

УДК 621.319.44: 621.316.727:622

Компенсация реактивной мощности в подземной системе электроснабжения шахт напряжением 6 (10) кВ на основе конденсаторных установок типа УКРВ

Рассмотрены вопросы построения системы автоматической ступенчатой компенсации реактивной мощности в подземной системе электроснабжения шахт и рудников напряжением 6 (10) кВ на основе созданных АО «ДИГ» рудничных конденсаторных установок типа УКРВ со встроенным вакуумным контактором. Предложены варианты подключения УКРВ на различных участках кабельной сети.

Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, подземная система электроснабжения, рудничная конденсаторная установка, возможные варианты подключения, система автоматической ступенчатой компенсации реактивной мощности.

Контактная информация: bmk@deg.com.ua

Постановка проблемы. Один из путей повышения технико-экономических показателей предприятий угольной и горно-рудной промышленности – внедрение энергосберегающих технологий, в частности при транспортировании электроэнергии к местам ее потребления.

Передача реактивной мощности вследствие увеличения силы тока приводит к повышению потерь активной мощности в элементах системы электроснабжения (СЭС) шахты и, как следствие, к дополнительной оплате за потребленную электроэнергию, увеличению требуемой мощности трансформаторов и сечения кабельных линий, к потерям напряжения в сети и, соответственно, к снижению напряжения на зажимах токоприемников горных машин.

Исследование электрических нагрузок на шинах секций центральных подземных подстанций (ЦПП) шахт и рудников с номинальным напряжением 6 (10) кВ показывает, что на участке СЭС главная поверхностная подстанция (ГПП)–ЦПП в шахту по ствольным кабелям передается реактивная мощность, составляющая 80–180 % активной мощности [1].

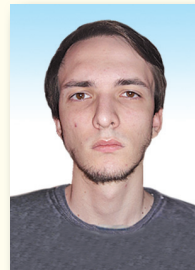
Для уменьшения реактивной мощности, передаваемой по элементам СЭС шахт и рудников, номинальным напряжением 6 (10) кВ на участках ГПП–ЦПП – распределительный пункт высоковольтный (РПВ) – передвижная участковая подземная подстанция (ПУПП), предназначена установка конденсаторная рудничная высоковольтная типа УКРВ-XX-XXX-Х УХЛ5 (далее – УКРВ (исполнение «К»)) [2, 3].



М. К. БОЧАРОВ,
инж.
(АО «ДИГ»)



В. А. ГВОЗДЕВ,
инж.
(АО «ДИГ»)



А. М. БОЧАРОВ,
студент
(Запорожский НТУ)

Анализ исследований и публикаций. Вопросы разработки, испытаний, промышленного производства и применения рудничных конденсаторных установок, в том числе УКРВ (исполнение «К») для компенсации реактивной мощности в подземной системе электроснабжения (ПСЭС) шахт и рудников подробно изложены в работах [2, 3].

Цель исследований – анализ возможных схем включения

УКРВ (исполнение «К») и разработка на их основе метода организации и принципов построения в шахтных ПСЭС номинальным напряжением 6 (10) кВ системы автоматической ступенчатой компенсации реактивной мощности шахты, состоящей из подключенных и рассредоточенных по длине магистральных, радиальных или радиально-магистральных кабельных линий единичных конденсаторных установок, а также разработка схемных решений для ее реализации.

Результаты исследований. Рудничные конденсаторные установки [2, 3] могут быть нерегулируемыми, нерегулируемыми автоматически управляемыми и автоматически регулируемыми (рис.1). Из результатов технико-эко-

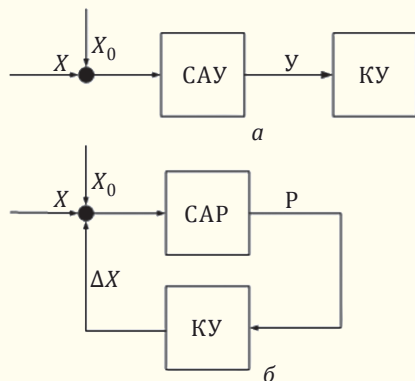


Рис. 1. Упрощенная структурная схема нерегулируемой автоматически управляемой (а) и автоматически регулируемой (б) конденсаторной установки: X – контролируемый параметр; X_0 – уставка по контролируемому параметру; ΔX – изменение контролируемого параметра после изменения режима работы автоматически регулируемой конденсаторной установки; КУ – конденсаторная установка; Y – управляющее воздействие (включить-отключить КУ); P – регулирующее воздействие (переключение ступеней КУ); САУ – система автоматического управления КУ; САР – система автоматического регулирования КУ.

номических расчетов следует, что для ПСЭС шахт и рудников напряжением 6 (10) кВ наиболее целесообразно ступенчатое регулирование реактивной мощности [4–6].

Анализ схем ПСЭС шахт и рудников напряжением 6 (10) кВ показал, что отходящие от ЦПП кабельные линии можно разделить на три типа: радиальные, магистральные и магистрально-радиальные.

Количество кабельных линий, отходящих от одной секции шин ЦПП и определяющих нагрузку на ее шинах, изменяется от двух до четырех. Наиболее распространены магистрально-радиальные линии – 46 %, магистральные линии составляют 35 %, а радиальные – 19 %. К одной кабельной линии, отходящей от ЦПП, можно подключать до восьми РПВ и до шестнадцати ПУПП. Причем, на 20 % линий имеется один РПВ, на 18 % – два и на 62 % – три и более. К 18 % кабельных линий, отходящих от ЦПП, можно подключить до трех ПУПП, к 25 % – до пяти и к 30 % – более десяти.

Реализовать принцип ступенчатого регулирования реактивной мощности в ПСЭС напряжением 6 (10) кВ можно, если использовать нерегулируемые автоматически управляемые конденсаторные установки (согласно упрощенной структурной схеме, см. рис. 1, а), имеющие две ступени мощности: номинальную (при подключении к сети) и нулевую (при отключении от сети) [2, 3, 5]. При этом единичные конденсаторные установки должны быть рассредоточены в ПСЭС шахты по длине отдельных кабельных линий [3].

Такой принцип компенсации реактивной мощности (КРМ) дает возможность создавать в ПСЭС шахт и рудников напряжением 6 (10) кВ многоуровневую систему автоматической ступенчатой КРМ (далее – «САС КРМ»), количество уровней и ступеней компенсации которой зависит от количества отдельных магистральных, радиальных и магистрально-радиальных кабельных линий, отходящих от ЦПП, от количества РПВ, расположенных по их длине и необходимой реактивной мощности, предназначенной для компенсации.

Для возможности реализации «САС КРМ» в ПСЭС шахт разработана установка конденсаторная рудничная высоковольтная типа УКРВ (исполнение «К») со встроенным вакуумным контактором на напряжение 6 (10) кВ и с 2010 г. изготавливается АО «ДИГ» [2, 3]. Установка имеет две ступени мощности – номинальную при подключении к сети и нулевую при отключении от сети – и может автоматически подключаться и отключаться от сети в зависимости от фактического значения реактивной мощности, передаваемой по ПСЭС шахты или рудника в месте расположения установки. Схемные и конструктивные решения, заложенные в установке, позволяют:

- размещать установки на центральной подземной подстанции в распределительных пунктах высоковольтных, в конце кабельных линий (с включением в рассечку кабельной линии), питающих передвижные участковые подземные подстанции добычных, подготовительных участков и конвейерного транспорта;
- перемещать установки по горным выработкам для подключения в других точках ПСЭС по мере изменения плана горных работ за счет отработки сегментов шахтного поля без существенных трудовых и материальных затрат, так как они имеют небольшие габариты (длина 2450 мм) и массу (менее 1850 кг).

Создаваемая «САС КРМ» в ПСЭС шахт и рудников должна удовлетворять условию оптимизации режимов электропотребления, а также иметь минимальные затраты, связанные с ее функционированием. При создании «САС КРМ» в ПСЭС шахт и рудников и разработке ее схемных решений необходимо учитывать, что наличие определенного плана горных выработок не позволяет устанавливать конденсаторные установки в тех точках сети, которые оптимальны при решении задачи компенсации реактивной мощности [2, 3, 5], а автоматическое управление рудничными конденсаторными установками должно производиться с учетом обязательно наибольшего их использования в часы максимальных нагрузок и отключения в часы минимальных, исходя из баланса реактивной мощности для конкретного узла ПСЭС шахты [5, 6]. При этом надо стремиться к максимально возможному приближению конденсаторных установок к наиболее энергоемким центрам потребления электроэнергии, фактическое время работы которых максимально в рассматриваемой ПСЭС [5, 6].

Многолетний опыт эксплуатации (с 2001 г.) рудничных конденсаторных установок исполнений «О», «А» и «К» производства АО «ДИГ» на шахтах и рудниках показал, что при создании «САС КРМ» рациональное количество единичных конденсаторных установок, подключенных и распределенных по длине одной магистральной кабельной линии, составляет от двух до четырех, в радиальной линии – до двух и от двух-трех до восьми установок в сложной магистрально-радиальных линиях [3].

При создании «САС КРМ» в ПСЭС шахт наиболее эффективные технические решения можно обеспечить, если с помощью высоковольтных нерегулируемых установок достигается степень КРМ, равная 0,3–0,4, а с помощью высоковольтных нерегулируемых автоматически управляемых установок, отключаемых при реактивных нагрузках меньше 0,5 мощности установки, достигается степень КРМ, равная 0,6–0,7 [2, 3, 7, 8].

Опыт эксплуатации установок УКРВ исполнений «О», «А» и «К» также показал, что создание и применение в ПСЭС напряжением 6 или 10 кВ регулируемых двух- или трехступенчатых рудничных конденсаторных установок нецелесообразно из-за неуниверсальности, так как их мощность и соотношение мощностей ступеней выбираются при проектировании и привязаны к конкретному объекту и его технологическому режиму. Это затрудняет в дальнейшем использование установок при их переподключении в другие точки ПСЭС в случае изменения конфигурации сети из-за изменения плана горных выработок по мере отработки шахтного поля [2, 3]. Кроме того, такие установки, по сравнению с УКРВ (исполнение «К»), имеют большие габаритные размеры (длина от 3200 до 6700–10200 мм) и массу (от 3400 до 9500 кг), что затрудняет их перемещение по горным выработкам и размещение на новом месте [2, 3].

Возможны следующие варианты подключения УКРВ (исполнение «К») как самостоятельного изделия в ПСЭС шахты [2, 3]:

- вариант 1 – включение в рассечку кабельной линии, идущей от РПВ или ЦПП и питающей одну или несколько ПУПП (рис. 2);

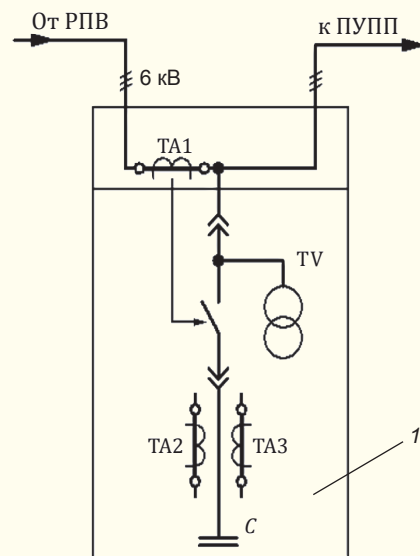


Рис. 2. Подключение УКРВ (исполнение «К») в рассечку кабельной линии: 1 – УКРВ-6,3-XXX-К УХЛ5.

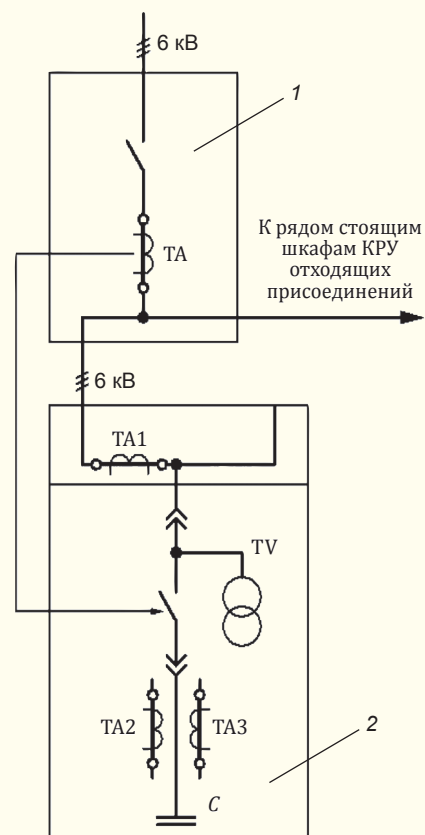


Рис. 3. Подключение УКРВ (исполнение «К») к свободному выходу вводного шкафа КРУ на РПВ: 1 – шкаф КРУ вводной; 2 – УКРВ-6,3-XXX-К УХЛ5.

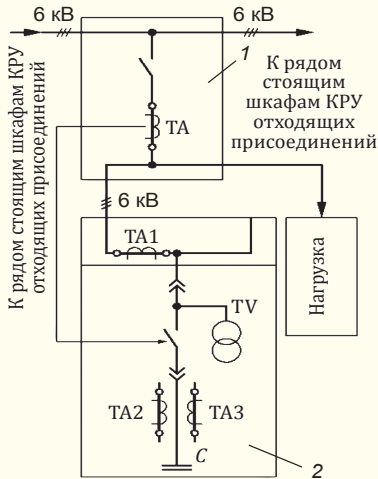


Рис. 4. Подключение УКРВ (исполнение «К») к свободному выводу шкафа КРУ отходящего присоединения, расположенного в ЦПП или РПВ, от которого производится электропитание следующего РПВ или ПУПП питающих добычные, проходческие или транспортные комплексы (информация о токовой нагрузке для УКРВ снимается с ТТ шкафа КРУ отходящего присоединения): 1 – шкаф КРУ отходящих присоединений; 2 – УКРВ-6,3-XXX-К УХЛ5.

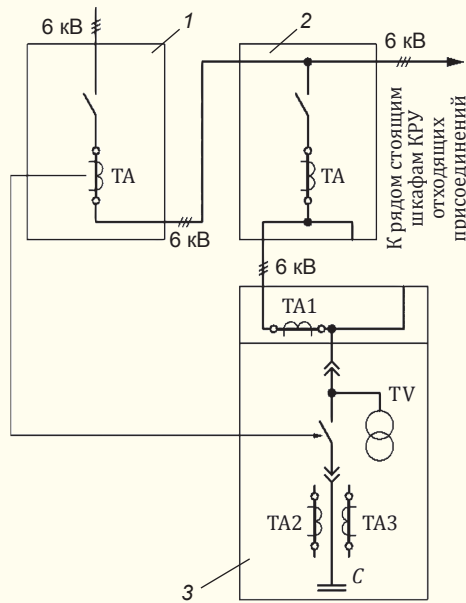


Рис. 5. Подключение УКРВ (исполнение «К») на ЦПП или РПВ к специально выделенному шкафу КРУ отходящего присоединения (информация о токовой нагрузке для УКРВ снимается с ТТ шкафа КРУ отходящего присоединения): 1 – шкаф КРУ вводной; 2 – шкаф КРУ отходящих присоединений; 3 – УКРВ-6,3-XXX-К УХЛ5.

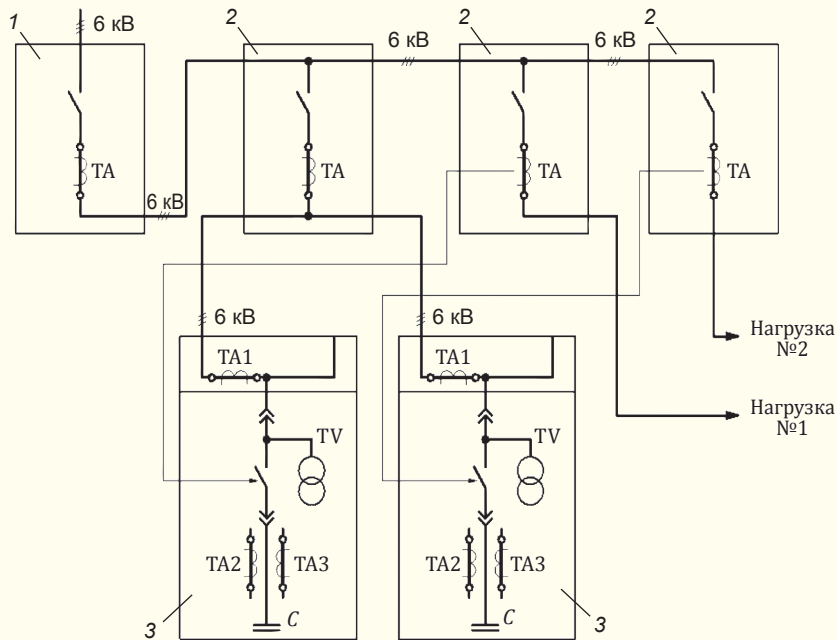


Рис. 6. Подключение двух УКРВ (исполнение «К») на ЦПП или РПВ к специально выделенным шкафам КРУ отходящего присоединения (информация о токовой нагрузке для УКРВ снимается с ТТ вводного шкафа КРУ): 1 – шкаф КРУ вводной; 2 – шкаф КРУ отходящих присоединений; 3 – УКРВ-6,3-XXX-К УХЛ5.

- вариант 2 – подключение к свободному выводу вводного шкафа КРУ на РПВ (рис. 3);

- вариант 3 – подключение к свободному выводу шкафа КРУ отходящего присоединения, расположенного в ЦПП или РПВ, от которого запитан следующий РПВ или одна или несколько ПУПП, питающих добычные, проходческие или транспортные комплексы (рис. 4). Информация о токовой нагрузке для УКРВ (исполнение «К») в этом варианте подключения может сниматься: 1) с ТТ шкафа КРУ, к которому подключена установка; 2) с ТТ шкафа КРУ отходящего присоединения, определяющего нагрузку на данном РПВ; 3) с ТТ вводного шкафа КРУ РПВ. При отсутствии свободного фидера в шкафу КРУ, с уже подключенной к нему нагрузкой, УКРВ (исполнение «К») возможно запитать от этого же шкафа КРУ, применив соединительную коробку типа УСВВ-6-400-44456 УХЛ5 [9], подключив к одному из фидеров которой существующую нагрузку, а к другому фидеру – конденсаторную установку.

Перечисленные варианты подключения УКРВ (исполнение «К») не требуют применения специально выделенного шкафа КРУ и их можно использовать в существующих ЦПП и (или) РПВ ПСЭС шахты при создании «САС КРМ»;

- вариант 4 – подключение к отдельно выделенному шкафу КРУ отходящего присоединения, входящего в состав РПВ или ЦПП одной установки УКРВ (рис. 5) или двух УКРВ (рис. 6).

На рис. 7–9 приведены варианты выполнения двухступенчатой «САС КРМ» с подключением

одной УКРВ (исполнение «К») в конце кабельной линии РПВ–ПУПП, а второй – к свободному выходу вводного шкафа КРУ на РПВ (см. рис. 7) или к свободному выходу шкафа КРУ отходящего присоединения, расположенного в ЦПП или РПВ, от которого производится электроснабжение следующего РПВ или ПУПП (см. рис. 8), или к специально выделенному на ЦПП или РПВ шкафу КРУ отходящего присоединения (см. рис. 9).

На рис. 10 приведен вариант трехступенчатой «САС КРМ» в магистральной кабельной линии с подключением одной УКРВ (исполнение «К») в конце кабельной линии РПВ–ПУПП и питающей нагрузки № 1 и 2, а двух других – к свободным выходам шкафов КРУ отходящих присоединений к РПВ питающей ПУПП и к одной из вышестоящих РПВ или к ЦПП.

При создании «САС КРМ» в магистрально-радиальной кабельной линии возможно подключение установки дополнительно на одном или нескольких РПВ (с учетом нагрузки в питающихся от них кабельных линиях), расположенных между ЦПП и последним РПВ, питающим одну или несколько ПУПП.

В предлагаемом способе построения «САС КРМ» единичные конденсаторные установки типа УКРВ рассредоточены по длине кабельной линии. При этом между двумя установками всегда будет находиться кабельная линия длиной как минимум от 130–150 м (индуктивностью от 0,036 до 0,043 мГн) до 6000 м (индуктивностью от 1,55 до 1,67 мГн), что ограничит броски тока при включении одной из установок и работе другой.

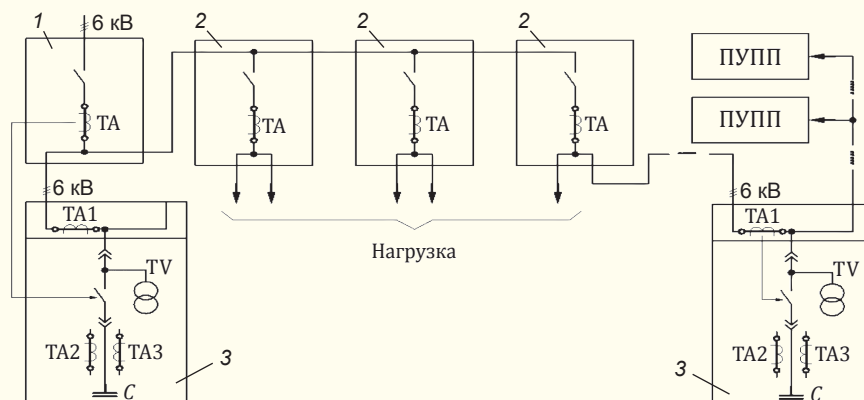


Рис. 7. Вариант двухступенчатой «САС КРМ» с подключением УКРВ (исполнение «К») в конце кабельной линии РПВ–ПУПП и к свободному выходу вводного шкафа КРУ на РПВ (информация о токовой нагрузке для УКРВ снимается с ТТ шкафа КРУ отходящего присоединения, определяющего нагрузку на данном РПВ): 1 – шкаф КРУ вводной; 2 – шкаф КРУ отходящих присоединений; 3 – УКРВ-6,3-XXX-К УХЛ5.

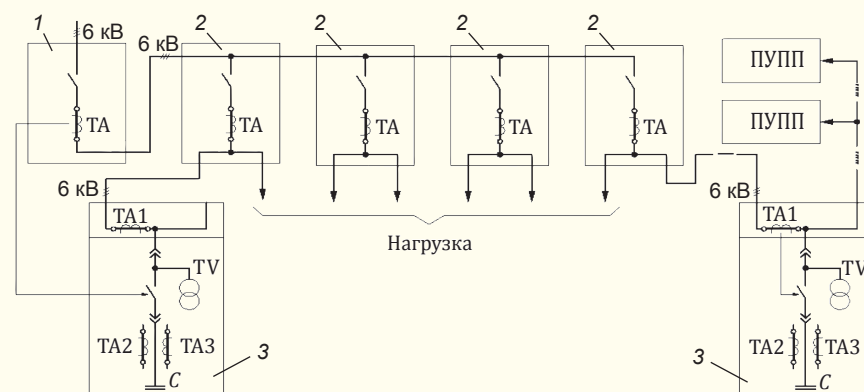


Рис. 8. Вариант двухступенчатой «САС КРМ» с подключением УКРВ (исполнение «К») в конце кабельной линии РПВ–ПУПП и к свободному выходу шкафа КРУ отходящего присоединения, расположенного в ЦПП или РПВ, от которого производится электроснабжение следующего РПВ или ПУПП (информация о токовой нагрузке для УКРВ снимается с ТТ вводного шкафа КРУ): 1 – шкаф КРУ вводной; 2 – шкаф КРУ отходящих присоединений; 3 – УКРВ-6,3-XXX-К УХЛ5.

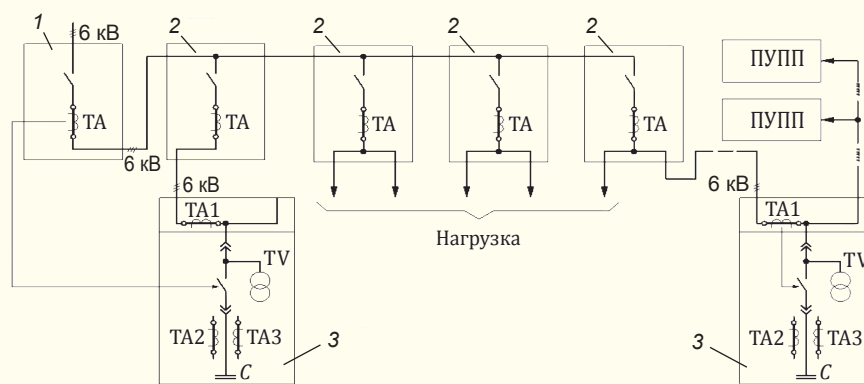


Рис. 9. Вариант двухступенчатой «САС КРМ» с подключением УКРВ (исполнение «К») в конце кабельной линии РПВ–ПУПП и к специально выделенному на ЦПП или РПВ шкафу КРУ отходящего присоединения (информация о токовой нагрузке для УКРВ снимается с ТТ вводного шкафа КРУ): 1 – шкаф КРУ вводной; 2 – шкаф КРУ отходящих присоединений; 3 – УКРВ-6,3-XXX-К УХЛ5.

Эффективность применения рудничных конденсаторных установок (РКУ), правильность выбора их мощности и места подключения, определение рационального распределения потерь мощности и напряжения на разных участках электрической сети шахт и рудников можно определить исходя из действительных значений активных и реактивных электрических нагрузок в характерных узлах подземной распределительной сети напряжением 6 (10) кВ.

В настоящее время электрические сети ПСЭС шахт и рудников работают в условиях неопределенности, основные причины которой:

- недостаточное обеспечение информацией об уровне электрических нагрузок в ПСЭС и передаваемой по ее элементам реактивной мощности;
- стохастическая природа электрических нагрузок шахтных токоприемников;
- специфика горных работ, связанная с определенным планом выработок, который

изменяется с течением времени по мере проведения добычных и вскрышных работ, не позволяющих устанавливать КУ во всех тех точках сети, которые могут быть рациональными при решении задачи КРМ.

Неопределенность возникает из-за дефицита информации об уровнях активной и реактивной мощностей, передаваемых по магистральным и радиальным электрическим сетям ПСЭС на участках ЦПП-РПВ-ПУПП. Это связано с практически полным отсутствием в ПСЭС шахт систем учета электропотребления из-за отсутствия до последнего времени серийного производства пригодных для этих целей шкафов КРУ во взрывобезопасном и рудничном исполнении. Учет расхода электропотребления ведется только на участке сети ГПП-ЦПП. Нагрузки, передаваемые по элементам сети, рассчитывают по установленной мощности токоприемников, в основном с использованием коэффициента спроса. Как следствие, информация о реактив-

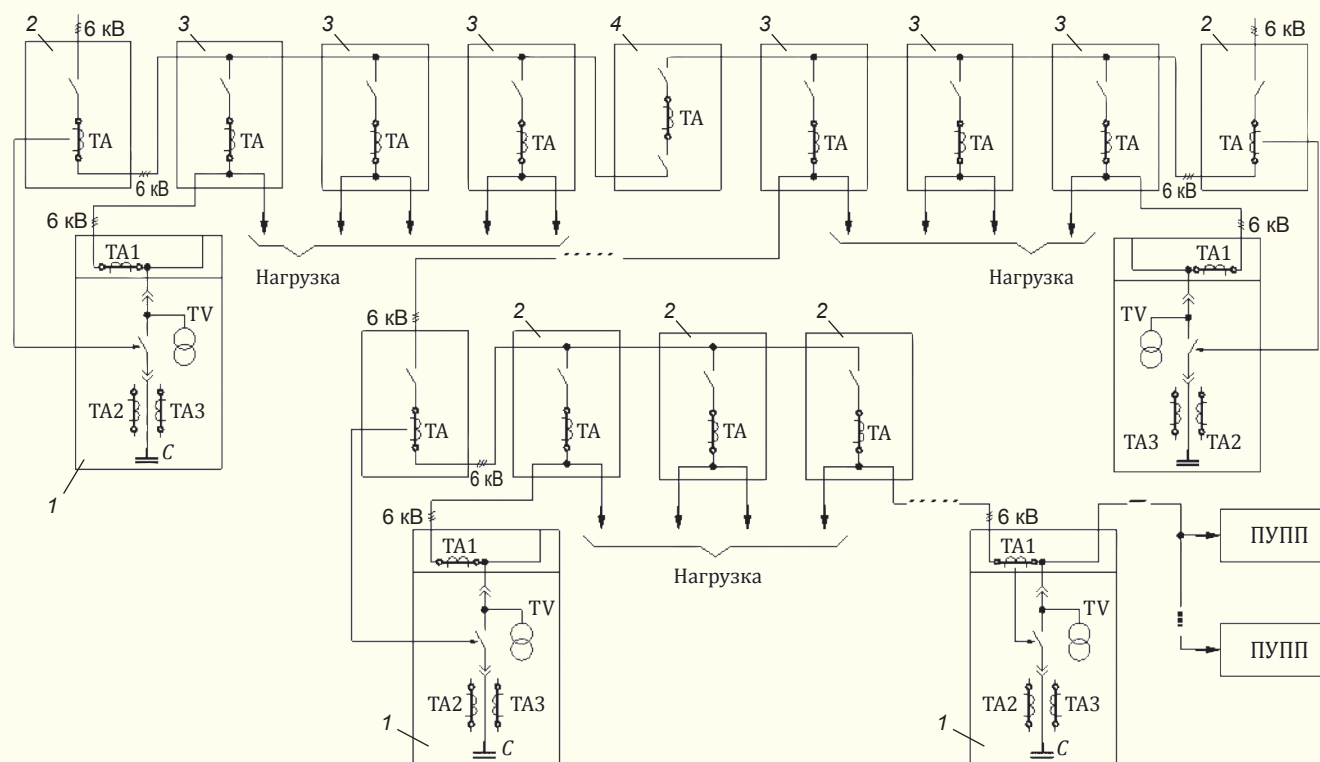


Рис. 10. Вариант трехступенчатой КРМ с подключением в РПВ и в ЦПП к свободным выходам шкафов КРУ отходящих присоединений по одной УКРВ (исполнение «К») и одной УКРВ (исполнение «К»), включенной вращесечку радиальной линии и питающей ПУПП: 1 – УКРВ-6,3-XXX-К УХЛ5; 2 – шкаф КРУ вводной; 3 – шкаф КРУ отходящих присоединений; 4 – шкаф КРУ секционный. Установки УКРВ (исполнение «К») на ЦПП и РПВ подключены к одному шкафу КРУ с нагрузкой отходящих присоединений.

ной нагрузке, используемая при расчетах КРМ в ПСЭС шахт и рудников, в разной степени неопределена, и поэтому распределение потоков РМ в сети не соответствует минимуму потерь, т. е. не является рациональным.

С помощью конденсаторных установок УКРВ (исполнение «К») возможно не только компенсировать часть реактивной мощности ПСЭС, но и рационально распределить некомпенсированную часть этой мощности по отдельным узлам ПСЭС (сети), исходя из минимума потерь активной мощности и электроэнергии, а также увеличить напряжение на зажимах токоприемников горных машин.

В работах [10, 11] показано, что решение вопроса КРМ в условиях неопределенности целесообразно начинать с морфологического анализа сети, позволяющего применительно к ПСЭС шахт и рудников осуществлять декомпозицию распределительной сети по таким признакам: по принадлежности подземных токоприемников к разным группам; по уровню обобщения электрических нагрузок, по конфигурации сети; по качеству информационных потоков. Это дает возможность уменьшить размерность задачи КРМ и обеспечить гибкость решения задачи КРМ в ПСЭС шахты или рудника.

Подземные токоприемники шахт и рудников можно условно разделить по уровню обобщения электрических нагрузок в ПСЭС на характерные группы потребителей: очистных забоев; проходческо-добычных и проходческих забоев; панельного и магистрального конвейерного транспорта. Кроме того, в узлах нагрузок характерные группы потребителей – нагрузки секций шин ЦПП, РПВ и РПВ главного водоотлива (при его наличии).

При создании «САС КРМ» на основе использования конденсаторных установок УКРВ со встроенным вакуумным контактором в радиальных, магистральных, магистрально-радиальных кабельных линиях ЦПП–ПУПП или в целом для всей секции шин ЦПП горизонта, необходимо учитывать, что насыщение ПСЭС шахт и рудников конденсаторными установками не является разовым, а происходит на протяжении определенного длительного времени, при этом конденсаторные установки подключают к ПСЭС прежде всего в наиболее загруженных и (или) удаленных точках ПСЭС, т. е. там, где можно получить максимальный эффект. Это дает возмож-

ность до момента насыщения ПСЭС шахт и рудников конденсаторными установками определять места их подключения и необходимые мощности упрощенным способом и позволяет на протяжении обозримого периода времени рационально планировать, распределять и использовать финансовые ресурсы шахты.

Для выбора мощности УКРВ, размещаемых по длине кабельных линий ЦПП–ПУПП, при создании «САС КРМ», необходимо знать:

- конфигурацию линии ЦПП–ПУПП со всеми имеющимися в линии РПВ;
- установленную мощность нагрузки очистного забоя (по каждой из ПУПП);
- установленную мощность нагрузки по каждой РПВ с указанием возможной связи ее нагрузки с нагрузкой рассматриваемого очистного (подготовительного) забоя или конвейерной линии.

Количество подключаемых в кабельную линию конденсаторных установок со встроенным вакуумным контактором, их единичную мощность и возможное соотношение мощностей установок, подключенных в разных точках кабельной линии, упрощенно можно определить по данным, приведенным в табл. 1 (одно-, двух- или трехступенчатая КРМ) и табл. 2 (четырёхступенчатая КРМ). Для этого необходимо знать ориентировочную (расчетную) суммарную компенсируемую реактивную мощность $Q_{\Sigma_{к.у}}$ в рассматриваемой кабельной линии и предполагаемых местах подключения КУ, а также мощность конденсаторной установки $Q_{к.у}$ уже установленной или намеченной к установке в наиболее загруженной и (или) удаленной точке рассматриваемого участка ПСЭС. Окончательно фактическая эффективность выбранных вариантов оценивается на основании расчетов электрических режимов сети до и после КРМ.

В действующих ПСЭС шахт и рудников соотношение мощности источников гармоник $S_{и.г}$, находящихся в СЭС в месте подключения конденсаторной установки к номинальной мощности трансформатора $S_{н.т}$ (кВ·А), питающего данную СЭС, не превышает 15 %, и на ближайшую перспективу не ожидается ее повышения выше 25 %. При проектировании «САС КРМ» необходимо выполнять проверку выбранного варианта размещения конденсаторных установок на отсутствие возможности возникновения резонансных режимов в ПСЭС шахты или рудника [12].

ГОРНАЯ МЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

Таблица 1

Количество подключаемых в радиально-магистральную линию УКРВ (исполнение «К»), шт.												
1	2					3						
Возможное соотношение мощностей подключаемых УКРВ (исполнение «К»)												
–	1:1		1:2		1:1:1		1:2:2		1:2:3		1:2:4	
Мощности $Q_{к.у}$ УКРВ (исполнение «К») для одно-, двух- и трехступенчатой КРМ в радиально-магистральной линии и суммарная мощность компенсации $Q_{\Sigma к.у}$, кВАр												
$Q_{к.у} = Q_{\Sigma к.у}$	$Q_{к.у}$	$Q_{\Sigma к.у}$	$Q_{к.у}$	$Q_{\Sigma к.у}$	$Q_{к.у}$	$Q_{\Sigma к.у}$	$Q_{к.у}$	$Q_{\Sigma к.у}$	$Q_{к.у}$	$Q_{\Sigma к.у}$	$Q_{к.у}$	$Q_{\Sigma к.у}$
110	110+110	220	110+225	335	110+110+110	330	110+225+225	560	110+ 225+ 330	665	110+225+450	785
135	135+135	270	135+270	405	135+135+135	405	135+270+270	675	135+270+400	805	135+270+550	955
160	160+160	320	160+320	480	160+160+160	480	160+320+320	720	160+320+500	980	160+320+640	1120
180	180+180	360	180+365	545	180+180+180	540	180+365+365	910	180+365+550	1095	180+365+730	1275
200	200+200	400	200+400	600	200+200+200	600	200+400+400	1000	200+400+600	1200	200+400+800	1400
225	225+225	450	225+450	675	225+225+225	675	225+450+450	1125	225+450+660	1335	225+450+900	1575
270	270+270	540	270+550	820	270+270+270	810	270+550+550	1370	270+550+820	1640	–	–
300	300+300	600	300+600	900	300+300+300	900	300+600+600	1500	300+600+900	1800	–	–
320	320+320	640	320+640	960	320+320+320	960	320+640+640	1600	–	–	–	–
365	365+365	730	365+730	1095	365+365+365	1095	365+730+730	1825	–	–	–	–
400	400+400	800	400+820	1220	400+400+400	1200	400+820+820	2040	–	–	–	–
450	450+450	900	450+900	1350	450+450+450	1350	450+900+900	2250	–	–	–	–
500	500+500	1000	–	–	500+500+500	1500	–	–	–	–	–	–
550	550+550	1100	–	–	550+550+550	1650	–	–	–	–	–	–
600	600+600	1200	–	–	600+600+600	1800	–	–	–	–	–	–
620	620+620	1240	–	–	620+620+620	1860	–	–	–	–	–	–
640	640+640	1280	–	–	640+640+640	1920	–	–	–	–	–	–
660	660+660	1320	–	–	660+660+660	1980	–	–	–	–	–	–
730	730+730	1460	–	–	730+730+730	2190	–	–	–	–	–	–
770	770+770	1540	–	–	770+770+770	2310	–	–	–	–	–	–
820	820+820	1640	–	–	820+820+820	2460	–	–	–	–	–	–
865	865+865	1730	–	–	865+865+865	2595	–	–	–	–	–	–
900	900+900	1800	–	–	900+900+900	2700	–	–	–	–	–	–

Таблица 2

Возможное соотношение мощностей, подключаемых УКРВ									
1:1:1:1		1:1:2:2		1:2:2:2		1:2:4:4		1:2:4:8	
Мощности УКРВ $Q_{к.у}$ и суммарная мощность компенсации $Q_{\Sigma к.у}$, кВАр									
$Q_{к.у}$	$Q_{\Sigma к.у}$	$Q_{к.у}$	$Q_{\Sigma к.у}$	$Q_{к.у}$	$Q_{\Sigma к.у}$	$Q_{к.у}$	$Q_{\Sigma к.у}$	$Q_{к.у}$	$Q_{\Sigma к.у}$
110×4	440	110×2+225×2	670	110+225×3	785	110+225+450×2	1235	110+225+450+900	2580
135×4	540	135×2+270×2	810	135+270×3	945	135+270+550×2	1505	–	–
160×4	640	160×2+320×2	960	160+320×3	1120	160+320+640×2	1760	–	–
180×4	720	180×2+365×2	1090	180+365×3	1275	180+365+730×2	2005	–	–
200×4	800	200×2+400×2	1200	200+400×3	1400	200+400+820×2	2240	–	–
250×4	1000	225×2+450×2	1350	225+450×3	1575	225+450+900×2	2475	–	–
270×4	1080	270×2+550×2	1640	270+550×3	1920	–	–	–	–
300×4	1200	300×2+600×2	1800	300+600×3	2100	–	–	–	–
320×4	1280	320×2+640×2	1920	320+640×3	2240	–	–	–	–
365×4	1460	365×2+730×2	2190	365+730×3	2555	–	–	–	–
400×4	1600	400×2+820×2	2440	400+820×3	2860	–	–	–	–
450×4	1800	450×2+900×2	2700	450+900×3	3150	–	–	–	–
500×4	2000	–	–	–	–	–	–	–	–
550×4	2200	–	–	–	–	–	–	–	–
600×4	2400	–	–	–	–	–	–	–	–
620×4	2480	–	–	–	–	–	–	–	–
630×4	2520	–	–	–	–	–	–	–	–
660×4	2640	–	–	–	–	–	–	–	–
730×4	2920	–	–	–	–	–	–	–	–
770×4	3080	–	–	–	–	–	–	–	–
820×4	3280	–	–	–	–	–	–	–	–
865×4	3460	–	–	–	–	–	–	–	–
900×4	3600	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. При подключении в радиально-магистральную линию четырех УКРВ (исполнение «К»).

Выводы. Разработанные и выпускаемые АО «ДИГ» нерегулируемые автоматически управляемые конденсаторные установки рудничные высоковольтные типа УКРВ со встроенным вакуумным контактором для ПСЭС шахт и рудников на напряжение 6 (10) кВ, автоматически включаемые и отключаемые по фактической реактивной мощности в сети, и имеющие две ступени мощности (номинальную при подключении к сети и нулевую при отключении от сети) позволяют:

- создавать в ПСЭС шахт и рудников многоуровневую систему автоматической ступенчатой КРМ (система «САС КРМ»), количество уровней и ступеней компенсации которой зависит от количества отдельных магистральных, радиальных и магистрально-радиальных линий, отходящих от ЦПП, от количества РПВ, расположенных по их длине и необходимой реактивной мощности, предназначенной для компенсации;
- при создании «САС КРМ» шахты или рудника на обозримый период времени рационально планировать, распределять и использовать финансовые ресурсы предприятия;
- отказаться от разработки и применения в ПСЭС шахт двух или трехступенчатых автоматически регулируемых рудничных конденсаторных установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров М. К. Компенсация реактивной мощности в системе подземного электроснабжения / М. К. Бочаров // Основные направления развития взрывозащищенного электрооборудования в 12-й пятилетке: семинар, окт. 1986 г.: тезисы докл. – Донецк, 1986. – С. 21.
2. Бочаров М. К. Разработка рудничных конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности в системе подземного электроснабжения шахт / М. К. Бочаров, В. А. Гвоздев // Уголь Украины. – № 9–10. – 2016. – С. 33–40.
3. Бочаров М. К. Установки конденсаторные рудничные высоковольтные типа УКРВ со встроенным вакуумным контактором / М. К. Бочаров, В. А. Гвоздев, А. М. Бочаров // Уголь Украины. – № 1–2. – 2017. – С. 35–44.
4. Лазебник Р. М. Повышение эффективности применения напряжения 10 кВ в системах электроснабжения шахт и рудников / Р. М. Лазебник, М. К. Бочаров // Высоковольтные рудничные аппараты: сб. науч. тр. ВНИИВЭ. – Донецк, 1989. – С. 33–38.
5. Груба В. И. Рудничные конденсаторные установки для систем подземного электроснабжения калийных рудников / В. И. Груба, М. К. Бочаров // Взрывозащищенные электрические машины: сб. науч. тр. ВНИИВЭ. – Донецк, 1992. – С. 137–145.
6. Бочаров М. К. Структурная схема системы автоматического управления рудничной конденсаторной установки на напряжение 6 кВ / М. К. Бочаров // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк, 2004. – С. 258–263.
7. Півняк Г. Г. Обґрунтування рівня компенсації реактивної потужності для систем підземного електропостачання шахт / Г. Г. Півняк, В. Т. Заїка, В. В. Самойленко // Доп. НАН України. – 2007. – № 4. – С. 96–103.
8. Калентионок Е. В. Об эффективности использования взрывозащищенных конденсаторных батарей в подземных системах электроснабжения / Е. В. Калентионок, Н. М. Сыч, В. Ф. Муравьев // Промышл. энергетика. – 1989. – № 4. – С. 50–52.
9. Бочаров М. К. Устройства соединительные высоковольтные взрывозащищенные / В. А. Гвоздев, С. Н. Черников, Д. В. Полянский // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк, 2011. – С. 25–32.
10. Савина Н. В. Методика оптимальной компенсации реактивной мощности в сетях распределительных компаний в условиях неопределенности / Н. В. Савина, А. А. Казакул // Вестник ИГЭУ. – Вып. 3. – 2010. – С. 1–6.
11. Арион В. Д. Компенсация реактивной мощности в условиях неопределенности исходной информации / В. Д. Арион, В. С. Каратун, П. А. Пасинковский // Электричество. – № 2. – 1991. – С. 6–11.
12. Расчет резонансных режимов в распределительных и участковых сетях шахт и рудников при подключении конденсаторных установок / М. К. Бочаров, С. Ю. Пархоменко // Донецк: ВНИИВЭ, 1983. – С. 11. – (Деп. Информэлектро, № 383ЭТ-Д83).