

УДК 621.311:621.316

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ КУЗБАССА

Непша Ф.С., ст. преподаватель кафедры ЭГиПП,  
Ефременко В.М., к.т.н., профессор кафедры ГМиК,  
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Задача регулирования напряжения в системах электроснабжения (СЭС) угольных шахт является важнейшей задачей, решение которой позволяет обеспечить нормативный уровень напряжения на зажимах электроприемников и повысить энергоэффективность функционирования СЭС. В статье [1] отмечается, что существующий алгоритм регулирования напряжения в СЭС угольных шахт не обеспечивает эффективное использование устройств регулирования напряжения. В связи с этим, значительный интерес представляет собой исследование особенностей работы технических средств регулирования напряжения в СЭС угольных шахт Кузбасса.

С этой целью авторами был выполнен анализ работы технических средств регулирования напряжения:

1. *Устройства регулирования под нагрузкой (УРПН)*. На главных понизительных подстанциях (ГПП) угольных шахт используются, как правило, двухобмоточные трансформаторы и трансформаторы с расщепленными обмотками, оснащенные УРПН.

В соответствии с п. 2.9.16 ГОСТ 24126-80 и п. 2.10.16 ГОСТ 17500-72 УРПН комплектуется устройством автоматического регулирования напряжения трансформатора (АРНТ), снабженным устройством для ручного и автоматического управления уставкой напряжения. УРПН должно иметь счетчик числа переключений, который позволяет оценивать его остаточный ресурс и планировать текущий ремонт УРПН.

В настоящее время устройства АРНТ на всех подстанциях Кемеровской области, питающих угольные шахты, переведены в неавтоматический режим, что противоречит требованиям п. 5.3.6[3] т.к. не на всех подстанциях колебания напряжения находятся в пределах, удовлетворяющих требования потребителей. Переключения ступеней регулирования УРПН выполняются вручную с проведением обязательного контроля сопротивления (процесс переключения занимает до 4-6 часов) контактов УРПН или дистанционно (процесс переключения занимает до 30 минут). Дистанционное переключение ступени регулирования УРПН осуществляется со щита управления.

Таким образом, одной из особенностей регулирования напряжения в СЭС угольных шахт Кузбасса является использование УРПН в неавтоматиче-

ском режиме, что связано с различными причинами: неудовлетворительное эксплуатационное состояние УРПН [2], отсутствие у персонала опыта по настройке устройства АРНТ, нерациональность алгоритма работы устройства АРНТ, вызывающего быстрый износ контактов, боязнь отказа УРПН. В последнем случае УРПН может не использоваться даже в дистанционном режиме, что приводит к существенной задержке при выполнении мероприятий по регулированию напряжения и исключает возможность оперативного регулирования напряжения в аварийных и послеаварийных режимах.

Стоит отметить, что эксплуатация УРПН в фиксированном положении ведет к повреждениям подвижных и неподвижных контактов вследствие увеличения переходного сопротивления из-за образования полупроводящей оксидной пленки на контактных поверхностях [2].

2. *Батареи статических конденсаторов (БСК)*. Батареи статических конденсаторов (БСК), воздействуя на баланс реактивной мощности в точке его подключения, приводят к изменению уровня напряжения.

Вследствие того, что мощность нагрузки  $Q$  изменяется в соответствии с графиком нагрузки, генерируемая реактивная мощность должна быть регулируемой. По этой причине БСК состоит, как правило, из нескольких секций конденсаторных батарей, имеющих общую систему управления. Управление такой установкой подразумевает подключение или отключение параллельных ветвей (секций), что соответствует увеличению или уменьшению суммарной реактивной мощности БСК.

По результатам анализа использования БСК в СЭС угольных шахт Кузбасса было выявлено, что БСК устанавливаются исключительно на шинах ГПП и автоматическое управление ими выполняется только по критерию обеспечения согласованного с энергоснабжающей организацией  $tg\phi$ . Поэтому при снижении напряжения ниже допустимого уровня и при обеспечении необходимого  $tg\phi$ , автоматического включения БСК не происходит. Оперативному персоналу главной понизительной подстанции приходится вручную выполнять включение ступеней БСК, что при изменении уровня напряжения в питающей сети может привести к резкому скачку напряжения на шинах 6 кВ ГПП. При этом, даже в случае использования БСК на шинах подстанции в автоматическом режиме по критерию поддержания определенного напряжения, эффект от регулирования будет незначительным, т.к. потери напряжения в шахтовой сети останутся практически неизменными. Ранее подобные решения связывались с отсутствием БСК взрывозащищенного исполнения. Однако в настоящее время выпускаются установки конденсаторные рудничные взрывобезопасного типа (УКРВ), размещение которых возможно непосредственно на подземных распределительных пунктах (РПП). Особенно актуально их применение в условиях роста энерговооруженности электроприемников в подземных выработках.

3. *Устройства ПБВ*. В СЭС угольных шахт Кузбасса устройства ПБВ используются на передвижных участках подземных подстанциях ПУПП. Число ступеней регулирования составляет  $\pm 2 \times 2,5\%$ . В процессе пере-

мещения энергопоезда положение ступени регулирования устройства ПБВ может изменяться для обеспечения нормативного уровня напряжения. При этом переключение ПБВ производится при отключенном трансформаторе и может занимать до 4 часов.

4. *Синхронные двигатели (СД).* Повышение напряжения на зажимах СД приводит к снижению его располагаемой мощности вследствие увеличения реактивной составляющей холостого хода двигателя.

Располагаемая реактивная мощность  $Q_{pc}$  и потери активной мощности  $\Delta P$  являются функциями коэффициента  $m$  загрузки статора синхронного двигателя (СД) и напряжения на его зажимах  $U$ . Потери активной мощности  $\Delta P$  также зависят от относительной величины генерируемой или потребляемой реактивной мощности  $\psi$ . Практически значения  $m$  могут изменяться от 0,05 (режим, близкий к холостому ходу СД) до 1,1 и  $\psi$  от - 0,6 (режим потребления реактивной мощности) до  $\psi_{pc}$  (относительная величина располагаемой СД реактивной мощности при рассматриваемых значениях  $U$  и  $m$ ) [4].

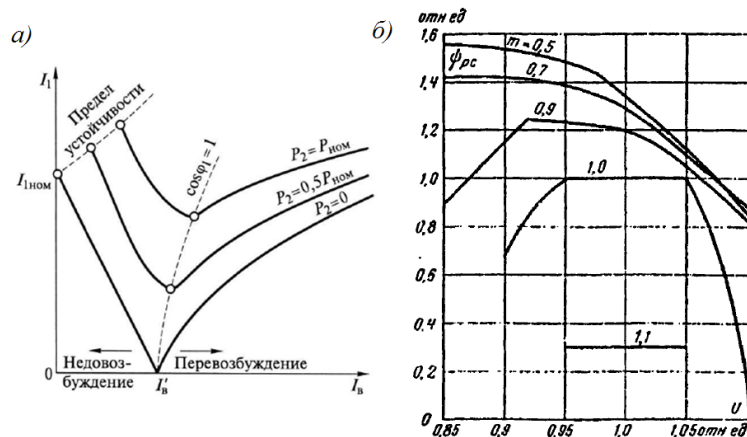


Рис. 1.  $U$ -образная характеристика (а) и

Зависимость изменения относительной величины располагаемой СД реактивной мощности (б) от напряжения на зажимах двигателя  $U$

На рис.1 (а) представлена  $U$ -образная характеристика синхронной машины. Из нее следует, что изменяя величину тока возбуждения, появляется возможность регулировать коэффициент мощности двигателя. При этом в режиме перевозбуждения СД выдает реактивную мощность в сеть, а в режиме недовозбуждения потребляет.

На рис.1 (б) представлены зависимости изменения относительной величины располагаемой СД реактивной мощности от коэффициента загрузки двигателя по активной мощности  $m$  при различных значениях напряжения на зажимах двигателя  $U$ . Для каждого типа СД эти зависимости будут отличаться по величине, но характер изменения реактивной мощности от загрузки будет аналогичным.

Таким образом, при постоянстве активной мощности СД, которая определяется его нагрузкой, регулировать реактивную мощность СД можно изменением напряжения и изменением тока возбуждения.

Отметим, что на угольных шахтах Кузбасса синхронные машины не используются для компенсации реактивной мощности и регулирования напряжения.

5. *Синхронные генераторы.* Генераторы функционируют параллельно с сетью и осуществляют выдачу электрической энергии на шины 6 кВ ГПП, питающей СЭС угольной шахты. Выдаваемая в сеть активная мощность  $P_s$ , определяется количеством энергоносителя подаваемого на турбину. Диапазон выдаваемой реактивной мощности определяется нагрузочной диаграммой генератора ( $P$ - $Q$  диаграмма) и значением тока в обмотке возбуждения генератора. Нагрузочная диаграмма характеризует собой диапазон реактивной мощности  $[Q_{min}, Q_{max}]$ , в котором может изменяться генерируемая (потребляемая) реактивная мощность для поддержания заданного напряжения на зажимах генератора.

Влияние генератора на уровень потребления активной и реактивной мощности в СЭС угольной шахты определяется его местом подключения. При подключении генератора на шины 6 кВ ГПП его влияние на потребление активной и реактивной мощностей определяется выдачей активной мощности в сеть, степенью загрузки силовых трансформаторов и его влиянием на уровень напряжения в шахтовой сети. За счет плавного регулирования выдачи реактивной мощности, генератор позволяет точно обеспечить уровень напряжения на шинах ГПП, необходимый для минимизации уровня потребления активной и реактивной мощностей.

В Кузбассе на шахте имени С.М. Кирова (АО «СУЭК Кузбасс») используются две контейнерные ТЭС на шахтном метане. Они обеспечивают шахту тепловой и электрической энергией. Номинальная мощность каждой установки составляет 1,5 МВт. Среднечасовая генерация электроэнергии составляет около 900 кВт·ч, что составляет 15% от общей нагрузки шахты.

Согласно «Долгосрочной программе развития угольной промышленности на период до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 21.06. 2014 №1099-р планируется стимулирование использования угледобывающими предприятиями отрасли возобновляемых источников энергии и развитие генерации с использованием метана угольных пластов.

Отметим, что особенностью угольных шахт, отличающей их от прочих потребителей, является наличие у них объектов жизнеобеспечения, относящихся к особой группе I категории по надежности электроснабжения, которые в соответствии с требованиями п. 1.2.19 ПУЭ должны иметь третий независимый источник питания. На шахтах Кузбасса третий независимый источник питания отсутствует, при этом вопрос его реализации является весьма важным [5].

В связи с вышесказанным, при оптимальном регулировании напряжения по критерию минимума потерь (потребления) электроэнергии целесообразно учитывать возможное присоединение генераторных установок к СЭС угольной шахты.

## **Выводы**

1. Потенциал технических средств регулирования напряжения не реализуется в полной мере.
2. Для реализации их потенциала требуется разработка алгоритма оптимального регулирования напряжения, выполняющей задачи обеспечения нормативного уровня напряжения и минимизации потребления (потерь) электроэнергии.
3. При разработке алгоритма регулирования напряжения необходимо учитывать наличие синхронных машин, которые в настоящее время практически не задействованы в регулировании напряжения в СЭС угольных шахт.

### Список литературы:

1. Непша, Ф.С. Особенности регулирования уровня напряжения в системах электроснабжения угольных шахт Кузбасса / Ф.С. Непша, В.М. Ефременко // Промышленная энергетика, 2017. № 11. – С. 16–22.
2. Непша, Ф.С. Анализ проблемы использования устройств регулирования под нагрузкой трансформаторов на подстанциях Кемеровской области / Ф.С. Непша, В.М. Ефременко // Сборник статей XLVI Международной научно-практической конференции с элементами научной школы «Фёдоровские чтения – 2017» - Москва, 2017. - 454 с.
3. Об утверждении правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации [Электронный ресурс]: приказ Министерства энергетики РФ от 19 июня 2003 г. №229. – Режим доступа: Система «Консультант плюс».
4. Сыромятников, И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / И.А. Сыромятников // М.: Энергоатомиздат. - 1984. - 240 с.
5. Кудряшов Д.С. Некоторые проблемные вопросы электроснабжения угольных предприятий Кузбасса / Д.С. Кудряшов, А.С. Ярош, О.В. Наумов // Безопасность труда в промышленности, 2014. – №8. – С. 69 – 71.