

УДК 621.313

*Арсентьев Олег Васильевич,**к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: arsentiyevov@mail.ru**Головатюков Леонид Константинович,**обучающийся группы ЭЭ-22-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,**Ткач Денис Сергеевич, Муратов Андрей Андреевич,**обучающиеся группы ЭЭ-24-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»***КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ***Arsent'yev O.V., Golovatyukov L.K., Tkach D.S., Muratov A.A.***REACTIVE POWER COMPENSATION IN SYSTEMS POWER SUPPLY  
OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы влияния реактивной мощности на работу элементов сети электроснабжения. Проведен анализ количественных характеристик реактивной мощности. На основе сравнения номинальных и фактических данных по исследованию реактивной мощности приведены обоснованные решения по применению компенсационных устройств.

**Ключевые слова:** реактивная мощность, активная мощность, коэффициент мощности, коэффициент реактивной мощности, компенсация реактивной мощности.

**Abstract.** The article considers the issues of the influence of reactive power on the operation of elements of the power supply network. The quantitative characteristics of reactive power are analyzed. Based on a comparison of nominal and actual data on the study of reactive power, reasonable solutions for the use of compensation devices are presented.

**Keywords:** reactive power, active power, power factor, reactive power factor, reactive power compensation.

Современное производство основано на потреблении электрической энергии, которая в соответствии с технологическим процессом используется для преобразования в другие виды энергии и получения конечной продукции. Соответственно, потребляемая электроэнергия должна соответствовать требованиям как потребителей, так и энергоснабжающих компаний, т.к. именно они организуют внешнее и внутренне электроснабжение промышленных предприятий.

Одним из основных требований в электроэнергетике является соотношение активной и реактивной мощностей в полной мощности, которое принято численно выражать в виде коэффициента мощности электроустановки (отношение активной мощности,  $P$ , к полной,  $S$ ,  $\cos \varphi$ ). Эта величина выражается в относительных величинах и приближении ее к единице (стремление к численному равенству активной и полной мощностей при движении к нулю величины реактивной мощно-

сти) является приоритетным при организации системы электроснабжения. Для оценки правильности таких мероприятий требуется определить, какое негативное действие оказывает реактивная мощность на работу электроустановок, используемых для генерации, распределения и потребления электрической энергии.

Очевидно, что наибольшее влияние реактивная мощность оказывает на электроустановки, генерирующие, преобразующие и потребляющие полную мощность. В энергетике и системах электроснабжения такими устройствами являются синхронные генераторы и трансформаторы. На их работу реактивная мощность оказывает следующее негативное влияние [1-3]:

- увеличение полной мощности, и как следствие, снижение нагрузочных возможностей;
- увеличение падения выходного напряжения при номинальных нагрузках, что сни-

жает их регулировочные возможности.

Отдельно следует отметить ухудшение работы устройств, ответственных за измерение параметров электрической энергии и организацию релейной защиты. Основными элементами здесь являются измерительные трансформаторы тока и напряжения. Снижение коэффициента мощности приводит к увеличению угловых погрешностей измеряемых электрических величин в цепях переменного напряжения.

Особо негативное влияние реактивная мощность оказывает на работу электрических сетей. Перетоки мощности от генерации к потребителям проходят по протяженным линиям внешнего электроснабжения и это приводит к возникновению дополнительных потерь мощности, так называемым технологическим потерям энергии. Эти потери приводят к существенному снижению пропускной способности системообразующих, питающих и распределительных сетей, а также негативному влиянию на стабильность основных параметров качества электроэнергии [4].

Коэффициент мощности достаточно адекватно описывает характеристики электрических машин и трансформаторов. Для оценки реактивной составляющей в электрических сетях и системах принято использовать коэффициент реактивной мощности:  $tg\varphi = Q/P$ . Для энергетиков норма коэффициента жестко регламентируется. В таблице 1 приведены допустимые нормы коэффициента реактивной мощности для сетей с разным уровнем напряжения. Эти нормы определены Приказом Минэнерго № 380 от 23.06.2015.

Таблица 1. Актуальные максимальные значения коэффициента реактивной мощности в часы больших суточных нагрузок электрической сети

	Уровень напряжения в точке поставки потребителя	Максимальное значение $tg\varphi$
1	110 кВ (154 кВ)	0,5
2	35 кВ (60 кВ)	0,4
3	1-20 кВ	0,4
4	Ниже 1 кВ	0,35

Использование для оценки перетоков энергии коэффициента мощности не дает

точной информации об объемах реактивной мощности в сети. Для примера, при  $\cos\varphi = 0,95$  коэффициент  $tg\varphi$  равен 0,33 и в сети еще имеется 29,7% реактивной энергии (см. таблицу 2). Это приводит к потерям активной мощности, нагреву кабелей, увеличению выработки оборудования, риску аварий, изменению параметров качества электроэнергии и т.д.

Таблица 2. Коэффициенты мощности  $\cos\varphi$ , реактивной мощности  $tg\varphi$  и доля  $Q$  в полной потребляемой мощности  $S$

$\cos\varphi$	0,99	0,95	0,9	0,85	0,8	0,7
$tg\varphi$	0,14	0,33	0,48	0,6	0,75	1,02
Доля $Q$	13,7	29,7	39,2	44,1	48	49,9

Очевидно, что даже высокое значение коэффициента мощности полностью не устраняет наличие перетоков энергии, поэтому при выборе установки по компенсации реактивной мощности нужно использовать только коэффициент реактивной мощности и учитывать факт, что оценка ведется только по основной частоте 50 Гц без негативного влияния высших гармоник.

Обоснованный правильный выбор конденсаторной установки для компенсации реактивной мощности возможен только при точном расчете потребности сети в реактивной энергии с учетом влияния гармоник, генерирующих реактивную мощность на основной частоте синхронных двигателей, фильтров, кабельных линий и т.д., в том числе в часы пиковых нагрузок и только на основе данных энергоаудита объекта, включая полный анализ сети по всему пакету частот вплоть до 49-й гармоники.

Для ориентировочного расчета потребности в реактивной мощности рекомендуется использовать среднегодовой коэффициент спроса и паспортные (справочные) данные установленного электрооборудования.

$$P_{max} = \sum P_{ном} \cdot n \cdot K_c,$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность нагрузки одного типа (станка, двигателя),  $n$  – число нагрузок,  $K_c$  – коэффициент спроса использованного типового оборудования [5, табл. 1.6].

$$Q_{max} = P_{max} \cdot \sum tg\varphi/n,$$

где  $tg\varphi$  – коэффициент реактивной мощности нагрузки одного типа (или  $tg(\arccos\varphi)$  при

известном коэффициенте мощности загрузки [5, табл. 1.6-1.9],  $n$  – число нагрузок одного типа.  $Q_{min}$  принимается по типовому графику нагрузок для предприятия в часы минимальной активной нагрузки в процентах или долях от  $Q_{max}$  (0,5 – 0,6), в среднем:

$$Q_{min} = 0,55 \cdot Q_{max}.$$

Практический расчет потребности в реактивной мощности можно провести по фактическим значениям  $P_{\phi}$  и  $Q_{\phi}$ . Для определения этих значений на предприятии должны быть реализованы технические мероприятия:

- организована система автоматизированного учета электроэнергии на базе электронных многофункциональных счетчиков, регистрирующих текущие усредненные значения активной  $P$  и реактивной  $Q$  мощности в определенных временных интервалах;
- осуществляется энергоаудит с замерами активной  $P$  и реактивной  $Q$  мощности во время пиковых (минимальных) нагрузок.

По фактическим значениям  $P_{\phi}$  и  $Q_{\phi}$  рассчитывается коэффициент реактивной мощности, который при сравнении с необходимым (проектным или нормативным)  $tg\varphi$  покажет состояние компенсации реактивной мощности в сети. Используя показания счетчиков активной и реактивной мощности, можно определить фактическое значение коэффициента реактивной мощности.

$$tg\varphi_{\phi} = Q_{\phi}/P_{\phi} = E_q/E_w,$$

где  $E_w$  – показания счетчика активной энергии, кВт·ч,  $E_q$  – показатель счетчика реактивной энергии, кВАр·ч.

Решение по применению компенсирующих устройств принимается на основе сравнения данных по потреблению реактивной мощности при проектировании, с результатами практических измерений активной и реактивной энергии. Проектные, оценочные расчеты, приравниваются к номинальному режиму работы системы электроснабжения, при котором электроустановки потребителей соответствуют табличным характеристикам.

$$Q_{ном} = Q_{max}, P_{ном} = P_{max}, tg\varphi_{ном} = tg\varphi.$$

Решение, когда необходимо делать компенсацию реактивной мощности, принимается по значению  $\Delta P$ , которое можно определить по формуле:

$$\Delta P = P_{\phi} - P_{ном} = K_{ип} \cdot (Q_{\phi} - Q_{ном}), \quad (1)$$

где  $K_{ип}$  – коэффициент изменения потерь активной мощности, зависящий от передачи

реактивной мощности, для промышленных предприятий (когда величина его не задана энергосистемой) принимают равным 0,07 кВт/кВАр.

На рисунке 1 представлен треугольник мощности для расчета  $\Delta P$ .

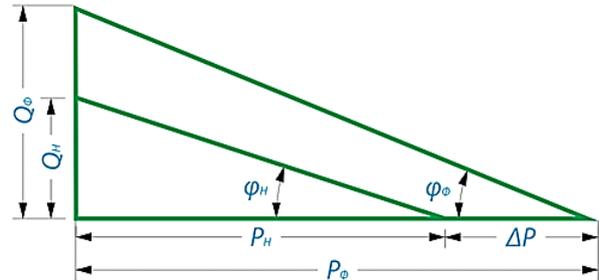


Рисунок 1 - Треугольник мощности для расчета  $\Delta P$

Выражение 1 после геометрических преобразований по рисунку 1 может быть представлено в виде

$$\Delta P = \frac{K_{ип} \cdot Q_{\phi} \cdot (tg\varphi_{\phi} - tg\varphi_{ном})}{tg\varphi_{\phi} \cdot (1 - K_{ип} \cdot tg\varphi_{ном})}.$$

Анализ выражения показывает, что при:

- $tg\varphi_{\phi} = tg\varphi_{ном}$  – отсутствует экономия оплачиваемой мощности и компенсация реактивной мощности даст только техническую выгоду в плане стабилизации параметров сети и оптимизации работы электрооборудования;
- $tg\varphi_{\phi} > tg\varphi_{ном}$  –  $\Delta P > 0$ , т.е. потребителю придется заплатить за больший объем потребляемой мощности;
- $tg\varphi_{\phi} < tg\varphi_{ном}$  –  $\Delta P < 0$ , а значит после внедрения (если таковое будет осуществлено) будет потребляться больше мощности и счета за электроэнергию вырастут.

Установка компенсационных устройств, основным назначением которых является генерация реактивной мощности емкостного характера, является обязательным элементом в системе электроснабжения промышленного предприятия. Конденсаторные батареи различного исполнения, при необходимости с возможностью регулирования генерации реактивной мощности, являются основным техническим средством компенсации и, тем самым, повышения коэффициента мощности (коэффициента реактивной мощности) в энергосистеме.

Особенности реактивной мощности, ее

влияние на работу всех элементов системы электроснабжения, являются неотъемлемым признаком теории и практики исследования энергетических систем. Для разных электроустановок целесообразно использовать свои целевые признаки достижения оптимума по

количеству реактивной мощности. По представленной методике оценки соотношений фактической и номинальной мощностей в систему можно определить целесообразность применения компенсационных мероприятий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамович, Б.Н.** Дополнительные потери активной мощности в комплексах синхронный двигатель - система возбуждения при работе их в режиме компенсатора реактивной мощности / Б.Н. Абрамович, Ю.В. Коновалов // Промышленная энергетик. 1988. № 4. – С. 55-57.

2. **Чаронов, В.Я.** Электродвигатели насосных станций как потребители-регуляторы активной и реактивной мощности/В.Я. Чаронов, А.Н. Евсеев, Б.Н. Абрамович, Ю.В. Коновалов, А.С. Логинов// Нефтяное хозяйство. 1990. № 5. – С. 9.

3. Электромеханические комплексы с

синхронным двигателем и тиристорным возбуждением / Б.Н. Абрамович, В.Я. Чаронов, Ф.Д. Дубинин, Ю.В. Коновалов. – Санкт-Петербург: Наука, 1995. – 264 с.

4. **Ершов, А.М.** Системы электроснабжения. Часть 2: Электрические нагрузки. Компенсация реактивной мощности: курс лекций / А.М. Ершов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018 – 230 с.

5. **Кабышев, А.В.** Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб. пособие / А.В. Кабышев, С.Г. Обухов. - Том. политехн. ун-т. – Томск, 2005 – 274 с.

УДК 621.311

*Арсентьев Олег Васильевич,*

*к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: arsent'yevov@mail.ru*

*Марченко Дмитрий Александрович,*

*обучающийся группы ЭЭ-23-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: d.mch@rambler.ru*

*Братейко Александр Сергеевич, Кармадонов Дмитрий Сергеевич,*

*Зайцев Станислав Александрович,*

*обучающиеся группы ЭЭ-24-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»*

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ СНІТ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Arsent'yev O.V., Marchenko D.A., Brateiko A.S., Karmadonov D.S., Zaitsev S.A.*

## THE USE OF CHINT REGULATORS TO COMPENSATE FOR REACTIVE POWER SUPPLY CAPACITIES FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES

**Аннотация.** В статье рассмотрены способы компенсации реактивной мощности. Определены основные негативные факторы, степень влияния реактивной мощности на работу электроэнергетической системы. Предложено использовать в качестве регулятора NWK1-GR-12 GB, способного удовлетворить потребности современного электрооборудования.

**Ключевые слова:** компенсация реактивной мощности, конденсаторные батареи, регулятор реактивной мощности.

**Abstract.** The article discusses methods of reactive power compensation. The main negative factors and the degree of influence of reactive power on the operation of the electric power system are determined. It is proposed to use the NWK1-GR-12 GB as a regulator, which is capable of satisfying the needs of modern electrical equipment.

**Keywords:** reactive power compensation, capacitor banks, reactive power regulator.