

УДК 621.311

**ВЫБОР МОЩНОСТИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ
ОПТИМИЗАЦИИ УРОВНЕЙ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ
POWER SELECTION OF COMPENSATING DEVICES TO OPTIMIZE
THE LEVEL OF LOSSES IN THE ELECTRIC NETWORK**

П.Г. Барановский

Научный руководитель – М.И. Фурсанов, доктор технических наук, профессор
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
mfursanov@bntu.by

P. Baranovsky

Supervisor – M. Fursanov, Doctor of Technical Sciences, Professor
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** Одной из основных задач в электрических сетях является задача оптимизации режима и сокращения потерь мощности. Одним из решений данной задачи является применение статических конденсаторных батарей. Рассматривается оптимизация режима работы радиальной схемы электрической сети. Методом нелинейного программирования произведен расчет мощности компенсирующих устройств. Также выполнен анализ потерь активной и реактивной мощности в элементах сети.*

***Abstract:** One of the main tasks in electrical networks is the task of optimizing the mode and reducing power losses. One of the solutions to this problem is the use of static capacitor banks. Optimization of the operating mode of the radial circuit of the electrical network is considered. The nonlinear programming method was used to calculate the power of the compensating devices. The analysis of active and reactive power losses in the network elements is also carried out.*

***Ключевые слова:** оптимизация, потери мощности, батареи статических конденсаторов, метод нелинейного программирования.*

***Keywords:** optimization, power loss, capacitor banks, non-linear programming method.*

Введение

Оптимизацией режима называется задача, которая определяет процесс распределения мощностей в электрической сети по критерию оптимальности.

Управление режимами энергосистемы – это сложная комплексная задача при постоянно меняющихся нагрузок. Уменьшение потерь мощности при управлении режимами электроэнергетической системы – одна из главных целей оптимизации.

Задачи, решаемые в процессе оптимизации:

– определение оптимальной стратегии развития энергосистемы (ее проектирование или реконструкция) и отдельных объектов (выбор места расположения, мощности, установка сроков введения в работу новых электростанций, линий электропередач, подстанций);

– выбор наилучшей конфигурации электрической сети;

- распределение нагрузки между отдельными электростанциями;
- выбор стратегии, обеспечивающей лучшее использование материальных ресурсов (виды топлива и т. д.).

Во время оптимизации в возможности изменения параметров режима производят выбор таких значений параметров, которые обеспечивают меньшие общие потери активной мощности в сети или меньший общий расход условного топлива.

С целью оптимизации режима работы и снижения потерь мощности возможно использовать батареи статических конденсаторов (БСК). Помимо увеличения напряжения на шинах, уменьшения потерь в сетях, поддержания необходимого уровня напряжения, БСК позволяют поддерживать показатели качества электроэнергии.

Достоинствами конденсатора в качестве компенсатора реактивной мощности являются незначительные потери активной мощности, лежащие в пределах 0,3–0,45 кВт на 100 квар, более простая и дешевая эксплуатация, чем других компенсирующих устройств, удобство в обслуживании и относительно не большая стоимость. К основным недостаткам относится отсутствие плавного регулирования мощности, выдаваемой в сеть, выдаваемая в сеть мощность зависит от напряжения, большая вероятность выхода из строя в сетях с высшими гармониками [3].

При любом допустимом режиме должны обеспечиваться условия качества электрической энергии и надежности электроснабжения. При расчете допустимого режима условия надежности и качества учитывают по типу ограничений (равенств и неравенств) на контролируемые параметры режима.

Существует много методов оптимизации режимов энергосистемы [1]. В данной работе рассматривается метод нелинейного программирования.

Основная часть

Метод нелинейного программирования.

Общим для различных методов нелинейного программирования является то, что целевая функция – нелинейная. В свою очередь, налагаемые ограничения возможны и линейные, и нелинейные.

Задача нелинейного программирования заключается в отыскании экстремума целевой функции $\psi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ при заданных ограничениях в виде равенств и неравенств.

Методы нелинейного программирования различны. При выборе метода необходимо иметь в виду следующие факторы: надежность отыскания оптимума, скорость его достижения, удобство подготовки начальных данных, возможность учета ограничивающих параметров, наличие имеющихся алгоритмов и программ для использования метода на ЭВМ [2].

Для применения метода нелинейного программирования будем использовать схему электрической сети, изображенную на рисунке 1. Данная сеть состоит из 7 подстанций с трансформаторами Т1-Т7, мощность которых отмечена на рисунке, и 14 линий электропередач (W1-W14).

Марка и длина каждой линии электропередач указаны на рисунке 1. Нагрузки подстанций (N1-N7) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Нагрузки подстанций

№ узла	4 (N1)	7 (N2)	10 (N3)	13 (N4)	16 (N5)	19 (N6)	22 (N7)
P, кВт	150	250	250	70	65	80	160
Q, квар	80	130	130	40	35	45	72

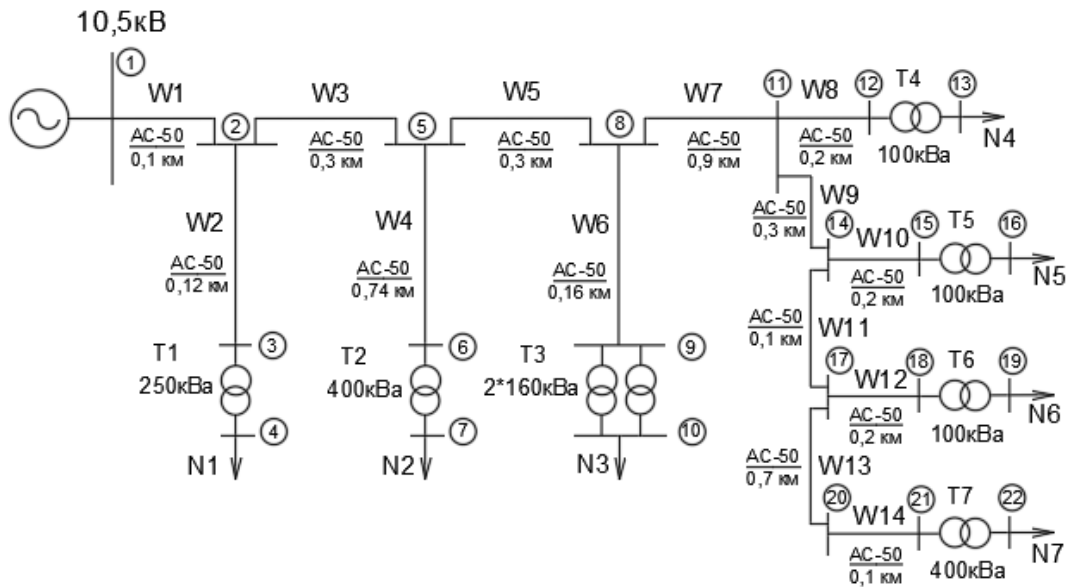


Рисунок 1 – Схема электрической сети

В местах расположения нагрузок установим компенсирующие устройства БСК1-БСК7, расчет мощности которых осуществим методом нелинейного программирования. Для этого рассмотрим участок цепи, состоящий из линий электропередач W13–W14 и нагрузки трансформатора T7 (N7). Целевая функция в этом случае будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\Sigma} = & \Delta P_{W1} + \Delta P_{W2} + \Delta P_{W3} + \Delta P_{W4} + \Delta P_{W5} + \Delta P_{W6} + \Delta P_{W7} + \\ & + \Delta P_{W8} + \Delta P_{W9} + \Delta P_{W10} + \Delta P_{W11} + \Delta P_{W12} + \Delta P_{W13} + \Delta P_{W14} + \\ & + \Delta P_{T1} + \Delta P_{T2} + \Delta P_{T3} + \Delta P_{T4} + \Delta P_{T5} + \Delta P_{T6} + \Delta P_{T7}, \end{aligned} \quad (1)$$

где ΔP_{Σ} – суммарные потери в электрической сети;

ΔP_{W_i} – потери активной мощности в i-ой линии;

ΔP_{T_j} – потери активной мощности в j-ом трансформаторе.

Потери мощности ΔP_T в трансформаторе T7:

$$\Delta P_{T7} = \frac{P_{N7}^2 + (Q_{N7} - Q_{БСК7})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{T7}, \quad (2)$$

где P_{N7} – активная мощность нагрузки N7;

Q_{N7} – реактивная мощность нагрузки N7;

$Q_{БСК7}$ – мощность БСК, установленного в месте расположения нагрузки N7;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение сети;

R_{T7} – активное сопротивление трансформатора Т7.

Тогда мощность P_T перед трансформатором Т7 будет равна:

$$P_{T7} = P_{N7} + \Delta P_{T7}. \quad (3)$$

Потери мощности ΔP_W в линии W14:

$$\Delta P_{W14} = \frac{P_{T7}^2 + (Q_{N7} - Q_{БСК7})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{W14}. \quad (4)$$

Мощность P_W в начале линии W14 равна:

$$P_{W14} = P_{T7} + \Delta P_{W14}. \quad (5)$$

Аналогично рассчитываем потери ΔP_W и мощность P_W в начале линии W13:

$$\Delta P_{W13} = \frac{P_{W14}^2 + (Q_{N7} - Q_{БСК7})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{W13}. \quad (6)$$

$$P_{W13} = P_{N7} + \frac{P_{N7}^2 + (Q_{N7} - Q_{БСК7})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{T7} + \frac{P_{T7}^2 + (Q_{N7} - Q_{БСК7})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{W14} + \frac{P_{W14}^2 + (Q_{N7} - Q_{БСК7})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{W13}. \quad (7)$$

Подставив полученные выражения в целевую функцию и продифференцировав ее по величине $Q_{БСК7}$, получим следующее выражение:

$$-2(Q_{N7} - Q_{БСК7}) \cdot R_{T7} - 2(Q_{T7} - Q_{БСК7}) \cdot R_{W14} - 2(Q_{W14} - Q_{БСК7}) \cdot R_{W13} = 0; \quad (8)$$

$$-Q_{N7} \cdot R_{T7} - Q_{T7} \cdot R_{W14} - Q_{W14} \cdot R_{W13} + Q_{БСК7}(R_{T7} + R_{W14} + R_{W13}) = 0. \quad (9)$$

Далее выразим из полученного уравнения $Q_{БСК7}$:

$$Q_{БСК7} = \frac{Q_{N7} \cdot R_{T7} - Q_{T7} \cdot R_{W14} - Q_{W14} \cdot R_{W13}}{R_{T7} + R_{W14} + R_{W13}}; \quad (10)$$

$$Q_{БСК7} = \frac{170 \cdot 3,38 + 199 \cdot 0,065 + 200 \cdot 0,455}{3,38 + 0,065 + 0,455} = 147 \text{ Мвар.}$$

Далее аналогичным образом произведем расчет для остальных участков сети с нагрузками N1-N6 для определения мощностей БСК1-БСК6.

С установкой БСК уровни напряжений на шинах потребителей повысились. Это видно из графика напряжений в узлах подключения нагрузки на рисунке 2.

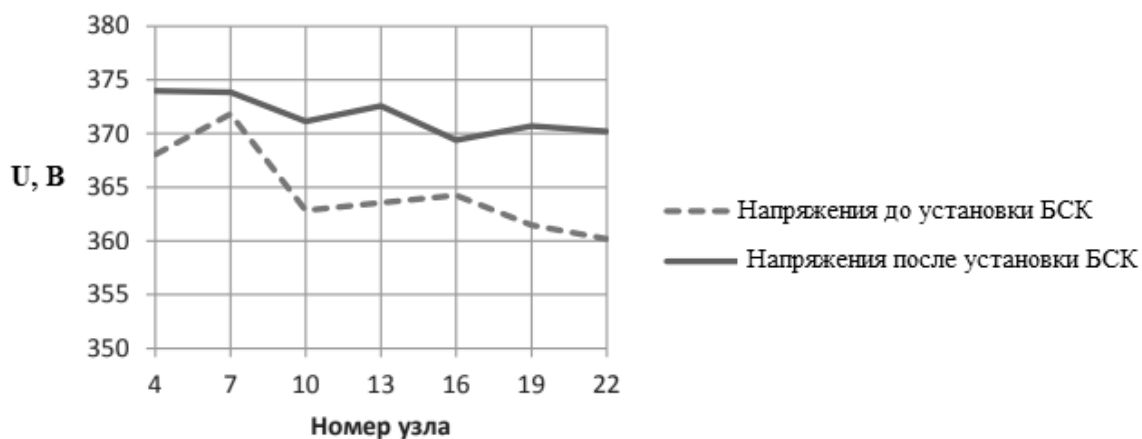


Рисунок 2 – Графики напряжения в узлах подключения нагрузки

Далее проведем анализ потерь активной ΔP и реактивной ΔQ мощности ЛЭП и трансформаторов. Результаты этого анализа представлены на графиках, изображенных на рисунке 3.

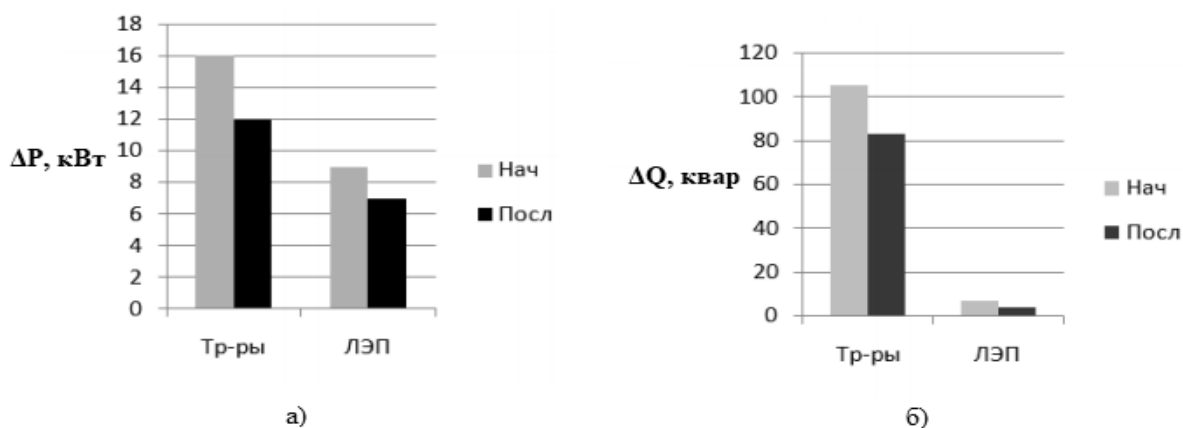


Рисунок 3 – Графики суммарных потерь мощностей для ЛЭП и трансформаторов:
 а) – активной мощности; б) – реактивной мощности

Заключение

Для распределительной сети методом нелинейного программирования были рассчитаны мощности БСК для их установки вблизи потребителей. Анализ полученных результатов показал увеличение уровня напряжения на шинах низкого напряжения подстанций и сокращение уровня потерь активной и реактивной мощностей во всей сети.

Литература

1. АСУ и оптимизация режимов энергосистем: учеб. пособие для студентов вузов / Арзамасцев Д.А., Бартоломей П.И., Холян А.М.; Под.ред. Д.А. Арзамасцева. – М.: Высш. шк., 1983. – 208 с.
2. Методы моделирования и оптимизации в задачах электроэнергетики: учеб. пособие / Сост. Л.А. Гурина. – Благовещенск, 2012. – 91 с.
3. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие/А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – Ростов-н/Д: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. – 720. (Серия «Высшее образование»).