

# АЛГОРИТМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ КАЧЕСТВА И ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

*Якубов Миржалил Сагатович, к.т.н., профессор,*

*Курбанов Ислом Бахтиёрович, ассистент,*

*Муминов Сардор Сайитмурод угли, магистр*

*Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта.*

## Аннотация

В научной статье рассмотрена задача нелинейной оптимизации на основе неопределенных множителей Лагранжа для эффективного решения повышения качества и уменьшения потерь электроэнергии.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, оптимальные режимы, целевая функция, компенсационные устройства, неопределенные множители Лагранжа.

## AN ALGORITHM OF ENERGY EFFICIENCY OF DECISIONS OF QUALITY AND LOSSES IS IN ELECTRIC NETWORKS

In the scientific article considered and task of nonlinear optimization on the basis of indefinite multipliers of Lagrange for the effective decision of upgrading and reduction of electric power.

**Keywords:** energy efficiency, optimal modes, objective function, compensative devices, indefinite multipliers of Lagrange.

Эффективность энергосбережения в электрических сетях зависит от того, насколько решена проблема соблюдения установленных показателей качества электроэнергии и потребляемой реактивной мощности на основе применения современных методов и устройств компенсации реактивной мощности, фильтрокомпенсирующих устройств и систем контроля и управления этим показателями.

В связи с развитием и углублением рыночной экономики в республике и в соответствии с энергетической стратегией на перспективу до 2030 года, становится актуальным работы по применению инновационных энергосберегающих технических решений и технологий, на которые должна быть ориентированы исследования по снижению потерь электроэнергии в распределительных сетях.

Высокий уровень потерь и низкое качество электроэнергии в распределительных сетях потребителей в основном обуславливается нижеследующими факторами:

- низкими техническими параметрами изношенных элементов сети;
- отсутствие или неполная компенсация реактивной мощности, особенно в системе насосных агрегатов, большим перепадом  $\cos\phi$  в мощных и маломощных металлургических печах, а также в электрифицируемых железных дорогах, бурно развиваемых в последнее время в республике;
- неоптимальные режимы работы;
- высокая неравномерность графиков электрических нагрузок;
- недостаток или полное отсутствие устройств, регулирующих напряжение сети;
- необоснованное повышение установленной мощности, приводящее к уменьшению КПД и  $\cos\phi$ ;
- несимметричность нагрузок;
- недостаточное финансирование на техническую модернизацию и реконструкцию распределительных сетей.

Энергоэффективными решениями повышения качества и уменьшения потерь электроэнергии, как известно, являются оптимальные режимы передачи и потребления активной и реактивной мощности при соблюдении нормируемых показателей качества электроэнергии, оптимальных показателей надежности электроснабжения, выравнивание графиков электрической нагрузки [1]. Эта цель может быть решена с помощью использования современных систем управления потреблением электроэнергии, применением автоматизированных систем учета электроэнергии, внедрением автоматических регулируемых компенсирующих устройств и др.

Комплекс вопросов, связанных с компенсацией реактивной мощности в распределительных сетях потребителей предусматривает следующие практические задачи:

- определение реактивной мощности, которую необходимо компенсировать;
- оптимальное распределение реактивной мощности по участку электрической сети.
- выбор конкретных типов технических средств компенсации реактивной мощности.

Определение оптимальных мест размещения, структура и параметры нерегулируемых компенсационных устройств (КУ) определяется с учетом критериев минимума приведенных удельных затрат и минимума активных потерь. Целевая функция минимума приведенных затрат  $Z(Y_{ку})$  содержит два слагаемых: стоимость потерь энергии в распределительных сетях и затраты на установку КУ с эксплуатационными расходами за определенный интервал времени:

$$Z(Y_{ку}) \rightarrow \min$$

$$\left. \begin{aligned} |U_1(Y_{ку})| &\leq U_{доп} \\ K_U(Y_{ку}) &\leq K_{Uдоп} \\ K_{2U}(Y_{ку}) &\leq K_{2Uдоп} \\ K_{0U}(Y_{ку}) &\leq K_{0Uдоп} \\ \cos\varphi(Y_{ку}) &\leq \cos\varphi_{доп} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $Y_{ку}$  - вектор – столбец управляемых переменных проводимостей КУ, см;  $U_{1доп}$  - текущее (допустимое) напряжение прямой последовательности в узлах распределительной сети, В;  $\cos\varphi_{доп}$  – текущее (допустимое) значение коэффициента мощности;  $K_{2U(доп)}$  – текущее (допустимое) значение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности, %;  $K_{0Uдоп}$  – текущее (допустимое) значение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности, %;  $K_{Uдоп}$  - текущее (допустимое) значение коэффициентов искажения синусоидальности кривой напряжений в узлах распределительной сети, %.

Целесообразно для математической модели распределительной сети использовать обобщенный метод узловых напряжений в матричной форме:

$$\underline{I} = Y \left( S^t \left( (SYS)^{-1} * S(Y - YE) \right) + E \right) - J, \quad (2)$$

где  $E$  – вектор – столбец комплексных ЭДС ветвей;  $Y$ - вектор – столбец комплексных узловых токов, А;  $J$  – диагональная матрица комплексных проводимостей ветвей, См;  $I$  – вектор столбец комплексных токов ветвей, А;  $S$  – матрица связи ветвей с узлами.

Алгоритм задачи определения оптимальных узлов подключения и нерегулируемых КУ состоит из следующих этапов:

1) Вводятся исходные данные технико-экономических показателей, определяющие стоимость электроэнергии и удельную стоимость КУ, нормативный коэффициент капитальных вложений, эксплуатационные расходы по техническому обслуживанию, первую и вторую матрицы инцидентности, ЭДС в узлах питания, комплексные проводимости распределительной сети, а также потребление активных и реактивных мощностей по фидера.

2) Определяются начальные значения проводимостей КУ и нагрузок, а также токораспределение для заданных входных данных

3) Оценивается целевая функция с заданными ограничениями по [1] с неизменными векторами проводимости КУ.

4) Если оптимум не достигнут, то по заданным параметрам оптимизационного алгоритма производится изменение вектора проводимости КУ и расчет повторяется до нового вектора КУ.

Место включения и параметры неуправляемых КУ применяются при неизменной нагрузке. Автоматические регулируемые КУ целесообразно применять при наличии в нагрузке по мощности более (12-15)% резко переменной нагрузки [2].

Для распределительной сети, величина суммарной мощности КУ  $Q_k$  задается какими-то техническими условиями, которую необходимо оптимальным образом распределить внутри системы электроснабжения. Эта задача является нелинейной оптимизационной задачей, решаемой, например, методом неопределенных множителей Лагранжа.

Рассмотрим такую задачу для радиальной схемы, имеющей  $p$  потребителей с реактивными мощностями  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ . У каждого  $i$ -го потребителя может устанавливаться КУ мощностью  $Q_{ki}$  (рис 1).

Подлежащая минимизации целевая функция, представляет собой потери активной мощности в схеме и имеет следующий вид:

$$\Delta P = \sum (Q_i - Q_{ki})^2 R_i / U^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

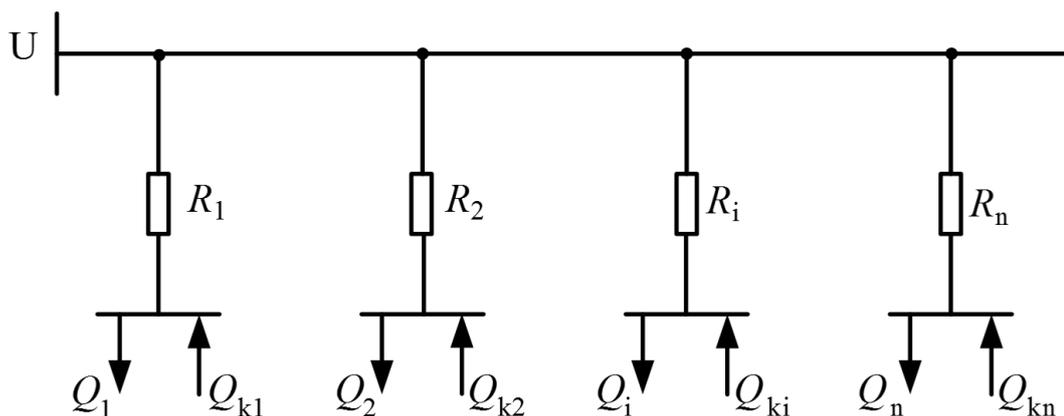


рис 1. Схема радиальной сети.

Минимум целевой функции ищем при ограничении

$$\sum_{i=1}^n Q_{ki} - Q_k = 0; \quad (4)$$

Функция Лагранжа в этом случае запишется

$$L = \sum_{i=1}^n a_i (Q_i - Q_{ki})^2 R_i / U^2 + \lambda \left( \sum_{i=1}^n Q_{ki} - Q_k \right) \rightarrow \min$$

$$a_i = R_i C_0 / U^2$$

$a_i$  - затраты на установку КУ и покрытие потерь активной мощности в схеме  
где  $z_0=0.5$  у.е/кВар;  $c_0=10$  у.е/кВар.

Для отыскания минимума функции  $L$  вычислим её частные производные и приравняем их к нулю:

$$\left. \begin{aligned} \partial L / \partial Q_{ki} &= -2P_1(Q_1 - Q_{ki}) / U^2 + \lambda = 0 \\ \partial L / \partial \lambda &= \sum_{i=1}^n Q_{ki} - Q_k = 0; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Решение системы (5) дает оптимальное распределение заданной суммарной величина КУ  $Q_k$ .

В вопросе повышения качества электроэнергии особое место занимает компенсация реактивной мощности при колебаниях графика резко переменной нагрузки, вызывающие колебания напряжения. Практика показывает что для минимизации затрат для неизменной составляющей компенсируемой мощности, применяются блочные конденсаторы – а для переменной составляющей-регулируемые конденсаторы. Установленная мощность нерегулируемых КУ принимается на основании наименьшей реактивной нагрузки в минимальной режиме.

В заключении отметим, что предлагаемый алгоритм оптимизации энергоэффективных решений по выбору места с размещения использованием метода Лагранжа может служить основой для оптимизации параметров режима по реактивной мощности и показателям качества электроэнергии в распределительных сетях [3].

### Использованная литература

1. Yakubov M.S. Energetikaning matematik masalalari. Toshkent. "Adabiyot uchqunlari", nashiryoti 2017 yil, 224 b.
2. Аллаев К.Р. Малые колебания в энергетике. Ташкент. "Фан". 2013 г. 228 с.
3. Максимов Ю.А. Алгоритм решения задач нелинейного программирования. МИФИ. 1982 г.