

УДК 621.31-213.34.004.67:622.232



Н. М. БАСОВ,
канд. экон. наук
(ПрАО «Донецксталь» –
металлургический завод)



В. С. ДЗЮБАН,
доктор техн. наук
(ПрАО «Донецксталь» –
металлургический завод)



М. И. РЫМАР,
инж.
(ПрАО «Донецксталь» –
металлургический завод)



А. А. МАЦЕГОРА,
инж.
(Донецкий электротехнический
завод)

Направления совершенствования подземных систем электроснабжения шахт

Рассмотрены направления совершенствования подземных систем электроснабжения шахт, заключающиеся в переводе их на повышенные напряжения с 6 на 10 кВ и с 1140 В на 3 (3,3) кВ и применении новых изделий ВСТП-КРУ, обеспечивающих трансформацию электроэнергии и функции комплектных распределительных устройств.

Упрощение подземных высоковольтных распределительных систем угольных шахт, снижение затрат на их сооружение и эксплуатацию, а также возможность перевода этих систем на напряжение с 6 до 10 кВ и систем электроснабжения горных машин с 1140 на 3000 (3300) В позволяет повысить мощность и производительность горных машин и эффективность работы предприятий угольной промышленности в целом. В связи с этим специалисты компании «Донецксталь» – металлургический завод, МакНИИ и Донецкого электротехнического завода разработали Требования [1, 2, 3] к изготовлению и безопасному применению взрывозащищенного электрооборудования на напряжение 3 (3,3) и 10 кВ.

В соответствии с Правилами [4] каждая трансформаторная подстанция питает отдельные горные машины или их комплексы от комплектного распределительного устройства взрывозащищенного (КРУВ) на РПП. Допускается по одному кабелю от одного КРУВ питать группу трансформаторных подстанций, состоящую не более чем из трех подстанций, при условии, что

они питают технологически связанные электроприемники. Это приводит к необходимости монтажа большого количества шкафов КРУВ и кабелей как правило значительной длины, что усложняет проблемы защиты от токов короткого замыкания, поскольку необходимо защищать не только кабель до подстанции, но и трансформатор, и элементы распределительных устройств низшего и высшего напряжения вплоть до силовых контактов автоматического выключателя. В случае же питания от одного КРУВ нескольких подстанций эксплуатация усложняется, так как работа на одной из них вызывает отключение остальных.

В настоящее время завершается разработка проекта строительства понижающей трансформаторной подстанции, который впервые в Украине предусматривает электроснабжение подземных потребителей строящегося блока на напряжение 10 кВ в ПАО «Шахтоуправление «Покровское». Суммарная мощность подземных потребителей строящегося блока будет составлять 22,8 МВ·А, а суммарный ток потребителей – 1268 А, в то время как при напряжении 6 кВ он ра-

вен 2194 А. Тогда при напряжении 6 кВ и указанной выше нагрузке потребителей с учетом пунктов 1.2.17 и 1.2.18 ПУЭ требуется прокладка 12 ствольных кабелей сечением токоведущих жил $3 \times 150 \text{ мм}^2$ с предельно допустимой по ним токовой нагрузкой, что исключает в дальнейшем развитие этого блока и увеличение единичной мощности горных машин, так как большее количество кабелей не может быть размещено в стволе. При напряжении 10 кВ и указанной выше мощности подземных потребителей необходима прокладка восьми ствольных кабелей того же сечения.

Уменьшение токовых нагрузок при напряжении 10 кВ вместо 6 кВ в 1,73 раза способствует такому же падению напряжения в кабелях. Этот фактор прежде всего позволит в дальнейшем расширить поле добычи угля без повышения капитальных затрат за счет не вызывающего затруднений увеличения протяженности кабельных линий и снизить количество передвижек трансформаторных подстанций и РПП. Уменьшение падения напряжения в кабелях также приводит к росту момента на валу электродвигателей при их пуске и работе и, в конечном итоге, – к повышению надежности и эффективности работы горных машин и электрооборудования. В результате понижения токовых нагрузок потери электроэнергии в кабелях снижаются в 3 раза. Перевод систем электроснабжения шахт на напряжение 10 кВ безусловно актуален и экономически оправдан при строительстве новых шахт и стволов как в Украине, так и в других странах.

На добычных и проходческих участках шахт применяются системы энергосбережения в основном на напряжение 1140 и 660 В. Узкое место таких систем – ограничение мощности горных машин в связи с тем, что максимальное сечение токоведущих жил гибких кабелей составляет не более 95 мм^2 . При пуске наиболее нагруженных машин и механизмов напряжение на зажимах электродвигателей может снизиться до 60 – 70 % номинального. Это уменьшает в 2 – 3 раза (пропорционально квадрату питающего напряжения) вращающий момент на валу электродвигателя, что как правило является причиной «опрокидывания» и тяжелого пуска электродвигателей. Именно это стало причиной систематического увеличения напряжения питания горного электрооборудования с 380 до 660 В, затем с 660 до 1140 В. Для очередного повышения производительности горных машин с учетом возросшей энерговооруженности необходимо дальнейшее уве-

личение питающего напряжения основных горных машин до 3000 (3300) В.

Необходимость повышения уровня питающего напряжения на шахтах подтверждается расчетами падения напряжения при пуске наиболее нагруженных токоприемников – электродвигателей комбайна и конвейера. Для электропривода комбайна мощностью 730 кВт падение напряжения при питающем напряжении 1140 В, длине кабельной линии 500 м и предельно достигнутом сечении токоведущих жил гибкого кабеля 95 мм^2 составляет 15,8 %, а снижение пускового момента – 29,1 %, для электропривода конвейера мощностью 800 кВт соответственно 25,9 и 45,1 %. Гарантировать надежность работы этих машин при указанных условиях весьма затруднительно.

Чтобы снизить аварийность, повысить надежность и стабильность работы горных машин и механизмов было принято решение перевести добычный участок шахтоуправления «Покровское» на напряжение 3 (3,3) кВ. Такой перевод позволил уменьшить сечения токоведущих жил питающих кабелей с 95 до 50 мм^2 , обеспечить падение напряжения и моментов соответственно на 5,2 и 10 % для электропривода комбайна и на 5,6 и 10,8 % – для электропривода конвейера. Качество питающего напряжения при повышении его до 3 (3,3) кВ перестало быть сдерживающим фактором для роста мощности до уровня 1000 – 1200 кВт горных машин и механизмов.

Более чем двухлетний опыт работы добычного участка на напряжение 3 (3,3) кВ в шахтоуправлении «Покровское» с горными машинами фирмы JOY подтвердил преимущества перехода на это напряжение, так как отсутствовали опрокидывания, затянувшиеся пуски электродвигателей и частые выходы их из строя по причине повреждения обмоток. Ни одного случая выхода из строя электродвигателей комбайна и конвейера из-за перегруза обмоток зафиксировано не было. Однако высокой аварийностью отличалась система автоматики и управления комбайна, особенно частотного преобразователя для питания электропривода подачи. Чтобы успешно внедрить повышенное напряжение, надо было разработать и освоить серийное производство соответствующего оборудования.

Прежде всего специалистами компании «Донецксталь» – металлургический завод» и Донецкого электротехнического завода были разработаны и поставлены на производство трансформаторные подстанции ВСТП-КРУ. При их разработке использовались принципиально новые технические реше-

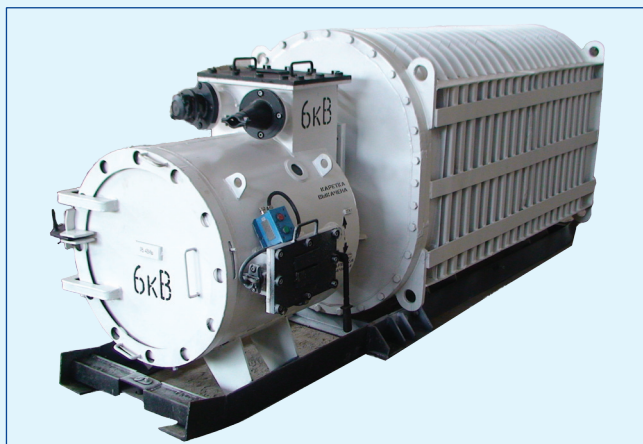


Рис. 1. Трансформаторная подстанция ВСТП-КРУ.

ния на уровне изобретений [5 – 9]. Во-первых, это совмещение в подстанции функций как трансформации электроэнергии, так и комплектных распределительных устройств, что обеспечивает выполнение требований правил безопасности в угольных шахтах и в тоже время позволяет к одному распределительному устройству подключать любое количество подстанций любой мощности и резко упростить системы подземного электроснабжения. Во-вторых, производится защита собственными средствами отходящих присоединений и самого трансформатора. Впервые в мировой практике был разработан аппарат защиты от токов утечки на напряжение 3 (3,3) кВ (АЗУР-5), который не только контролирует сопротивление изоляции как в подстанциях зарубежных фирм, но и выполняет все необходимые функции защиты от токов утечек на землю. Преимущества изделий описаны в статье [10], отражающей перспективные пути развития конструкций высоковольтных распределительных устройств.

Трансформаторные подстанции ВСТП-КРУ [11] с высоковольтными комплектными распределительными устройствами предназначены для преобразования напряжения 6/10 кВ в напряжение 3 (3,3) кВ или 1140/660 В в целях питания трехфазным переменным током частотой 50 Гц подземных токоприемников шахт, опасных по газу (метану) и (или) угольной пыли, а также для защиты от токов утечки, токов короткого замыкания, перегруза и от неполнофазных режимов работы. Уровень и виды взрывозащиты подстанций: РВ 4В, РВ 4В Иа – для внутреннего рынка, РВ Exdl, РВ Exdial – для поставок на экспорт.

Подстанция ВСТП-КРУ состоит из силового трансформатора, заключенного во взрывонепроницаемый корпус, распределительного устройства, взрывонепроницаемый корпус которого соединен с корпусом силового трансформатора, коробки выводов низшего напряжения и ходовой части (рис.1). Они прошли приемочные (промышленные) испытания в шахте и на когенерационной станции шахтоуправления «Покровское», в ходе которых были выявлены недостатки, присущие всем выключателям с магнитной или механической защелками: в случае исчезновения напряжения на шпильках подстанции выключатель остается в замкнутом положении и для его отключения необходимо применять специальные меры. Это может быть конденсаторная батарея либо другой независимый источник питания для отключающего привода выключателя. В связи с этим выключатель был заменен выключателем Rollarc 400 без механической защелки. Кроме устранения отмеченных выше недостатков это позволило увеличить ресурс выключателей с 100 до 300 тыс. циклов «включение – отключение». Донецкий электротехнический завод серийно изготавливает ВСТП-КРУ для поставок в Украину, Российскую Федерацию и другие страны.

Техническая характеристика ВСТП-КРУ

Номинальная мощность, кВ·А	1000; 1250
Номинальное напряжение, кВ:	
первичное	6/10
вторичное	3(3,3); 1,2/0,69
Частота тока, Гц	50
Способ, диапазон регулирования напряжения	ПБВ, ± 5%
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/Δ-11
Тип охлаждения трансформатора	Воздушный
Напряжение короткого замыкания при 115° С, % (допустимое отклонение)	6,5 (± 10)
Ток холостого хода, % (допустимое отклонение)	1,1 (+ 30)
Потери короткого замыкания силового трансформатора при температуре 115° С, кВт (допустимое отклонение)	6,5 (+ 10)
Потери холостого хода силового трансформатора, кВт (допустимое отклонение)	2,8 (+ 15)
Номинальная мощность короткого замыкания, МВ·А	100
Отключающая/включающая способность выключателя, кА	10/25 при 6 кВ 7/20 при 12 кВ

Габаритные размеры, мм:	
длина	3800
высота	1400
ширина	1080
Масса, кг, не более	6300

Выводы. Перевод систем подземного электроснабжения с напряжения 6 на 10 кВ и с 1400 В на 3(3,3) кВ гарантирует надежную и эффективную работу мощного электрооборудования.

Внедрение в производство новых ВСП-КРУ упрощает системы подземного электроснабжения шахт, снижает затраты на их сооружение и эксплуатацию, повышает эффективность работы предприятий. Включением на напряжение 6 или 10 кВ можно не только использовать устройство в перспективных системах электроснабжения на повышенное напряжение 10 кВ, но и осуществлять стыковку этих систем с имеющимися системами энергоснабжения на 6 кВ.

Наличие в комплектном устройстве трансформаторной подстанции высоковольтного выключателя-контактора и других средств обеспечивает защиту отходящих от подстанций присоединений и трансформатора, что позволяет присоединить любое количество таких устройств к одному КРУВ распределительного устройства одним магистральным кабелем. Разъединитель на 10 кВ, размещенный в отдельной взрывобезопасной камере и сблокированный с быстрооткрываемой крышкой, дает возможность открывать крышку и обслуживать устройство, не отключая КРУВ шахтного распределительного устройства, подающего напряжение как на данную подстанцию, так и на другие КТП, которые при этом остаются включенными.

Рассмотренные технические решения позволяют обеспечить дальнейшее повышение эффективности работы угольных шахт.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Требования к изготовлению рудничного взрывозащищенного электрооборудования на напряжение 3(3,3) кВ / МакНИИ, ЗАО «Донецксталь» – металлургический завод.* – Макеевка: Макеевка-Донбасс, 2007. – 27 с.
2. *Требования к электроснабжению и безопасному применению в шахтах электрооборудования на напряжение 3(3,3) кВ / МакНИИ, ЗАО «Донецксталь» – металлургический завод.* – Макеевка: Макеевка-Донбасс, 2007. – 28 с.
3. *Требования к изготовлению и безопасному применению взрывозащищенного электрооборудования для систем подземного электроснабжения на напряжение 10 кВ / МакНИИ, ЗАО «Донецксталь» – металлургический завод.* – Донецк: Юго-Восток, 2010. – 48 с.
4. *Правила безопасности в угольных шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10.* – Харків: Форт, 2010. – 244 с.
5. *Пат. 88430* України, МПК (2009) H02B 11/00, H02B 13/00. *Вибухозахищений електротехнічний пристрій / С. В. Кужель, Н. М. Басов, В. С. Дзюбан; заявник і патентовласник ТОВ «Група «Енерго».* – № 200901218; заявл. 16.02.09; опубл. 12.10.09, Бюл. № 19.
6. *Пат. 2400001* Российской Федерации, МПК H02B 13/00, H02H 7/00. *Взрывозащищенное электротехническое устройство / С. В. Кужель, Н. М. Басов, В. С. Дзюбан; заявитель и патентообладатель ООО «Группа «Энерго».* – № 2009120929103; заявл. 03.06.09; опубл. 20.09.10, Бюл. № 26.
7. *Пат. 88429* України, МПК (2009) H02B 5/00, H02B 7/00. *Вибухозахищена трансформаторна підстанція / С. В. Кужель, Н. М. Басов, В. С. Дзюбан; заявник і патентовласник ТОВ «Група «Енерго».* – № 200901218; заявл. 16.02.09; опубл. 12.10.09, Бюл. № 19.
8. *Пат. 2399131* Российской Федерации, МПК H02B 7/01, H02B 7/08. *Взрывозащищенная трансформаторная подстанция / С. В. Кужель, Н. М. Басов, В. С. Дзюбан; заявитель и патентообладатель ООО «Группа «Энерго».* – № 2009120930109, заявл. 03.06.09; опубл. 10.09.10, Бюл. № 25.
9. *Пат. 93336* України, МПК (2011) H02H 3/00, H02H 1/00. *Пристрій керування та захисту електроустаткування / Ю. В. Филатов, Н. М. Басов, В. С. Дзюбан, В. В. Кардаш; заявник і патентовласник ЗАТ «Донецьксталь» – металургійний завод.* – 201006401; заявл. 25.05.10; опубл. 25.01.11, Бюл. № 2.
10. *Мнухин А. Г.* Пути развития конструкций рудничных высоковольтных распределительных устройств / А. Г. Мнухин, А. В. Антипин, В. А. Гаврилко, А. П. Лихван // *Уголь Украины.* – 2013. – № 1. – С. 20 – 24.
11. *Новое направление в создании рудничных взрывозащищенных трансформаторных подстанций на низшее напряжение до 3300 В / Н. М. Басов, В. С. Дзюбан, В. В. Кардаш, В. Е. Кошкин, Т. В. Швецова // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. УкрНИИВЭ.* – Донецк: АМР, 2010. – С. 61 – 71.