

УДК 621.311.001.24

В. М. АРАКЕЛЯН

МЕТОД И АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматривается задача оптимизации режимов электроэнергетических систем с применением поисковых методов. По сравнению с классическими методами здесь не требуется определение производных от целевых функций, что улучшает условия решения практических задач. По возможности разработанный метод численного алгоритма составлена Фортран-программа для решения конкретных задач.

Табл. 1. Библиогр.: 6 назв.

Հարկման հարկման է էլեկտրաէներգետիկական համակարգի աշխատանքի ռեժիմի օպտիմիզացիան հարկման մեթոդի միջոցով: Ի տարբերություն դասական մեթոդների, այս մեթոդը չի պահանջում ածականների հանդիմանների որոշում, որը հեշտապես է ապահովում ծրագրման հարկման ճշգրիտ լուծումը: Նախատեսվում է Ֆորտրան-ընդհանուր ծրագրման ծրագրի լուծման հարկման ծրագրերը:

Задача оптимизации режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) продолжает оставаться актуальной, о чем свидетельствуют публикации последних лет [1—6]. Настоящая работа посвящена усовершенствованию модифицированного поискового метода Пауэлла и его применению для оптимизации режимов ЭЭС. Рассматривается решение следующей математической модели оптимизации режимов ЭЭС.

$$\min F(P) = \min \sum_{i=1}^n (1 - A_{im})P_m + A_{im}P_m^2) \quad (1)$$

$$\varphi(P) = \sum_{m=1}^n P_m, \quad P_m - P_m^0 \geq 0; \quad P_{m-1} \leq P_m \leq P_{m+1}.$$

где n — общее число стационарных узлов, в состав которых входят $P_m = (P_m^0, P_m^1, P_m^2, \dots, P_m^k)$ — активные мощности тепловых электрических станций; P_m^0 — активная мощность базисного узла, которая считается зависимой переменной; P_m^k — заданная суммарная мощность нагрузочных узлов; P — функция потерь активной мощности, определяемая, как $P(P_1, P_2, \dots, P_n)$; A_{im}, A_{im}, A_{im} — заданные коэффициенты аппроксимации. Целевая функция изображает сумму расходных характеристик отдельных тепловых электрических станций, зависящих от соответствующих активных мощностей. Нетрудно заметить, что в выражение целевой функции входит также расходная характеристика базисного стационарного узла.

Поиск оптимального значения целевой функции начинается с выбора базового вектора активной мощности $P^0 = (P_1^0, P_2^0, P_3^0, \dots, P_n^0)$

таким образом, чтобы его компоненты оказались в области их существования. Для установления вектора активных мощностей, удовлетворяющего требуемым условиям, выбирается так называемое направляющее движение, составляющие которого $d_1^0, d_2^0, d_3^0, \dots, d_C^0$ параллельны координатным осям. В данном случае принимаем

$$d^0 = \left(\frac{1}{\sqrt{C}}, \frac{1}{\sqrt{C}}, \dots, \frac{1}{\sqrt{C}} \right).$$

Введем новые переменные $P_{\alpha, m}$ ($m = 0, 1, 2, \dots, C$), определяемые на основании соотношения

$$P_{\alpha, m} = \frac{P_m - P_{m, \min}}{P_{m, \max} - P_{m, \min}}, \quad (2)$$

откуда

$$P_m = P_{\alpha, m} (P_{m, \max} - P_{m, \min}) + P_{m, \min}. \quad (3)$$

Совместное решение (1) и (3) дает

$$F(P_\alpha) = \sum_{m=0}^C (B_{0m} + B_{1m} P_{\alpha, m} + B_{2m} P_{\alpha, m}^2). \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} B_{0m} &= A_{0m} + A_{1m} P_{m, \min} + A_{2m} P_{m, \min}^2, \\ B_{1m} &= A_2 (P_{m, \max} - P_{m, \min}) (A_{1m} + A_{2m} P_{m, \min}), \\ B_{2m} &= A_{2m} (P_{m, \max} - P_{m, \min})^2. \end{aligned}$$

Можно заметить, что B_{0m} , B_{1m} и B_{2m} также являются известными числовыми коэффициентами. Путем проведения последовательных одномерных поисков, начиная с точки P_α^0 , по направлению d^0 шаг оптимизации α^0 определяется таким образом, чтобы функция

$$F(P_\alpha^0 + \alpha^0 d^0), \quad (5)$$

принимая минимальное значение, не нарушала ограничения, налагаемые на режимные параметры.

Из условия минимума (5) определяем выражение

$$\alpha_0 = - \frac{2 \sum_{m=0}^C B_{1m} P_{\alpha, m}^0 d_m^0 + \sum_{m=0}^C B_{2m} d_m^0}{2 \sum_{m=0}^C B_{2m} (d_m^0)^2}. \quad (6)$$

В результате устанавливаем необходимую точку

$$P_{\alpha, 1}^0 = (P_{\alpha, 11}^0, P_{\alpha, 12}^0, \dots, P_{\alpha, 1C}^0), \quad (7)$$

где $P_{\alpha, 1}^0 = P_\alpha^0 + \alpha^0 d^0$, т. е. величина шага α^0 , выбирается таким образом, чтобы обеспечивалось условие $F(P_{\alpha, 1}^0) < F(P_\alpha^0)$.

Затем переходим к организации первой итерации, а полученные результаты используем для перехода ко второй итерации и т. д. Не останавливаясь подробно на каждой итерации, рассмотрим лишь K -ую итерацию для n -ой координаты. При этом величины $a_{1,n}^{(K)}$ и $a_{2,n}^{(K)}$ необходимо определить таким образом, чтобы целевая функция $F(P_{w,n}^{(K)})$ принимала минимальное значение по направлению

$$d_n^{(K)} = [d_{n,1}^{(K)}, d_{n,2}^{(K)}, \dots, d_{n,C}^{(K)}], \quad (8)$$

где

$$P_{w,n}^{(K)} = P_{w,0}^{(0)} + a_{2,n}^{(K)} d_n^{(K)}.$$

Компоненты вектора направления $d_n^{(K)}$ определяются с помощью следующих выражений:

$$d_n^{(K)} = \frac{P_{w,n}^{(K-1)} - P_{w,n}^0}{A_n^{(K)}}, \quad n = 1, 2, \dots, C; \quad (9)$$

$$a_{n,n}^{(K)} = \frac{(P_{w,n}^{(K-1)} + a_{1,n}^{(K)}) - P_{w,n}^0}{A_n^{(K)}}, \quad (10)$$

где

$$A_n^{(K)} = \sqrt{(P_{w,1}^{(K-1)} - P_{w,1}^0)^2 + (P_{w,2}^{(K-1)} - P_{w,2}^0)^2 + \dots + (P_{w,n}^{(K-1)} - P_{w,n}^0)^2 + (P_{w,n}^{(K-1)} + a_{1,n}^{(K)} - P_{w,n}^0)^2 + \dots + (P_{w,C}^{(K-1)} - P_{w,C}^0)^2}.$$

Установлено, что

$$a_{1,n}^{(K)} = z^0 (0,618)^{K-1}, \quad (11)$$

где z^0 определяется с помощью выражения

$$z^0 = \frac{2 \sum_{m=0}^K B_{2m} P_{w,n}^{(K)} d_{n,m}^{(K)} + \sum_{m=0}^K B_{1m} d_{n,m}^{(K)}}{2 \sum_{m=0}^K B_{1m} (d_n^{(K)})},$$

которое получается из условия минимума целевой функции на K -ой итерации. Разумеется, что при каждой итерации проверяется строгая обеспеченность условия

$$F(P_{w,n}^{(K-1)}) < F(P_{w,n}^{(K)}). \quad (12)$$

Процесс поиска минимального значения целевой функции считается завершенным, когда обеспечивается условие

$$|F(P_{w,n}^0 + a_{2,n}^{(K-1)} d_n^{(K-1)}) - F(P_{w,n}^0 + a_{2,n}^{(K)} d_n^{(K)})| \leq \varepsilon, \quad (13)$$

где ε — заданное положительное число и характеризует точность решения поставленной задачи.

Пример расчета. Для иллюстрации предложенного метода рассмотрим схему замещения одной электрической системы, состоящей из де-

сяти узлов, относительно которых исходная информация приведена в таблице. После замены переменных численная математическая модель принимает вид

$$\begin{aligned} \min F(P_w) = \min & [(2,7P_{w0}^2 + 94,41P_{w0} + 6,89) + (20P_{w5}^2 + 51,35P_{w5} + \\ & + 4,16) + (42,5P_{w9}^2 + 18,45P_{w9} + 3,25)] + \\ & 300P_{w0} + 250(P_{w5} + P_{w9}) - 589,48, \\ 0 \leq P_{w0} \leq 1, \quad 0 \leq P_{w5} \leq 1, \quad 0 \leq P_{w9} \leq 1. \end{aligned}$$

Имеем две независимых (P_{w5}, P_{w9}) и одну зависимую переменную (P_{w0}). Результаты оптимизационного поиска, обеспечивающего решения с точностью 0,01, налагаемые на целевую функцию, приводятся в таблице. Несмотря на то, что метод является неклассическим и имеет постоковый характер, тем не менее обеспечивается хорошая сходимость при численном решении рассматриваемой задачи. Следует отметить, что аналогическое явление было обнаружено и при решении более сложных задач.

Таблица

№ итер.	Режимные параметры						Целевая функция
	P_{w0} , МВт	Q_{w0} , Мвар	P_{w5} , МВт	Q_{w5} , Мвар	P_{w9} , МВт	Q_{w9} , Мвар	
1	189,302	90,651	189,613	94,255	214,166	234,816	170,796
2	180,302	90,651	189,012	94,255	224,166	234,816	170,7200
3	187,238	94,164	187,575	93,539	214,616	225,808	170,6810
4	197,288	96,164	187,575	93,539	214,616	225,808	170,6802
5	192,215	96,578	185,970	92,738	221,419	225,188	170,6800
6	189,409	95,230	186,934	91,218	213,137	227,323	170,6791
7	191,177	96,119	186,319	92,912	211,984	226,091	170,6600
8	191,177	96,119	186,319	92,912	211,98	226,091	170,6600

ЛИТЕРАТУРА

- Горинштейн В. М. и др. Методы оптимизации режимов энергосистем — М.: Энергия, 1981. — 336 с.
- Хачагрян В. С. Метод и алгоритм оптимизации режимов больших энергосистем // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1973. — № 4. — С. 21—31.
- Хачагрян В. С. Метод расчета оптимального режима энергосистем с тепловыми станциями при учете режимных ограничений // Электричество — 1971. — № 2. — С. 10—14.
- Хачагрян В. С., Балабекян М. А. К теории оптимизации режимов больших электроэнергетических систем // Электричество — 1980. — № 10. — С. 78—82.
- Химмельблау Э. Н. Прикладное нелинейное программирование. — М.: Мир, 1975. — 534 с.
- Dommel H. W., Tinney W. F. Optimal power flow solutions, IEEE Trans. on PAS. — 1968. — Vol. PAS 87, N. 10. — P. 1866—1877.

ЕРПИ им. К. Маркса

15. V. 1989