

Коновалов Юрий Васильевич,

к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: yrvaskon@mail.ru

Келерман Даниил Максимович,

Зайцев Станислав Александрович, Корпан Вадим Ярославович,

студенты гр. ЭЭ-24-1, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

ПРИМЕР ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

Konovalev Yu.V., Kelerman D.M., Zaitsev S.A., Korpan V.Y.

AN EXAMPLE OF OPTIMIZING THE REACTIVE POWER MODE IN THE POWER SUPPLY SYSTEM OF A COMPRESSOR STATION

Аннотация. Рассмотрен пример оптимизации режима электропотребления в системе электроснабжения компрессорной станции, показывающий, что компенсация реактивной мощности является технически и экономически обоснованным способом повышения энергоэффективности компрессорных станций и может быть рекомендована к внедрению на аналогичных объектах газотранспортной системы.

Ключевые слова: оптимизация, электропотребление, компрессорная станция, компенсация реактивной мощности, энергоэффективность.

Abstract. An example of optimizing the power consumption mode in the power supply system of a compressor station is considered, showing that reactive power compensation is a technically and economically justified way to increase the energy efficiency of compressor stations and can be recommended for implementation at similar facilities of the gas transportation system.

Keywords: optimization, power consumption, compressor station, reactive power compensation, energy efficiency.

Компрессорные станции (КС) являются ключевыми объектами газотранспортной системы, обеспечивающими транспортировку природного газа на дальние расстояния. Электроснабжение оборудования собственных нужд КС, включая системы охлаждения, маслонасосы, вентиляцию и автоматику, требует значительных затрат электроэнергии. В условиях постоянного роста тарифов на электроэнергию и необходимости повышения энергетической эффективности предприятий нефтегазового комплекса задача оптимизации систем электроснабжения КС приобретает особую актуальность.

Одним из эффективных направлений повышения энергоэффективности является компенсация реактивной мощности. Потребление реактивной мощности приводит к дополнительным потерям в питающих линиях и трансформаторах, снижению пропускной способности сети и ухудшению качества электроэнергии [1-4]. Установка устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ) позволяет разгрузить электрические сети, уменьшить потери и снизить плату за электроэнергию.

Компрессорная станция «Перегибненская» предназначена для компримирования природного газа и оснащена семью газоперекачивающими агрегатами мощностью по 32 МВт каждый. Электроснабжение собственных нужд осуществляется от двух трансформаторов ТДН-1000/110 и ТСЗГЛ-10/0,4 кВ, а также

от резервных дизельных электростанций. Для оценки текущего состояния системы электроснабжения был проведён расчёт электрических нагрузок по методике, изложенной в [5]. Исходные данные и результаты расчёта сведены в табл. 1.

Анализ полученных данных показывает, что фактический коэффициент мощности на шинах 10 кВ составляет $\cos \phi = 0,86$, что ниже оптимального значения для сетей 10 кВ (0,93 согласно [6]). Потребление реактивной мощности достигает 4376,5 квар, что создаёт значительные потери и перегрузку элементов сети.

Таблица 1

Результаты расчёта электрических нагрузок КС «Перегребненская»

Наименование узла	P_y , кВт	K_c	$\cos \phi$	$\tan \phi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
КТП-1	2125	0,65	0,85	0,62	1381,3	856,0	1625,0
КТП-2	2125	0,65	0,85	0,62	1381,3	856,0	1625,0
КТП-3	2125	0,65	0,85	0,62	1381,3	856,0	1625,0
КТП-4	2125	0,65	0,85	0,62	1381,3	856,0	1625,0
КТП (скважины)	340	0,90	0,85	0,62	306,0	189,6	360,0
КТП (береговая база)	720	0,80	0,90	0,48	576,0	279,0	640,0
КТП СН	1260	0,80	0,90	0,48	1008,0	483,8	1118,1
Итого на ПС 110/10 кВ	10820	0,69	0,86	0,59	7415,0	4376,5	8618,1

Для повышения коэффициента мощности до нормативного уровня необходимо выбрать компенсирующие устройства. Требуемая мощность компенсирующих устройств определяется по формуле [5]:

$$Q_{ку} = \alpha \cdot P_p \cdot (\tan \phi - \tan \phi_k),$$

где $\alpha = 0,9$ – коэффициент, учитывающий естественное повышение коэффициента мощности; $P_p = 7415,0$ кВт – суммарная активная нагрузка; $\tan \phi = 0,59$ – фактический коэффициент реактивной мощности; $\tan \phi_k = 0,4$ – требуемый коэффициент после компенсации, соответствующий $\cos \phi = 0,93$.

Расчёт даёт значение $Q_{ку} = 1268$ квар. Принимаем к установке две комплектные конденсаторные установки УКРМ-10,5-600 производства компании «Энергозапад» мощностью по 600 квар каждая. Технические характеристики установки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики УКРМ-10,5-600

Параметр	Значение
Номинальная мощность, квар	600
Диапазон регулирования, квар	300...600
Количество ступеней	2
Мощность ступеней, квар	300 + 300
Напряжение, кВ	10,5
Поддерживаемый коэффициент мощности $\cos \phi$	0,8...0,98

Установки оснащены автоматическим регулятором, обеспечивающим ступенчатое включение конденсаторов в зависимости от фактической реактивной нагрузки, что исключает перекомпенсацию.

После установки УКРМ расчётная реактивная мощность снижается до 2966,0 квар, полная мощность – до 7986,2 кВА. Фактический коэффициент мощности повышается до $\cos \varphi = 0,93$, что соответствует нормативным требованиям.

Оценка экономической эффективности выполнена на основе сравнения затрат на электроэнергию до и после компенсации [7]. Годовые затраты на оплату реактивной мощности определяются по формуле:

$$\mathcal{E} = 1000 \cdot Q \cdot \beta \cdot T \cdot t,$$

где Q – потребляемая реактивная мощность, квар; $\beta = 0,1$ – экономический эквивалент реактивной мощности; T – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч (принят 4,5 руб./кВт·ч); $t = 1918$ ч – годовое число часов работы оборудования.

До компенсации затраты составляли 1247,84 тыс. руб./год, после компенсации – 845,58 тыс. руб./год. Годовая экономия – 402,26 тыс. руб.

Капитальные затраты на приобретение и монтаж двух установок УКРМ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Инвестиционные затраты на внедрение УКРМ

Статья затрат	Сумма, тыс. руб.
Стоимость оборудования	400,0
Транспортировка (7 %)	28,0
Монтаж и наладка (5 %)	20,0
Прочие расходы (15 %)	60,0
Итого	508,0

Для оценки эффективности инвестиций были рассмотрены три сценария развития событий (оптимистический, реалистический, пессимистический) с соответствующими ставками дисконтирования. Результаты расчёта чистого дисконтированного дохода (ЧДД) и срока окупаемости представлены в табл. 4.

Во всех рассмотренных сценариях проект демонстрирует положительный ЧДД и приемлемый срок окупаемости, что подтверждает его инвестиционную привлекательность.

Таблица 4

Показатели эффективности проекта

Сценарий	Вероятность, %	Ставка дисконтирования, %	ЧДД, тыс. руб.	Срок окупаемости, лет
Оптимистический	10	9,5	48910,16	1,7
Наиболее вероятный	50	10,5	44344,49	1,9
Пессимистический	30	13,0	37537,68	2,3

В результате проведенного исследования установлено, что существующая система электроснабжения компрессорной станции «Перегребненская» характеризуется низким коэффициентом мощности ($\cos \varphi = 0,86$) и избыточным потреблением реактивной мощности (4376,5 квар). Для оптимизации режима работы предложена установка двух устройств компенсации реактивной мощности УКРМ-10,5-600 общей мощностью 1200 квар. Реализация предложенного мероприятия позволила повысить коэффициент мощности до 0,93; снизить потери электроэнергии в трансформаторах и линиях; уменьшить годовую плату за электроэнергию на 402,26 тыс. руб.; получить чистый дисконтированный доход от 37,5 до 48,9 млн. руб. при сроке окупаемости 1,7–2,3 года в зависимости от сценария.

Таким образом, компенсация реактивной мощности является технически и экономически обоснованным способом повышения энергоэффективности компрессорных станций и может быть рекомендована к внедрению на аналогичных объектах газотранспортной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Быстрицкий Г.Ф.** Общая энергетика: учебное пособие. – М.: Юрайт, 2019. – 416 с.
2. **Герасименко А.А., Федин В.Т.** Передача и распределение электрической энергии. – Ростов н/Д: Феникс, 2018. – 715 с.
3. **Абрамович, Б.Н.** Выбор способа пуска синхронного двигателя используемого в качестве потребителя регулятора / Б.Н. Абрамович, Д.А. Устинов, Ю.В. Коновалов // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2012. № 6. – С. 1-9.
4. **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.
5. **Закалата А.А., Бакшаева Н.С., Дерендяева Л.В.** Электроснабжение промышленных предприятий: учебно-справочное пособие. Ч.1. – Киров: ВятГУ, 2020. – 320 с.
6. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартиформ, 2014. – 64 с.
7. **Бочаров В.В.** Комплексный финансовый анализ. – М.: Юрайт, 2021. – 455 с.