

*В. Зинзура*

**Методы решения задачи многокритериальной оптимизации регулирования напряжения в электрических сетях**

В статье проведен анализ существующих методов решения задач многокритериальной оптимизации, произведен выбор метода решения задачи многокритериальной оптимизации регулирования напряжения в электрических сетях, который как можно лучше учитывает требования ГОСТ 13109-97 касательно нормально допустимых значений показателей качества электроэнергии. Данный метод решения может быть положен в основу законов регулирования автоматических систем управления силовым трансформатором с бесконтактным устройством РПН, который работает в сети с изолированной нейтраллю или со схемой соединения обмоток  $\Delta/Z$  («треугольник»/«встречный зигзаг»).

*V. Zinzura*

**The justification of the solution of the problem of multicriteria optimization of voltage control in power networks**

The article analyzes the existing methods for solving problems of multiobjective optimization, selection method for solving the problem of the multiobjective optimization of the voltage control in networks, which allows for as much as possible about the requirements of GOST 13109-97 normally allowable values of quality of electric power. This solution method can be used as a basis control laws automated control systems with contactless voltage transformer load tap-changer, who work in networks with isolated neutral.

Одержано 06.04.12

**УДК 620.4+658.22**

**Ю.И.Казанцев, доц., канд. техн. наук, Р.В.Мотрой, магистр**

*Кировоградский национальный технический университет*

## **Исследование электропотребления и оптимальное размещение компенсирующих устройств в системе электроснабжения ремонтно-механического завода**

В статье показаны вывод энергетических характеристик, являющихся основой нормирования расходов электроэнергии и её рационального использования, а также экономия электроэнергии за счёт оптимального размещения компенсирующих устройств.

**энергетические характеристики, корреляционный анализ, методы оптимизации**

Рост электропотребления в промышленности предъявляет новые требования к точности и обоснованности решений различных технико-экономических и оптимизационных задач, решаемых в энергетике и связанных, в конечном итоге, с рациональным использованием электрической энергии.

Исследования в этой области заложены в работах Вейца В.И., Авилова-Карнаухова Б.Н., Ястребова П.П., Гофмана И.В., Каялова Г.М., Константинова Б.А., Волобрынского С.Д. и др.

Рациональное использование электроэнергии не является конъюнктурной задачей. Эта задача повседневной работы инженерного корпуса предприятия по экономии энергоресурсов.

В данной статье рассматриваются мероприятия по экономии электроэнергии и её рациональному использованию за счёт нормирования электропотребления и оптимального размещения компенсирующих устройств по минимуму потерь (затрат) электроэнергии.

Известно, что основой нормирования электропотребления являются энергетические балансы и энергетические характеристики. В основу вывода расчетно-опытных связей положена энергетическая характеристика вида

$$w = f(A), \quad (1)$$

где  $w$ - удельный расход электроэнергии;

$A$  - выпуск продукции.

Для учета влияния случайных факторов на основные электроэнергетические показатели целесообразно применить аппарат математической статистики, в частности, корреляционный анализ.

В качестве показателя нормирования в связи со значительной номенклатурой выпускаемой продукции принята 1000 грн. валовой продукции.

Информация по выпуску продукции и расходу электроэнергии за 57 суток получена на основе данных планово-производственного отдела и отдела главного энергетика предприятия.

Исходные данные сгруппированы в форме двойной корреляционной таблицы, которая является основной для вывода связи (1) методами математической статистики.

Таблица 1 – Двойная корреляционная таблица к выводу связи  $w = f(A)$

$A_h$ , тыс. грн											
$\omega_i$ , тыс. кВт.час	11.5	16.5	21.5	26.5	31.5	36.5	41.5	54.5	59.5	64.5	$n_i$
0.29						1	1	5	4	8	19
0.47			1	1	8	2	3	3	1	3	22
0.65			1	2	2	1					6
0.83		3	1								4
1.01		1									1
1.19		1									2
1.37		1									1
1.55											-
1.73		1									1
1.91	1										1
$n_h$	1	7	3	4	10	4	4	8	5	11	57
$\bar{w}_h$	1.91	1.11	0.65	0.74	0.51	0.47	0.47	0.38	0.33	0.34	

Для определения реальности существования и формы связи (1) находим по методике, указанной например, в [1,3] показатели статистической связи.

#### 1. Полные средние

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum n_h \cdot A_h = 38,1667$$

$$\bar{w} = \frac{1}{n} \sum n_i \cdot w_i = 0,5521$$

## 2. Стандарти

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_h \cdot A_h^2 - \bar{A}^2} = 15,902$$

$$\sigma_w = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_i \cdot w_i^2 - \bar{w}^2} = 0,344$$

## 3. Ковариация (cov)

$$\mu_{11} = \frac{1}{n} \sum n_{h,i} \cdot A'_h \cdot w'_i - \bar{A} \cdot \bar{w} = -3,5788$$

## 4. Коэффициент корреляции

$$r = \frac{\mu_{11}}{\sigma_A \cdot \sigma_w} = -0,7484$$

Коэффициент корреляции оценивается по соотношению

$|r| \cdot \sqrt{n-1} = 0,7484 \cdot \sqrt{57-1} = 5,6 > 3$ , чем определяется его значимость и реальность существования искомой связи.

## 5. Корреляционное отношение

$$\eta = \frac{\sigma_w}{\sigma_w} = 0,8936$$

Так как  $\eta > r$ , то это указывает на наличие нелинейной связи между удельным расходом электроэнергии и выпускаемой продукцией. Однако необходимо доказать, что это различие существенное, а не случайное.

Для этого находим вспомогательный критерий.

$$T_\eta = \frac{(S-2) \cdot (1-\eta^2)}{(n-S) \cdot (\eta^2 - r^2)} = \frac{(10-2) \cdot (1-0,8936^2)}{(57-10) \cdot (0,8936^2 - 0,7484^2)} = 6,956$$

где  $S$  – число строк корреляционной таблицы.

Кроме того степени свободы равны

$$K_1 = S \cdot 2 = 10 - 2 = 8$$

$$K_2 = n - S = 57 - 10 = 47$$

По таблице  $F$  – распределения находим с доверительной вероятностью равной 0,95

$$T_{\text{табл}} = 2,18$$

Так как  $T_\eta > T_{\text{табл}}$ , то это указывает на существенное различие между  $\eta$  и  $r$  и, следовательно, на наличие нелинейной корреляционной связи между удельным расходом электроэнергии  $w$  и выпускаемой продукцией  $A$ .

Теоретические исследования и практические данные позволяют предположить, что нелинейная связь (1) имеет в первом приближении форму гиперболы, а для более

широкого діапазона изменения производительности – форму гиперболического полинома вида

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_px^p, \quad (2)$$

$$\text{где } y = w; \quad x = \frac{1}{A}.$$

Далее с применением вычислительной техники решались полиномы вида (2) вплоть до десятой степени относительно  $x = \frac{1}{A}$ .

Минимальную среднеквадратичную погрешность на единицу веса искомой связи имеет уравнение второй степени:

$$w = 0,193 + 4,79A^{-1} + 169,72A^{-2} \quad (3)$$

Это уравнение и принимается для дальнейшего использования по нормированию электропотребления на предприятии и его рациональному использованию.

Одним из мероприятий по экономии электроэнергии является оптимальное размещение в электрической сети компенсирующих устройств (КУ) таким образом, чтобы в заводской электрической сети наблюдался минимум потерь электроэнергии (затрат).

Математическая формулировка задачи в этом случае примет вид :

Определить численные значения мощностей батарей конденсаторов (БК) в узлах схемы электроснабжения (управляющих переменных) , обеспечивающих минимум годовых расчетных затрат (потерь электроэнергии) при учёте ограничений, накладываемых на переменные.

$$\left. \begin{array}{l} Z(\bar{Q}) \rightarrow \min \\ B_i \geq Q_{\bar{oki}} \geq A_i, i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n Q_{\bar{oki}} = Q_{\bar{ok}\Sigma} \end{array} \right\} . \quad (4)$$

где  $\bar{Q}$  - вектор управляющих переменных

$B, A$  - соответственно нижнее и верхнее ограничения переменных в рассматриваемом узле схемы.

$Q_{\bar{oki}}$  - мощность БК в  $i$ -ом узле схемы.

В такой постановке задача оптимальной компенсации реактивной мощности является типичной задачей нелинейного математического программирования, а её целевой функцией служит функция годовых расчетных затрат  $Z(\bar{Q})$ .

$$Z(\bar{Q}) = p \sum_{i=1}^n \Delta K_i \cdot Q_{\bar{oki}} + C_0 \left[ \sum_{i=1}^n (\Delta P_{ki} \cdot Q_{\bar{oki}} + a_i Q_i + \right.$$

$$+b_i Q_i) + a_c Q_c^2 + b_c Q_c + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{(Q_{ni} - Q_i) \cdot (Q_{nj} - Q_j)}{U^2 \cdot 10^3} \cdot R_{ij}] , \quad (5)$$

где  $n$  - число узлов схемы электроснабжения в которых предполагается установка БК.

$i, j$  - индексы переменных, значения которых соответствует номерам узлов.

$$p = p_n + p_a + p_\varphi , \quad (6)$$

где  $p_n$  - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$p_a, p_\varphi$  - коэффициенты амортизационных отчислений и эксплуатационных расходов, соответственно.

$\Delta K_i$  - удельная стоимость БК в рассматриваемом узле схемы;

$Q_{\text{бк}i}$  - мощность БК в рассматриваемом узле;

$C_0$  - удельная стоимость активной мощности для данного района энергосистемы;

$\Delta P_{ki}$  - удельные потери активной мощности в БК рассматриваемого узла;

$a_c, b_c$  - постоянные коэффициенты функции дополнительных потерь активной мощности в энергосистеме при замене её эквивалентным источником реактивной мощности;

$a_i, b_i$  - коэффициенты аппроксимации кривой потерь активной мощности в синхронных двигателях рассматриваемого узла;

$Q_{n,i}$  - реактивная мощность в рассматриваемом узле схемы;

$R_{i,j}$  - собственные и взаимные сопротивления узлов схемы, приведенные к среднему напряжению высоковольтной сети.

Оценка экономической эффективности внедрения оптимального режима реактивных нагрузок производится сравнением годовых расчетных затрат при существующем и оптимальном режимах компенсации:

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_{\text{сущ}} - \mathcal{Z}_{\text{опт}} . \quad (7)$$

Решая с помощью вычислительной техники целевую функцию (5) градиентным методом получаем экономический эффект в размере 61905 кВт·час/год.

При стоимости электроэнергии в сетях до 27,5 кВ (II класс) в размере 90,76 коп/кВт·час экономический эффект в денежном выражении составляет 56185 гривен в год.

#### **Выводы:**

1. Доказаны значимость и реальность существования связи между удельным расходом электроэнергии и выпускном продукции.

2. Объединяя определения показателей статистической связи, вывод энергетических характеристик и их погрешности на ЭВМ получаем полностью автоматизированный метод исследования и нормирования электропотребления.

3. Полученная энергетическая характеристика с погрешностью не превышающей 7% может быть положена в основу нормирования электропотребления на предприятии.

4. Рациональное размещение источников реактивной мощности (БК) в системе электроснабжения ведёт к существенному уменьшению потерь активной мощности в элементах электрической сети завода.

## Список литературы

1. Казанцев Ю.И. Основная энергетическая характеристика промышленных предприятий с массовым выпуском однородной продукции. Известия СО АН СССР, № 3, 1970.
2. Казанцев Ю.И. Экономия электроэнергии в электрической сети ВАТ «ВТОРЧЕРМЕТ» за счет оптимального размещения компенсирующих устройств методом сопряженного градиента. В збірнике наукових праць КНТУ, випуск 19, Кіровоград, 2007.
3. Г.А. Соколов, И.М. Гладких. Математическая статистика. Изд. «екзамен», Москва, 2007.
4. Оптимальное распределение компенсирующих устройств в электрической сети Кировоградского ремонтного завода с целью экономии электроэнергии. Отчет по НИР, № гос. рег. 01860131009. КНТУ, Кировоград.

*Ю.Казанцев, Р.Мотрой*

**Дослідження електровжитку і оптимальне розміщення компенсуючих пристроїв в системі електропостачання ремонтно-механічного заводу**

В статті показані вивід енергетичних характеристик, які являються основою нормування витрат електроенергії і її раціонального використання, а також економія електричної енергії за рахунок оптимального розміщення компенсуючих пристроїв.

*Yu.Kzancev, R.Motroy*

**Research of electro-consumption and optimum placing of compensating devices in the system of power supply of repair-mechanical factory**

In article it is show remove enegge characteristics and economy electrical energy on the way optimization place of compensation arrangements.

Получено 24.02.12

**УДК 6П2.1-081**

**Ю.О. Єрмолаєв, доц., канд. техн. наук, Т.Г. Руденко, спец.**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Обґрунтування впровадження системи плавного пуску для привода фрез верстата СФ-АСТРА-РК8

В статті описано моделювання і дослідження пускових процесів привода ріжучого інструмента деревообробного верстата СФ-АСТРА-РК8. Визначені витрати енергії при прямому і плавному пусках, побудовані електродинамічні характеристики струму та моменту при різних вхідних параметрах ТПН, обґрунтовано доцільність використання тиристорних перетворювачів напруги та надані рекомендації щодо вибору управляючих параметрів тиристорних пускозахисних пристроїв для привода ріжучого інструмента верстата СФ-АСТРА-РК8.

**плавний пуск, тиристорний перетворювач напруги, асинхронний електропривод, ТПН-АД, моделювання**

В роботах [1, 2] надано опис електроприводів та режимів їх роботи деревообробного верстата СФ-АСТРА-РК8, відмічено, що привод кожної фрези здійснюється від нерегульованих асинхронних двигунів з коротко замкнутим ротором з прямим запуском типу АИР160S2, потужністю  $P=15$  кВт,  $n=3000$  об/хв. Зазначимо, що кожна фреза знаходиться безпосередньо на валу двигуна, причому момент інерції фрези перевищує момент інерції ротора. Прямий пуск цих двигунів через великий