

## ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.316.016.25

В.М. Ефременко, Р.В. Беляевский, Н.В. Пономарев

### ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ СПОСОБОВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

На промышленных предприятиях большинство электроприемников наряду с активной мощностью потребляет также и реактивную. К основным промышленным потребителям реактивной мощности относятся асинхронные двигатели, силовые трансформаторы, преобразовательные установки и т. п. Вместе с тем наличие значительных перетоков реактивной мощности в электрических сетях увеличивает потери электроэнергии, снижает пропускную способность электрических сетей, а также оказывает существенное влияние на режимы напряжения [1].

Для снижения перетоков реактивной мощности в электрических сетях должна осуществляться компенсация реактивной мощности. С этой точки зрения, компенсация реактивной мощности может рассматриваться как эффективное направление энергосбережения на промышленных предприятиях. Технические мероприятия по компенсации реактивной мощности заключаются в установке компенсирующих устройств в соответствующих точках системы электроснабжения промышленного предприятия. Наибольшее распространение в качестве компенсирующих устройств в промышленных электрических сетях получили конденсаторные установки. Широкое применение конденсаторных установок обусловлено малыми удельными потерями активной мощности, простотой их монтажа и эксплуатации, возможностью размещения конденсаторных установок в любой точке электрической сети и др.

С помощью конденсаторных установок на промышленных предприятиях могут осуществляться следующие способы компенсации реактивной мощности: индивидуальная, групповая, централизованная и комбинированная [2]. Каждый из перечисленных способов компенсации имеет свои преимущества и недостатки. Осуществление индивидуальной компенсации позволяет снизить потери электроэнергии в наибольшей степени, поскольку в данном случае конденсаторные установки подключаются непосредственно к зажимам электроприемников, и вся электрическая сеть разгружается от реактивной мощности. Вместе с тем данный способ компенсации обладает существенным недостатком, а именно неполным использо-

ванием конденсаторов, т. к. одновременно с отключением электроприемников отключаются и конденсаторные установки. При групповой компенсации конденсаторные установки подключаются к распределительным пунктам электрической сети. Использование установленной мощности конденсаторных установок увеличивается, но при этом электрическая сеть до электроприемников не разгружается от реактивной мощности. При централизованной компенсации конденсаторные установки подключаются к шинам 0,4 кВ или 6 (10) кВ трансформаторной подстанции. В данном случае использование установленной мощности конденсаторных установок оказывается наиболее полным, однако, при этом все элементы электрической сети, питающейся от подстанции, не разгружаются от реактивной мощности. Кроме того, поскольку действующие в настоящее время Методические указания [3], устанавливающие повышающие (понижающие) коэффициенты к тарифам на услуги по передаче электроэнергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности, распространяются только на потребителей электроэнергии, подключенных к Единой национальной (общероссийской) электрической сети, т. е. к сетям ФСК, то это фактически делает централизованную компенсацию для промышленных предприятий экономически невыгодной. При комбинированной компенсации сочетаются централизованная или групповая компенсация с индивидуальной. Таким образом, выбор мест установки компенсирующих устройств в общем случае является оптимизационной задачей, т. е. необходимо выбрать такой вариант, который обеспечивает максимальный экономический эффект при соблюдении всех технических условий нормальной работы электрических сетей и электрооборудования.

С этой целью была рассмотрена система электроснабжения цехов одного из крупных промышленных предприятий г. Кемерово. Для данных цехов характерна большая постоянная двигательная нагрузка, присутствуют как высоковольтные, так и низковольтные асинхронные двигатели, поэтому потребление реактивной мощности по цехам в целом довольно значительное. Электро-

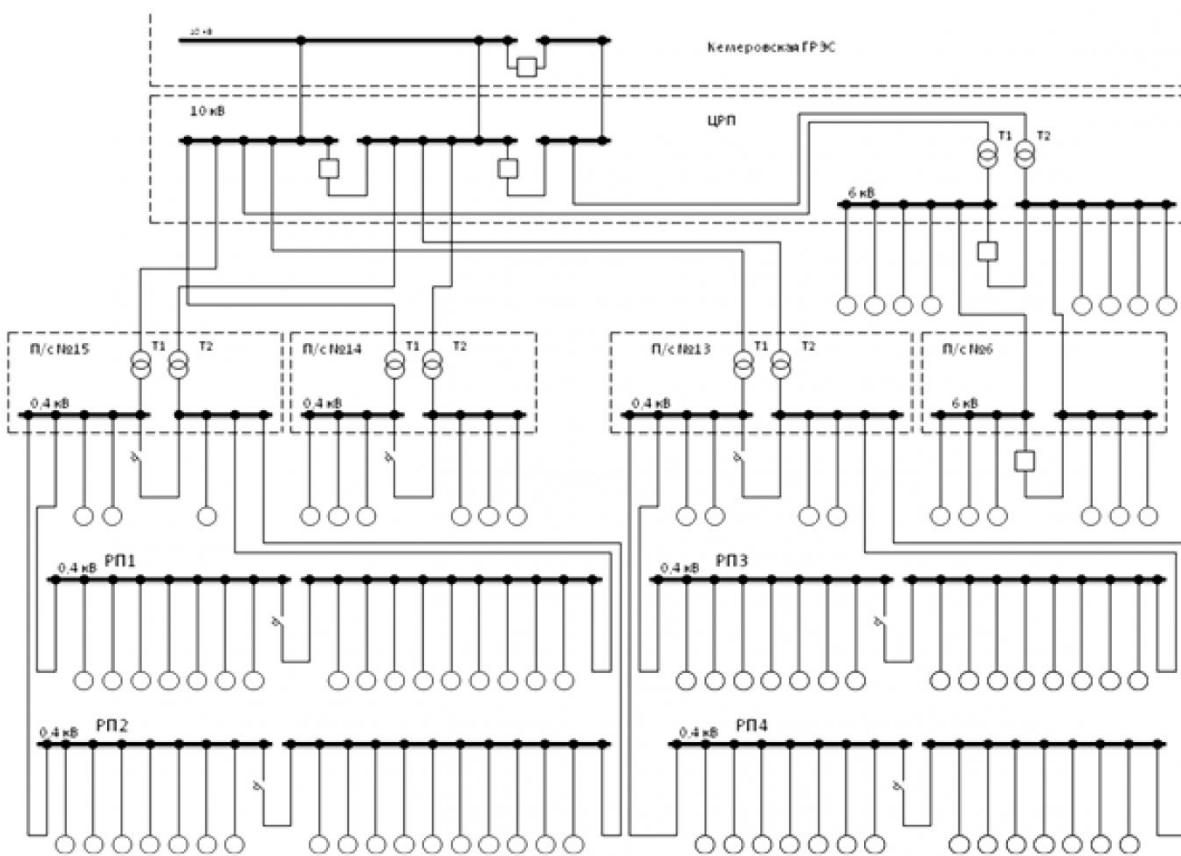


Рис. 1. Схема электроснабжения цехов промышленного предприятия

снабжение предприятия осуществляется по трем линиям электропередачи с Кемеровской ГРЭС. На центральной распределительной подстанции (ЦРП) происходит распределение электроэнергии по цеховым трансформаторным подстанциям. Схема электроснабжения цехов предприятия представлена на рис. 1.

Для выбора оптимального способа компенсации реактивной мощности в представленной электрической сети были рассмотрены несколько возможных вариантов: 1) при отсутствии компенсации реактивной мощности; 2) централизованная компенсация с подключением конденсаторных установок к шинам 10 кВ ЦРП; 3) групповая компенсация с подключением конденсаторных установок к шинам 6 кВ ЦРП; 4) групповая компенсация с подключением конденсаторных установок к шинам 0,4 кВ цеховых трансформаторных подстанций; 5) групповая компенсация с подключением конденсаторных установок к шинам 0,4 кВ цеховых трансформаторных подстанций и распределительным пунктам; 6) комбинированная компенсация с подключением части конденсаторных установок к зажимам электроприемников непосредственно, а части – к шинам 0,4 кВ трансформаторных подстанций и распределительным пунктам; 7) комбинированная компенсация, когда реактивная мощность, потребляемая электроприемниками, запитанными от шин 6 кВ ЦРП и 0,4 кВ трансформаторных подстанций, компенсируется

индивидуально, а остальная реактивная мощность – конденсаторными установками, подключенными к распределительными пунктам и шинам 6 кВ подстанции № 6; 8) комбинированная компенсация, когда реактивная мощность, потребляемая мощными электроприемниками, запитанными от шин 6 кВ ЦРП и подстанции №6, компенсируется индивидуально, а остальная часть реактивной мощности – групповым способом; 9) комбинированная компенсация, когда реактивная мощность, потребляемая электроприемниками, запитанными от шин 6 кВ ЦРП и 0,4 кВ трансформаторных подстанций, компенсируется индивидуально, а остальная реактивная мощность – конденсаторными установками, подключенными к распределительными пунктам; 10) индивидуальная компенсация. Критериями оптимизации являлись минимум потерь электроэнергии в электрической сети и минимум суммарных приведенных затрат.

Для расчета потерь электроэнергии в электрической сети и последующего определения оптимального способа компенсации реактивной мощности нами была разработана программа «Расчет потерь электроэнергии v1.0». Алгоритм программы построен на расчете технологических потерь электроэнергии по методу средних нагрузок в соответствии с требованиями Инструкции [4] и определении оптимального способа компенсации реактивной мощности, исходя из минимума потерь электроэнергии в электрической сети. В це-

лях выбора оптимального способа компенсации реактивной мощности были также проведены технико-экономические расчеты, в ходе которых для каждого из рассматриваемых способов компенсации были определены суммарные приведенные затраты. Результаты расчета потерь электроэнергии в электрической сети и суммарных приведенных затрат при различных способах компенсации реактивной мощности приведены в таблице.

Анализ полученных результатов показал, что наиболее оптимальным способом компенсации реактивной мощности для рассматриваемой электрической сети является индивидуальная компенсация, поскольку в этом случае обеспечивается минимум потерь электроэнергии. Из технико-экономических расчетов также следует, что индивидуальная компенсация является наиболее оптимальной, т. к. в данном случае суммарные приведенные затраты оказываются минимальными. Наибольшие потери электроэнергии в электрической сети и суммарные приведенные затраты имеют место при отсутствии компенсации реактивной мощности, а также в случае централизованной компенсации.

Таблица. Потери электроэнергии в электрической сети при различных способах компенсации реактивной мощности

Способ компенсации реактивной мощности	Потери электроэнергии в линиях, тыс. кВт·ч	Потери электроэнергии в трансформаторах, тыс. кВт·ч	Потери электроэнергии в КУ, тыс. кВт·ч	Суммарные потери электроэнергии, тыс. кВт·ч	Суммарные приведенные затраты, тыс. руб.
Без компенсации	456,412	113,419	0	569,832	9780,145
Централизованная	418,369	113,419	165,721	548,361	9635,06
Групповая 1	417,741	916,938	165,721	526,007	9277,728
Групповая 2	416,565	916,938	194,655	525,147	9280,948
Групповая 3	391,211	916,938	194,655	499,794	8933,846
Комбинированная 1	381,245	916,938	194,655	489,828	8803,862
Комбинированная 2	339,718	916,938	194,655	448,300	8072,859
Комбинированная 3	349,445	916,938	194,655	458,027	8262,675
Комбинированная 4	337,900	916,938	194,655	446,482	8077,486
Индивидуальная	329,751	916,938	194,655	438,334	7949,683

Вместе с тем следует отметить, что полученные результаты необходимо рассматривать лишь как первое приближение к решению задачи оптимизации выбора мест установки компенсирующих устройств. Для более точного решения данной задачи необходимо также учитывать дополнительные ограничения (по допустимым уровням напряжения в узлах сети, по режимам работы компенсирующих устройств, по устойчивости нагрузки и др.), вводя их в целевую функцию в качестве критериев оптимизации и переходя к решению задачи многокритериальной оптимизации. Многокритериальный подход позволит комплексно подходить к задаче выбора мест установки компенсирующих устройств, более точно описывать ее условия, получая тем самым решения, в наибольшей степени соответствующие реальной

задаче.

В то же время использование многокритериального подхода для решения задачи оптимизации выбора мест установки компенсирующих устройств требует проведения углубленного технико-экономического анализа. В частности, при выборе оптимальных способов компенсации реактивной мощности следует учитывать стоимость электроэнергии и сравнивать ее с затратами на компенсирующие устройства. По результатам экономического анализа можно будет определить оптимальное соотношение между реактивной мощности, потребляемой предприятием из сети энергоснабжающей организации, и реактивной мощностью, вырабатываемой компенсирующими устройствами, установленными на промышленном предприятии. Кроме того, следует учитывать график электрической нагрузки предприятия и производить выбор соответствующего оптимального способа компенсации реактивной мощности для каждой зоны графика нагрузки. В базовой части графика нагрузки наиболее оптимальной будет групповая компенсация, а при наличии высоковольтных электроприемников, подключенных непосредст-

венно к шинам 6 (10) кВ трансформаторных подстанций – централизованная компенсация. В полупиковой зоне групповая компенсация также будет наиболее оптимальной. Использование же индивидуальной компенсации будет наиболее целесообразным в пиковой зоне графика нагрузки промышленного предприятия. Режимы работы и коэффициенты использования установленного электрооборудования также могут оказывать существенное влияние на выбор оптимального способа компенсации реактивной мощности. Так, при постоянной нагрузке более выгодной будет индивидуальная компенсация, а в случае, если нагрузка будет неравномерной – групповая или комбинированная компенсация. Проведение углубленного технико-экономического анализа с последующим построением компьютерной модели системы

электроснабжения промышленного предприятия и решением задачи многокритериальной оптимизации позволит определить наиболее оптимальные способы компенсации реактивной мощности в промышленных электрических сетях.

Таким образом, выбор оптимальных мест установки компенсирующих устройств и оптимизация процесса компенсации реактивной мощности в промышленных электрических сетях в целом является на сегодняшний день актуальной практикой.

тической задачей. Оптимизация процесса компенсации реактивной мощности позволит максимально снизить потери электроэнергии в электрических сетях, обусловленные перетоками реактивной мощности, сократить расходы промышленных предприятий на электроэнергию, увеличить пропускную способность электрических сетей и будет способствовать реализации на промышленных предприятиях потенциала энергосбережения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефременко, В. М. О влиянии перетоков реактивной мощности на параметры систем электроснабжения промышленных предприятий / В. М. Ефременко, Р. В. Беляевский // Вестник КузГТУ, 2011. – № 3. – С. 60–63.
2. Константинов, Б. А. Компенсация реактивной мощности / Б. А. Константинов, Г. З. Зайцев. – Л. : Энергия, 1976. – 104 с.
3. Методические указания по расчету повышающих (понижающих) коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон по договорам об оказании услуг по передаче электрической энергии по единой национальной (общероссийской) электрической сети (договорам энергоснабжения) : утв. Приказом Федеральной службы по тарифам РФ № 219-э/6 от 31.08.2010 : ввод в действие с 31.08.2010.
4. Инструкция по организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям : утв. Приказом М-ва энергетики РФ № 326 от 30.12.2008 : ввод в действие с 30.12.2008.

□ Авторы статьи:

Ефременко  
Владимир Михайлович,  
канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,  
зав. каф. электроснабжения горных и  
промышленных предприятий КузГТУ.  
Тел. 8-904-999-0817  
E-mail: evm.kegpp@kuzstu.ru

Беляевский  
Роман Владимирович,  
– ст. преподаватель каф. электро-  
снабжения горных и промышленных  
предприятий КузГТУ.  
Тел. 8-950-584-7672  
E-mail: belaevsky@mail.ru

Пономарев  
Никита Викторович,  
студент КузГТУ (гр. ЭП-061),  
тел. 8-923-520-7741  
E-mail: nickitaponomarev  
@yandex.ru

**УДК 622:621.31.-213.34:622.86**

**В.М. Друй, Г.И. Разгильдеев**

## О СВОЙСТВАХ ПРУЖИННЫХ ШАЙБ КРЕПЕЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В соответствии с действующей нормативной документацией [1,2] все болты, винты, гайки и другие крепежные детали, применяемые в частях оболочек взрывозащищенного электрооборудования, должны быть предохранены от самопроизвольного ослабления способом, оговориваемым в технической документации. Таким способом в отечественном и зарубежном взрывозащищенном электрооборудовании признано применение разрезных пружинных шайб (прежнее название – шайбы Гровера).

Отсутствие или поломка разрезных пружинных шайб (далее РПШ) приводит в ряде случаев к невозможности обеспечить плотное прилегание взрывозащитных поверхностей взрывонепроницаемых соединений. В соответствии с "Инструк-

цией по осмотру и ревизии рудничного взрывобезопасного электрооборудования" [3] его эксплуатация при неполной затяжке хотя бы одного болта или другого крепежного элемента запрещена. Таким образом, отсутствие или поломку РПШ хотя бы у одной крепежной детали взрывонепроницаемого соединения можно считать повреждением средств взрывозащиты (СВЗ) этого электрооборудования.

Анализ состояния средств взрывозащиты рудничного взрывозащищенного электрооборудования (далее РВЗЭО) на шахтах Кузбасса показал [4], что на повреждения РПШ приходится 28 % всех зарегистрированных повреждений СВЗ РВЗЭО. Было выявлено два вида повреждений РПШ: поломка и сплющивание, в результате чего