

С.И. Черный, М.С. Кириченко

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

РАЗМЕЩЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОГРАНИЧЕННОГО РЕСУРСА МОЩНОСТИ БАТАРЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ

Экономические показатели работы горных предприятий существенно зависят от качества электроснабжения. Повышение эффективности функционирования электрических сетей достигается за счет улучшения качества электроэнергии и снижения ее потерь. Потери электроэнергии в значительной степени связаны с режимом реактивных нагрузок (РН). Уменьшение перетоков реактивной электроэнергии (РЭ) за счет применения средств компенсации реактивной мощности (РМ) позволяет снизить в электрических сетях до 30% нагрузочных потерь электроэнергии [1]. Наиболее простым и доступным средством для компенсации РМ есть установка батарей конденсаторов (БК). Однако в реальных условиях эксплуатации систем электроснабжения достигнутая оснащенность сетей средствами компенсации РМ значительно ниже оптимального значения [2]. В условиях современной экономической ситуации предпосылки для оптимальной компенсации РН появятся не скоро. Поэтому актуальное значение приобретает задача разработки методических подходов к снижению перетоков РЭ в условиях ограниченности мощности компенсирующих устройств, когда предприятия заинтересованы в максимальном использовании компенсирующей способности имеющихся конденсаторных установок (КУ).

В исследованиях, приведенных в работах [3, 4], рассмотрено влияние ограниченности мощности КУ на решение задачи оптимальной компенсации РМ. Ограничение мощности КУ приводит к многовариантному решению оптимизационной задачи и требует применения стохастических моделей. Однако для реальных условий эксплуатации нет методик размещения и распределения ограниченного ресурса мощности БК.

В статье ставится научная задача разработки методических подходов по размещению и распределению ограниченного ресурса мощности БК.

Потребление РМ промышленным предприятием в часы больших и малых нагрузок, как правило, определяется стационарным случайным процессом [7], который является результирующим по отношению к формирующим его реактивным нагрузкам. Математическое ожидание значения РМ, потребляемой предприятием, $\bar{Q}_\phi = \sum_1^n \bar{Q}_k$, где \bar{Q}_k – математическое ожидание потребления РМ

по n -му присоединению; n – количество присоединений. Функциональная взаимосвязь дисперсии результирующего случайного процесса с дисперсиями его составляющих более сложна и описывается выражением

$D_{\Sigma} = \sum_1^n D_n + 2 \sum q_{cs}$, где D_n – дисперсия РН n -го присоединения; q_{cs} – взаимно-корреляционные моменты индивидуальных графиков нагрузки. Для нагрузок подстанций с комплексным составом потребителей $q_{cs} \approx 0$ [7, 8].

При размещении КУ следует учитывать как особенность формирования среднего значения, так и особенность дисперсии РН, которая будет определять мощность БК, включаемых в часы пиковых нагрузок. Так, размещение части мощности КУ, которая включается в часы пиковых нагрузок (КУПК), зависит от конфигурации электрических сетей и местоположения точек расчета за электроэнергию (рис. 1). При размещении КУПК вблизи потребителей потери электроэнергии уменьшаются, но при этом коэффициент использования мощности БК ухудшается. Так, например, для того чтобы обеспечить компенсацию РМ вблизи потребителей с интегральной вероятностью 0,95 при нормальном законе распределения мощность КУПК, которая должна превышать среднее значение нагрузки,

$$Q_{P\Sigma} = 1,65 \sum_1^n G_n, \quad (1)$$

где G_n – стандартное среднеквадратическое отклонение РН n -го присоединения.

При компенсации пиков РМ в узле нагрузки (см. рис. 1, а)

$$Q_{P\Sigma} = 1,65 \sqrt{\sum_1^n G_n^2}. \quad (2)$$

При сравнении формул (1) и (2) следует отметить, что при любых значениях G_n , отличных от нуля, выражение (2) будет меньше уравнения (1). На рис. 2 приведены зависимости $Q_{P\Sigma}$ при размещении в узле нагрузки электрической сети и вблизи потребителей электроэнергии при изменении n для $G_1 \dots n$, равном 1 Мвар.

Кроме того, часть мощности БК, находящихся в узле, будут работать при более высоком напряжении, чем вблизи потребителя (см. рис. 2, кривая 3). Приведенные зависимости более пригодны для качественной оценки особенностей формирования РН в узлах сети. При реализации данного методического подхода на практике следует учесть особенности влияния реальных условий. Так, среднеквадратические значения нагрузок потребителей отличаются между собой. Для решения практических задач, как правило, используют усредненные значения РН. На формирование усредненных дисперсий влияют источники РМ с резкопеременным характером нагрузки (экскаваторы). На рис. 3 приведены результаты таких исследований, где показано на сколько % среднеквадратическое отклонение в узле меньше (δG) суммы среднеквадратических отклонений

его формирующих в зависимости от количества присоединений (n). Из зависимости видно, что при $n > 4$ оно превышает 17% и достигает 37% при $n = 9$, т.е. результаты экспериментальных исследований подтверждают обоснованность реализации приведенного подхода.

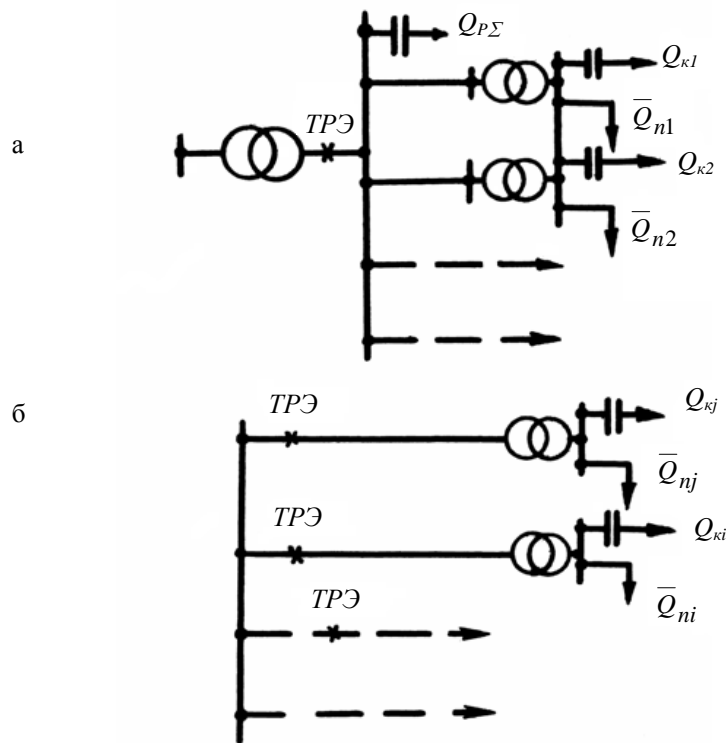


Рис. 1. Схемы электроснабжения предприятий с точками расчета за электроэнергию (ТРЭ)

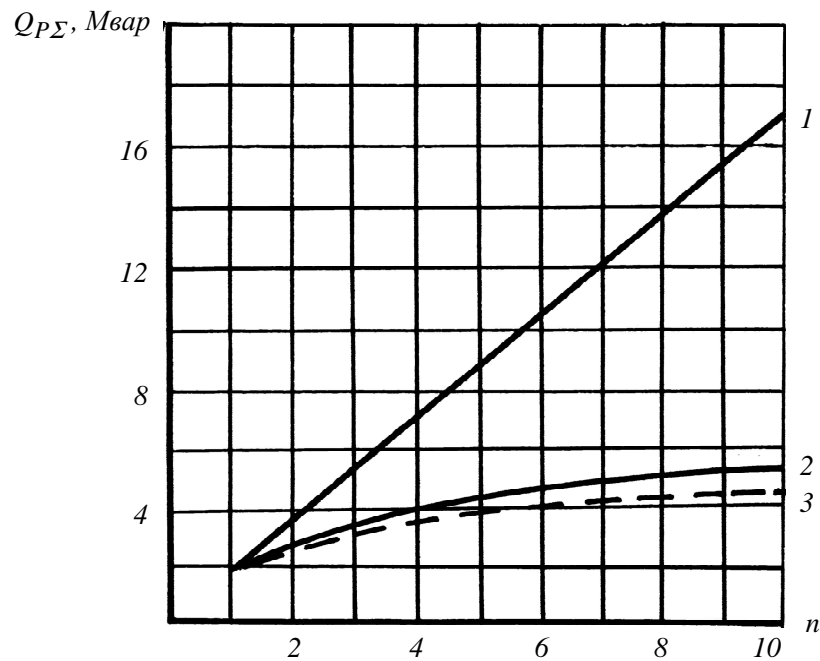


Рис. 2. Зависимости мощности БК, включаемых в часы пиковых нагрузок:
 1 – при размещении у потребителей; 2 – то же, в узле нагрузки;
 3 – с учетом более высокого напряжения в узле

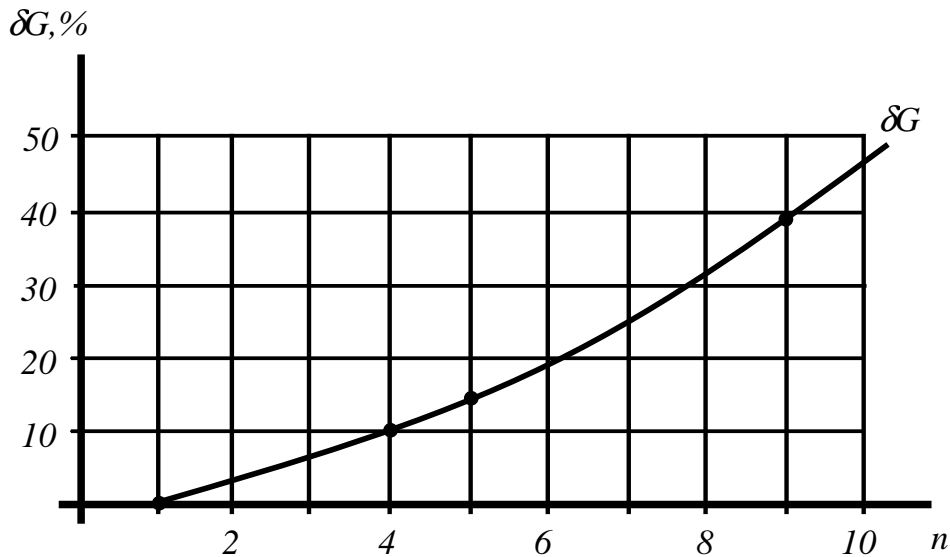


Рис. 3. Уменьшение результирующего среднеекватического отклонения по отношению к сумме его формирующих среднеекватических отклонений

Рассмотрим технико-экономические вопросы обоснования размещения включаемой в часы больших нагрузок части мощности БК. С учетом исследований, приведенных в работе [6], математическое ожидание затрат при размещении БК в узле нагрузки и вблизи потребителей можно записать следующим образом

$$\bar{Z}_{уз} = \frac{C_0}{U_{ном}^2} \{R_{эу} D_{Qy} [0,5 + \Phi(\beta_y)]\} + \quad (3)$$

$$+ (Q_{P\Sigma} Z_{ку} + Z_{ком}) (E_\Sigma + IO);$$

$$\bar{Z}_n = \frac{C_0}{U_{ном}^2} \left\{ \sum_1^n (R_{эу} + R_n) D_{Qn} [0,5 + \Phi(\beta_n)] \right\} + \quad (4)$$

$$+ (Q_{P\Sigma} Z_{ку} + n Z_{ком}) (E_\Sigma + IO),$$

где C_0 – удельная стоимость потерь мощности; $R_{эу}$, R_n – сопротивление электрической сети до узла нагрузки и сопротивление от узла до электроприемника; D_{Qy} , D_{Qn} – дисперсии РН в узле и у приемника электрической энергии; β_y и β_n – статистические коэффициенты, характеризующие интегральную вероятность компенсации РМ в узле и вблизи потребителей; $Z_{ку}$ – удельные капитальные затраты на БК; $Z_{ком}$ – капитальные затраты на коммутационную аппаратуру; E_Σ , IO – соответственно суммарный коэффициент, учитывающий отчисления на амортизацию и текущий ремонт, и коэффициент, определяемый нормой дисконта и сроком окупаемости капвложений [9]; Φ – интеграл вероятностей (функция Лапласа).

При сравнении вариантов следует учитывать не идеальность ступенчатого регулирования РМ. Последняя ступень КУ, включаемая в часы пиковых на-

грузок, позволяет экономить 25% от потерь мощности, определяемых колебанием нагрузки от минимального до максимального значения [10]. Принимая значение коэффициента формы $k_\phi = 1,18$, можно установить, что фактическая экономия на потерях мощности за счет включаемых в часы пиковых нагрузок БК $\delta P = 25\%(k_\phi^2 - 1) = 9,8\%$. Тогда условие целесообразности размещения КУПК вблизи потребителей можно записать так:

$$0,098 \frac{C_0}{U_n^2} \sum_1^n (R_{\text{эу}} + R_i) D_{Qn} [0,5 + \Phi(\beta_n)] - (E_\Sigma + IO)(n-1) \beta_{\text{ком}} > 0. \quad (5)$$

Анализ выражения (5) с учетом затрат на дополнительную коммутационную аппаратуру показывает, что при количестве присоединений более двух оно практически всегда будет меньше нуля.

Приведенные результаты исследований позволяют сделать следующие выводы. Мощность БК вблизи потребителей необходимо выбирать по среднему значению реактивной мощности, а КУПК размещать вблизи узлов нагрузки. Экономией от снижения потерь мощности за счет КУПК можно пренебречь. При этом затраты, определяемые средними нагрузками, и затраты, определяемые пиковыми нагрузками, можно оптимизировать независимо одни от других. Мощность КУПК между узлами сетей исходя из выражения (2) необходимо распределять пропорционально дисперсиям нагрузок узлов.

Дальнейшие работы в данной области могут быть продолжены при создании и исследовании алгоритмов и программ, ориентированных на использование в компьютерных системах.

Список литературы

1. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.
2. Управління енерговикористанням: Збірник доповідей / За ред. А.В. Праховника. – К.: Альянс за збереження енергії, 2001. – 268 с.
3. Железко Ю.С. О направлении исследований в области компенсации реактивной мощности // Электричество. – 1981. – №10. – С. 7-13, С. 61-76.
4. Железко Ю.С. О направлении исследований в области компенсации реактивной мощности. Дискуссии // Электричество. – 1983. – №5. – С. 58-72.
5. Кигель Г.А., Фурсов В.Д., Черный С.И. Расстановка конденсаторных батарей при ограниченности ресурсов и дефиците реактивной мощности // Изв. вузов. Электромеханика. – 1988. – №6. – С. 89-93.
6. Черный С.И. Улучшение режимов работы электрических сетей за счет снижения перетоков реактивной энергии // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2003. – Вип. 70. – С. 33-36.
7. Фокин Ю.А. Вероятностно-статистические методы в расчетах систем электроснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.
8. Фокин Ю.А., Арсамаков И.И. Экспериментальные исследования крупных городских под-

- станций с комплексным составом потребителей // Электричество. – 1972. – №10. – С. 23-28.
9. Електричні мережі систем електропостачання / Г.Г. Півняк, Г.А. Кигель, Н.С. Волотковська та ін.; За ред. акад. НАН України Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2003. – 316 с.
10. Герман Л.А. О выборе числа ступеней регулируемых конденсаторных установок сложной электрической сети // Электричество. – 1983. – №6. – С. 46-49.