:621.012.2

Новая серия взрывозащищенных трансформаторных подстанций ТВПШ

Приведены сведения о новой серии трансформаторных подстанций ТВПШ с системами защит, управления, диагностики и мониторинга, предназначенных для электроснабжения трехфазным током токоприемников, которые устанавливаются в подземных выработках шахт, опасных по газу метану и угольной пыли. Показаны основные отличительные особенности, технические преимущества по сравнению с классическими подстанциями, социальный и экономический эффект при их применении. Подстанции могут поставляться с множеством модификаций в части выбора типа распределительных устройств высшего и низшего напряжений, набора защит и коммутационных аппаратов.

Ключевые слова: трансформаторная подстанция, электроснабжение, защита, управление, контроль, конструкция.

Контактная информация: savvn@ukr.net

Современное развитие систем электроснабжения угольных шахт и рудников требует технического перевооружения. Прежде всего это касается взрывозащищенных трансформаторных подстанций, принципы построения и элементная база которых были заложены несколько десятков лет назад и сохраняются до настоящего времени, несмотря на то, что мощность и концентрация нагрузок непрерывно возрастают. Одновременно с ростом энерговооруженности осуществляется техническое перевооружение шахт в области управления, диагностики и мониторинга процессов, совершенствуются системы верхнего и нижнего уровней автоматизации для обеспечения надежности и бесперебойности электроснабжения.

Актуальными остаются проблемы повышения безопасности эксплуатации электрооборудования, предупреждения аварий, а при их возникновении – фиксации и передачи данных в систему управления в целях максимально быстрого принятия решения для ликвидации аварий. Устаревшее электрооборудование не отвечает сегодняшним требованиям, особенно по интегрированию в систему автоматизированного управления процессами в шахте [1], а также не в полной мере защищает от некоторых нестационарных режимов (например, от перенапряжений, перегрева трансформатора, дуговых замыканий). Не решен вопрос выполнения Правил безопасности, в частности обеспечения защиты трансформаторных подстанций разной мощности, запитанных по одному кабелю от комплектного распределительного устройства (КРУ).



Е. А. ВАРЕНИК,
канд. техн. наук



В. Е. НАЛБАТОВ, инж.



А. В. САВИЦКИЙ, магистр



В. Н. САВИЦКИЙ, канд. техн. наук



И. Я. ЧЕРНОВ, канд. техн. наук

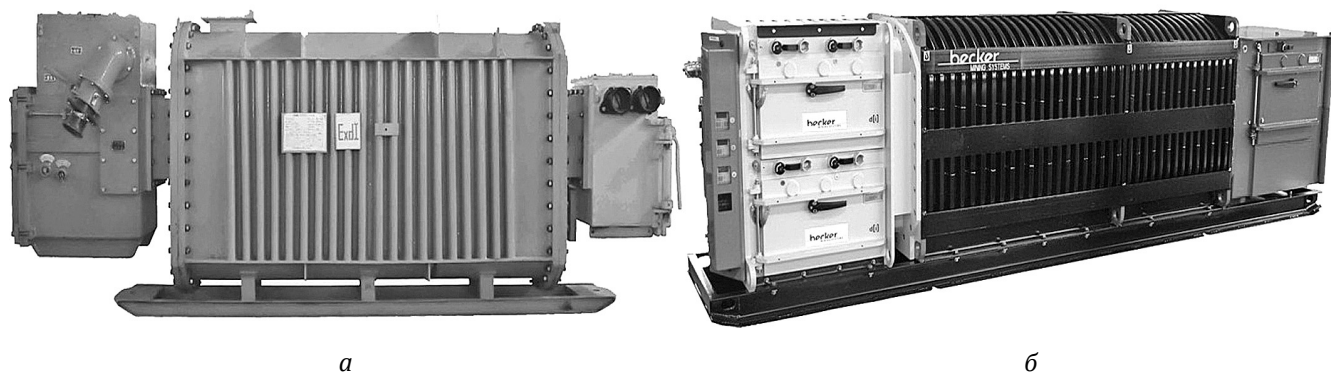


Рис. 1. Трансформаторные подстанции KBSGZY производства фирм: а – «Тунхуа» (Китай); б – Becker (Германия).

Следует отметить, что зарубежные трансформаторные подстанции [2, 3] давно имеют другую, более современную структуру построения системы управления и защиты, предусматривающую применение защит как со стороны высшего напряжения трансформатора, так и со стороны низшего, включая систему регистрации произошедших событий и их передачу в систему АСУ трансформаторной подстанции шахты. Такое исполнение подстанций характерно для германских и китайских фирм (рис. 1). Из анализа конструкций трансформаторных подстанций, выпускаемых разными фирмами, следует, что системы защиты, сигнализации и управления выполнены на базе микропроцессорной техники с использованием телекоммуникации в системе диспетчеризации управления.

Многие фирмы, кроме классической конструкции: распределительное устройство выс-

шего напряжения (РУВН) + трансформатор + распределительное устройство низшего напряжения (РУНН) (см. рис. 1, а), поставляют на рынок трансформаторные подстанции в составе энергопоездов конструкции РУВН + трансформатор + станция управления (рис. 1, б). Станция управления может быть прикреплена к трансформатору или быть в сцепке с трансформаторной подстанцией, а подстанцию фирмы Bartec (Германия) устанавливают еще и в специальной раме, что предохраняет ее от ударов и прикосновения персонала к горячей поверхности. Такое построение систем электроснабжения требует множества типоразмеров подстанций.

В связи с этим подход к проектированию отечественных трансформаторных подстанций – не только конструкций, но и структуры построения защит, управления и мониторинга процессов, был пересмотрен и в результате разработана новая серия трансформатор-

Параметр	ТВПШ-100/6	ТВПШ-160/6	ТВПШ-250/6	ТВПШ-400/6	ТВПШ-630/6	ТВПШ-1000/6
Номинальная мощность, кВ·А	100	160	250	400	630	1000
Напряжение короткого замыкания, приведенное к 115 °С, %	2,8	3,6	3,9	3,3	4,0	5,0
Потери короткого замыкания силового трансформатора, приведенные к 115 °С, кВт	1,95	2,55	3,3	3,8	5,4	7,25
Ток холостого хода, %	2,5	2,1	1,6	1,2	1,1	1,0
Потери холостого хода силового трансформатора, кВт	0,55	0,7	1,1	1,45	2,2	2,8

Примечание. Исполнение по взрывозащите РВ-4В-3В-Иа (РВ-4В Exdial); высшее напряжение 6 кВ, низшее – 0,4/0,69/1,2 кВ; частота 50 Гц; схема и группа соединения обмоток силового трансформатора У/Д-11, У/У-0. Тип силового трансформатора – сухой с естественным воздушным охлаждением.

ных подстанций ТВПШ мощностью от 100 до 1000 кВ·А, технические характеристики которых приведены в таблице.

Основное отличие новой серии трансформаторных подстанций состоит в том, что они охвачены системой защит, управления и мониторинга со сторон высшего и низшего напряжений и имеют несколько исполнений в зависимости от условий применения. Такие подстанции предназначены для электропитания трехфазным током электроприемников, устанавливаемых в опасных по газу (метану) и (или) пыли подземных выработках для обеспечения защиты от токов утечки, максимальной токовой защиты силового трансформатора и линий низшего напряжения, а также мониторинга процессов и передачи данных диспетчеру. Варианты конструктивного исполнения подстанций серии ТВПШ приведены на рис. 2.

Взрывобезопасные подстанции можно представлять в разных исполнениях в зависимости от назначения. Например, исполнение 00: подстанция в комплекте РУВН с разъединителем тока холостого хода–трансформатор–РУНН с одним автоматическим выключателем; исполнение 22: подстанция в комплекте РУВН с высоковольтным выключателем–трансформатор–РУНН без коммутационного аппарата.

Блочно-принципиальная схема подстанций серии ТВПШ (рис. 3) состоит из трех отделений: РУВН, РУНН и отделения силового трансформатора. Из перечня функциональных возможностей подстанций, приведенного на с. 36, следует, что электрическая схема выполняет функции защиты от возможных аварийных и нестандартных режимов работы самой подстанции и отходящих присоединений, функции управления, контроля, диагностики состояния элементов, мониторинга, регистрации, хранения и передачи данных в сеть по протоколу Modbus RTU [4].

Конструктивно подстанции ТВПШ установлены во взрывозащищенном корпусе.

Распределительное устройство высшего напряжения выполнено в прямоугольной взрывозащищенной оболочке с аппаратным отсеком и кабельной коробкой, крышки которых крепятся к корпусу болтами. При этом один из болтов – невыпадающий со специальной головкой под ключ на съемной рукоятке разъединителя. Поэтому крышку аппаратного отсека можно открыть только после отключения разъединителя.

В аппаратном отсеке размещены:

- высоковольтный вакуумный контактор НСА62LF4 производства фирмы Hyundai (КНДР), обеспечивающий коммутацию нагрузки напряжением 6000 В при силе тока 200 А и имеющий коммутационную способность 6,3 кА;
- высоковольтный измерительный трансформатор напряжения с двумя предохранителями Т2 и блок управления БЗУ-ТП;
- ограничители перенапряжения в каждой фазе ОПН-РТ 6/6,9;
- измерительные датчики тока ДТ;
- блок питания с разделительным трансформатором.

В кабельной коробке размещены высоковольтный разъединитель с блокирующим устройством и устройством заземления отходящих присоединений, а также проходные изоляторы для подключения жил силовых

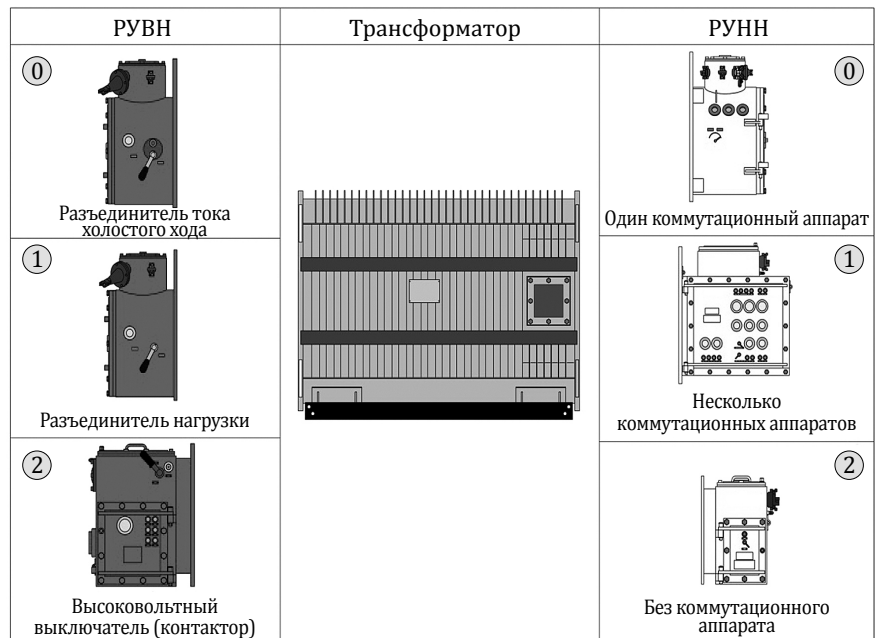


Рис. 2. Варианты исполнений подстанций серии ТВПШ.

Перечень функциональных возможностей подстанций

ЗАЩИТА:

- максимальная токовая защита (МТЗ) высшего и низшего напряжений с энергонезависимой памятью;
- двухуровневая от перегрева обмоток силового трансформатора с предупредительной сигнализацией и аварийным отключением;
- от световых явлений в отсеке трансформатора (два датчика освещенности);
- от обрыва фазы высшего и низшего напряжений;
- от асимметрии фаз высшего и низшего напряжений;
- от сваривания контактов вакуумного контактора;
- от токов утечки на землю низшего напряжения;
- отходящей линии напряжением 36 В от токов утечки и короткого замыкания;
- предварительный контроль изоляции высшего и низшего напряжений;
- резервная: отключение КРУ при отказе высоковольтного контактора;
- блокирование: разъединителя при включенном высоковольтном контакторе; высоковольтного контактора при срабатывании защит от тока утечки и МТЗ;
- возможности подключения аппарата газовой защиты;
- нулевая защита;
- от повторного включения контактора.

УПРАВЛЕНИЕ:

- местное;
- дистанционное;
- выдачей командных сигналов;
- выбором и проверкой уставок МТЗ (три кнопки управления и доступа к меню, защищенного паролем от несанкционированного доступа);

- установкой и корректировкой времени;
- взводом защит.

КОНТРОЛЬ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ:

- значения: высшего напряжения; тока нагрузки высшего и низшего напряжений; сопротивления изоляции низшего напряжения;
- учета потребленной энергии;
- температуры среды: внешней; окружающей;
- состояния: контактора высшего напряжения; автоматического выключателя низшего напряжения;
- уставки срабатывания МТЗ высшего и низшего напряжений;
- текущего времени и даты;
- запоминания режимов аварийных срабатываний защит;
- мнемосхемами подстанции.

ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ*:

- значения: высшего напряжения; тока нагрузки высшего и низшего напряжений;
- количества потребленной энергии;
- температуры трансформатора;
- состояния: контактора ВН и автоматического выключателя НН; всех защит высшего и низшего напряжений.

ПРОВЕРКА:

- срабатывания: МТЗ высшего и низшего напряжений; аппарата защиты от токов утечки; устройств предварительного контроля изоляции высшего и низшего напряжений и цепей напряжением 36В.

* По витой паре по интерфейсу RS-485 (протокол Modbus RTU); по телефонному кабелю на расстояние до 10 км (система СТКЗ).

кабелей. С внешней стороны кабельной коробки установлены кабельные муфты под бронированный, в том числе с сухой заделкой (по требованию заказчика), кабель.

Отделение силового трансформатора состоит из активной части с датчиками температуры, заключенными во взрывозащищенный корпус. Активная часть собрана на трехстерженевом магнитопроводе из холоднокатаной текстурованной электротехнической стали с косым (под углом 45°) стыком стержней и ярм. Обмотки трансформатора изготовлены из медного провода прямоугольного сечения с изоляцией класса нагревостойкости 220 °С повышенной электрической прочности. Установленные на активной части трансформа-

тора температурные датчики обеспечивают двухуровневую защиту от перегрева.

Корпус трансформатора сделан из листового проката, боковые поверхности изготовлены в виде гофрированных блоков.

Распределительное устройство низшего напряжения так же, как и РУВН, выполнено в прямоугольной оболочке с аппаратным отсеком и кабельной коробкой с крышками, которые крепятся к корпусу.

В аппаратном отсеке РУНН размещены:

- силовой автоматический выключатель;
- аппарат защиты от токов утечки в сети АЗУР.4МК;
- блок защиты и управления трансформаторной подстанции БЗУ-ТП;

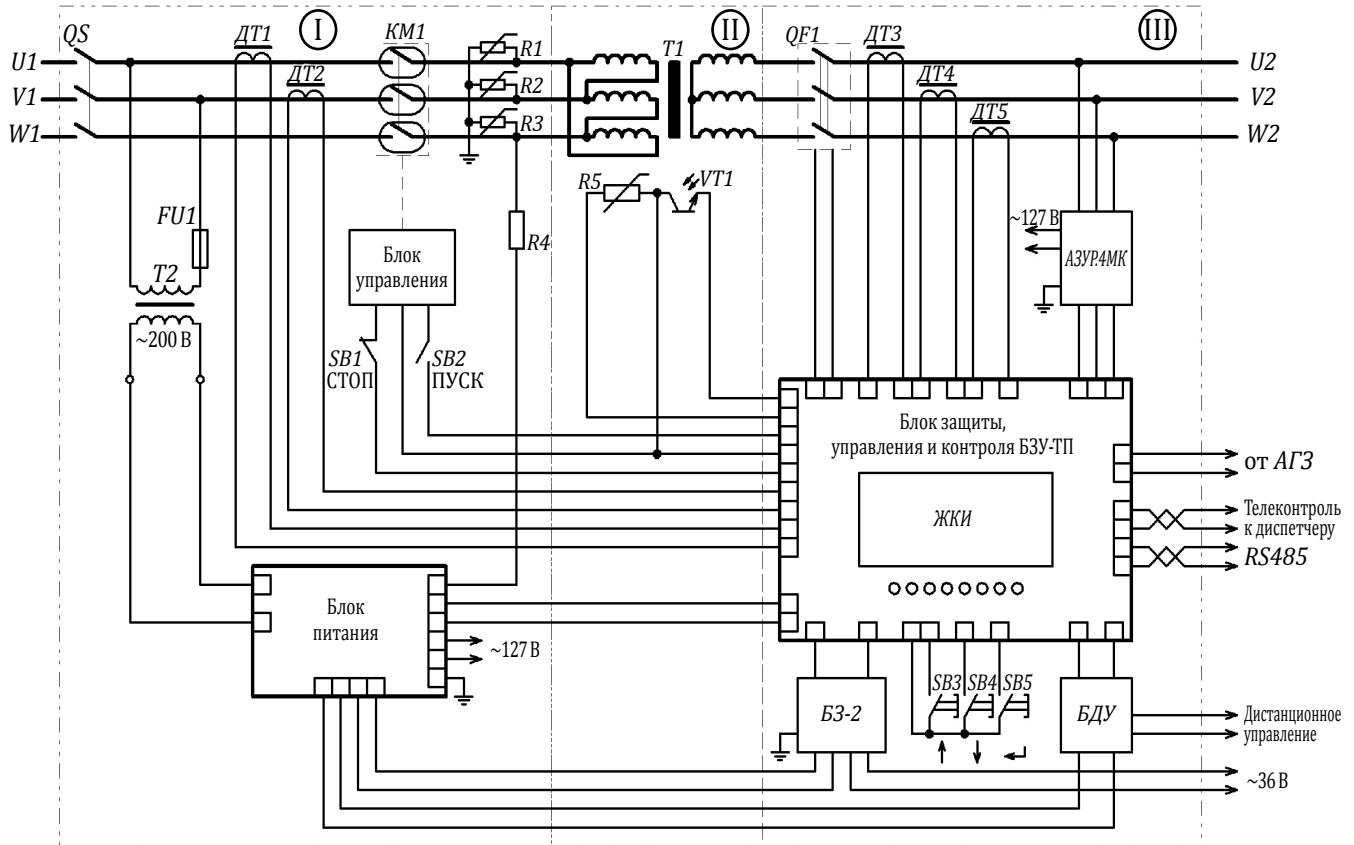


Рис. 3. Блочно-принципиальная электрическая схема подстанции серии ТВПШ 630/6-0,69/1,2 УХЛ5-2: I и III – распределительные устройства высшего и низшего напряжений; II – трансформаторный отсек; U1, V1, W1, U2, V2, W2 – клеммы входного и выходного напряжений; QS – высоковольтный разъединитель; KM1 – высоковольтный вакуумный контактор; QF1 – автоматический выключатель; DT1...DT5 – датчики тока; T1 – силовой трансформатор; T2 – трансформатор питания схемы; БЗ-2 – блок защиты выходных цепей напряжением 36 В; БДУ – блок дистанционного управления; АЗУРАМК – аппарат защиты от токов утечки; FU1 – предохранитель; R1...R3 – ограничители перенапряжений; R4 – фильтр присоединительного контроля изоляции сети; R5 – датчик температуры; VT1 – датчик световых явлений; SB1...SB5 – кнопки управления; АГЗ – контакт устройства автоматической газовой защиты.

- блок дистанционного управления БДУ-4-2;
- блок защиты БЗ-2 сети напряжением 36 В от токов утечки и короткого замыкания;
- датчики тока ДТ;
- трансформатор собственных нужд.

На крышке аппаратного отсека установлены кнопки проверки аппарата защиты от токов утечек, выбора меню блока БЗУ-ТП и выключатель местного освещения.

Общий вид головного образца серии подстанций ТВПШ – ТВПШ 630/6-0,69/1,2 УХЛ5-20 исполнения 20 показан на рис. 4.

Трансформаторная подстанция работает следующим образом. Высокое напряжение 6 кВ через кабельные вводы и проходные зажимы подается на разъединитель QS (см. рис. 3), по-

сле включения которого напряжение поступает на вакуумный контактор KM1, измерительный трансформатор напряжения T2 и от него – на первичную обмотку трансформатора собственных нужд T3 блока питания.

Одновременно напряжение подается на блок защиты БЗУ-ТП, после чего на дисплее отображаются данные в реальном времени. С помощью внешних кнопок входом в меню устанавливаются уставки срабатывания защиты, и после тестирования состояния защиты и контроля сопротивления изоляции отходящих присоединений блок БЗУ-ТП дает разрешение на включение высоковольтного контактора. Контактор включается нажатием на кнопку местного или дистанционного

управления, в результате чего напряжение подается на первичную обмотку силового трансформатора *T1*. Защиты на стороне низшего напряжения приводятся в готовность и после включения низковольтного выключателя *QF1* переходят в режим непрерывного контроля.

Чувствительность защиты на стороне распределительного устройства высшего напряжения выбирается с учетом необходимости обеспечения защиты от минимальных токов короткого замыкания на зажимах со стороны распределительного устройства низшего напряжения силового трансформатора. Это дает возможность подключать подстанции ТВПШ к высоковольтным КРУ наряду с другими подстанциями по одному кабелю независимо от их мощности. Такое решение целесообразно почти на каждой шахте, особенно при питании технологически связанного оборудования от нескольких подстанций, поскольку дает значительную экономию средств за счет исключения дорогостоящих высоковольтных кабелей.

Блок БЗУ-ТП в процессе работы непрерывно контролирует состояние и режимы работы подстанции (напряжение, ток, температуру, сопротивление изоляции, состояние защит и др.) и все параметры в реальном времени отображает на дисплее. При этом блок непрерывно регистрирует и записывает в память произошедшие события, а также передает со-

бранные данные по интерфейсу RS-485 диспетчеру. В основу протокола обмена данными положен протокол Modbus RTU. Для гальванической развязки выходных цепей интерфейса используется встроенный преобразователь напряжения, специализированные интерфейсные транзисторные оптроны и барьеры искрозащиты.

Такое построение схемы позволяет интегрировать подстанцию в нижний уровень системы информатизации горношахтного электрооборудования. По передаче данных подстанция совместима с применяемыми системами АСУ ТП шахт, такими как АСОДУ, УТАС и другими, построенными на базе физического интерфейса RS-485 и программного протокола Modbus RTU.

На жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ) блока отображаются:

- текущее время и дата;
- мнемосхема подстанции с отображением состояния защит, высоковольтного контактора и низковольтного выключателя (включено-отключено);
- температура обмоток трансформатора;
- напряжение высшее и низшее;
- потребленная электроэнергия;
- сопротивление изоляции.

При срабатывании защит или производстве оперативных переключений сигнализация дублируется светодиодами в целях привлечения внимания персонала и отображается на блоке:

- о срабатывании максимальной токовой защиты высшего и низшего напряжения;
- о перегревании обмоток трансформатора;
- о срабатывании аппарата защиты от утечек тока в сети низшего напряжения;
- о срабатывании защиты в сети напряжением 36 В;
- о возникновении электрической дуги в корпусе трансформатора;
- об обрыве фазы;
- о снижении сопротивления изоляции высшего напряжения ниже нормы.

В цепь электромагнита вакуумного контактора подклю-



Рис. 4. Трансформаторная подстанция ТВПШ 630/6-0,69/1,2 УХЛ5-22.

чен его собственный блок управления, который принимает сигналы о срабатывании защит в сетях высшего и низшего напряжения, а также от кнопок включения и отключения через блок защиты и управления подстанции БЗУ-ТП.

Переключение обмоток низшего напряжения на напряжение 690 или 1200 В осуществляется пересоединением отводов трансформатора путем установки перемычек на проходных токоведущих зажимах в РУНН.

Подстанции серии ТВПШ прошли все виды сертификационных испытаний, включая промышленные испытания опытного образца типопредставителя ТВПШ 630/6-0,69/1,2-22 на шахте им. А. Г. Стаханова ГП «Красноармейск-уголь», сертифицированы и готовы к серийному производству.

Выводы. Разработана и сертифицирована новая серия взрывозащищенных трансформаторных подстанций ТВПШ мощностью от 100 до 1000 кВ·А с первичным напряжением 6 кВ и вторичным 0,4/0,69/1,2 кВ, с системой защит, управления, диагностики и мониторинга процессов, что поднимет их на качественно новый уровень применения.

Внедрение указанных подстанций существенно повысит безопасность и бесперебойность эксплуатации шахтных распределительных сетей и позволит строить новые схемы электроснабжения с питанием технологически связанных подстанций разной мощности по одному кабелю.

По техническим показателям трансформаторные подстанции серии ТВПШ не уступают подстанциям зарубежных фирм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Півняк Г. Г. Формування парку вибухозахищених трансформаторних підстанцій / Г. Г. Півняк, В. Т. Заїка, І. М. Луценко // Уголь України. – 2011. – № 6. – С. 20–23.
2. *Tonghua Transformer Manufacturing Co., Ltd*: листок-каталог фірми Тунхуа, Китай [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ru.jt.china-thbyq.com/products_list.html
3. *Sait* фірми «Becker» (Германія) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ru.becker-mining.com/ru/products/endis>
4. *Савицкий А. В.* Управление и защита современных взрывозащищенных трансформаторных подстанций / А. В. Савицкий // Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: Юго-Восток, Лтд, 2009. – С. 94–103.

ПО МАТЕРИАЛАМ ЖУРНАЛА «УГОЛЬ УКРАИНЫ» ПРОШЛЫХ ЛЕТ

Год 1975

Журнал № 8 (рубрика «Краткие сообщения») информирует читателей о том, что в Англии на шахтах добывают уголь из пластов, расположенных под дном моря. В южной части Северного моря пласты уходят на глубину до 3 км. Угольная свита содержит по меньшей мере 12 угольных пластов мощностью до 1,8 м. Однако горные работы пока ведутся на небольшой глубине. Разработка месторождений, залегающих под морским дном, затруднена из-за водопроницаемости горных пород в результате осадки их при подработке. Водопроницаемость зависит главным образом от мощности вынимаемого пласта и расстояния его до водоносного горизонта. В основном все мокрые или сырые лавы находились не более чем в 36 м от основания водоносного горизонта. При мощности пласта 1,5 м и более 20 лав из 28 были мокрыми. Напор воды имеет относительно небольшое значение. Большой приток в выработки не является опасным, но приводит к значительным расходам на водоотлив.