

К. ЯАНИМЯГИ

## МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА (ТЭБ) РАЙОНА

К. JAANIMÄGI. RAJOOONI KÜTUSE-ENERGIABILANSI OPTIMEERIMISE MEETOD

К. JAANIMÄGI. OPTIMIZATION METHOD OF THE REGIONAL FUEL ENERGY BALANCE

(Представлена И. Эпиком)

Исследование ТЭБ района начинается с определения и упорядочения целей оптимизации. Главными целями функционирующего топливно-энергетического комплекса (ТЭК) являются экономически целесообразное расходование имеющихся ресурсов, надежное обеспечение ими потребителей и сведение до минимума вредного воздействия ТЭК на другие системы и окружающую среду. Многоцелевой подход предполагает сравнение различных сочетаний допустимых решений и выбор из них экономически наиболее эффективного. С этой целью вводится система показателей, количественно определяющих цель. Допустимые решения удовлетворяют ограничениям, отвечающим нормативным характеристикам района ТЭБ.

Исходная математическая модель ТЭБ района имеет вид

$$f_1(\bar{x}) = E \left( \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^m c_{il} x_{il} \right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$f_2^k(\bar{x}) = E \left( \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^m a_{il}^k x_{il} \right) \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$f_3(\bar{x}) = E \left( \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^m \chi_{il} x_{il} \right) \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$f_4(\bar{x}) = E \left( \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^m q_{il} x_{il} \right) \rightarrow \min \quad (4)$$

при  $\bar{x} = \{x_{il}\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $l = \overline{1, m}$ , принадлежащем области  $D$ , задаваемой неравенствами

$$P \left( \sum_{i=1}^n \eta_{il} x_{il} \geq Q_l \right) \geq \alpha_l, \quad (5)$$

$$P \left( \sum_{i=1}^n a_{il}^k x_{il} \leq Y_l^k \right) \geq \gamma_l^k, \quad k = \overline{1, K}, \quad (6)$$



$$\sum_{l=1}^m x_{il} \leq x_i. \quad (7)$$

Здесь  $f_1(\bar{x})$  — суммарные приведенные затраты ТЭК,  $f_2^k(\bar{x})$  — суммарные выбросы  $k$ -го загрязняющего вещества в район ТЭК,  $f_3(\bar{x})$  — суммарные людские ресурсы ТЭК,  $f_4(\bar{x})$  — техническая ненадежность ТЭК,  $q_{il}$  — вероятность выхода установки  $l$ -го потребителя при сжигании  $i$ -го топлива. Остальные параметры и переменные задачи (1)–(7) описаны в [1].

Условие (6) вводится для случая превышения предельно допустимых выбросов отдельных потребителей при общем благополучном состоянии окружающей среды в районе. Согласно методу, изложенному в [2], область (5) — (7) может быть описана системой детерминированных неравенств. Решение задачи (1) — (7) включает в себя шесть этапов:

1. Сведение критериев  $f_1 - f_4$  к безразмерным величинам.
2. Нахождение вектора идеальных решений  $f^{\text{ид}} = (f_1^{\text{ид}}, f_2^{\text{ид}}, f_3^{\text{ид}}, f_4^{\text{ид}})$ , где  $f_j^{\text{ид}}$  ( $j = 1, 4$ ) — оптимальное значение целевой функции  $f_j$  на области (5) — (7).
3. Получение  $m \geq 4$  допустимых решений  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_m$ .
4. Группировка их по признаку предпочтительности:  $\bar{x}_1$  предпочтительнее  $(\{\})\bar{x}_2$ , если оно наименее удалено от идеального решения. Пусть  $\bar{x}_1 \{ \bar{x}_2 \{ \dots \{ \bar{x}_m$ .
5. Нахождение весовых коэффициентов  $\lambda_j$  таких, что  $\Phi(\bar{x}) = \sum_{j=1}^4 \lambda_j f_j(\bar{x})$ ;  $\sum_{j=1}^4 \lambda_j = 1$ , исходя из принципа аддитивной полезности (отметим, что для этой цели пригоден и алгоритм метода наименьших квадратов). Для этого решается задача  $\Phi(\bar{x}_1) < \Phi(\bar{x}_2) < \dots < \Phi(\bar{x}_m)$  при  $\sum_{j=1}^4 \lambda_j = 1$ , которая эквивалентна задаче линейного программирования

[illegible]

где  $a_{ij}$  — конкретные числа,  $\sum_{j=1}^4 \lambda'_j = (1/v) \sum_{j=1}^4 \lambda_j = 1/v$  и  $v$  — число, гарантирующее положительность всех элементов  $\{a_{ij}\}$ . Искомые  $\lambda_i$  находятся из выражения  $\lambda_i = \lambda'_i / \sum_{i=1}^4 \lambda'_i$ .

6. Получение оптимального решения исходной задачи оптимизации ТЭБ района путем определения  $\min \Phi(\bar{x})$  при  $\bar{x}$ , удовлетворяющем ограничениям соответствующей многоцелевой задачи.

Однако решение, оптимальное в смысле единого суммарного критерия  $\Phi$ , может и не быть таковым по ряду частных критериев. В этом случае окончательный выбор должны сделать эксперты или лицо, принимающее решение (ЛПР).

Задача агрегации нескольких критериев в один глобальный может решаться итеративным методом. Алгоритм решения включает в себя также шесть этапов:



I. Сведение критериев  $f_1 - f_4$  к безразмерным величинам.

II. Построение области Парето [1] многоцелевой задачи оптимизации ТЭБ района.

III. Оптимизация критерия  $\Phi(\bar{x})$  на области ограничений исходной задачи. Массив  $\{\lambda_j\}$ , фигурирующий в выражении для функционала  $\Phi(\bar{x})$ , получается в результате выделения из области Парето решения, наименее удаленного от идеального. Обозначив его через  $\bar{x}_1$ , находим  $f(\bar{x}_1) = \{f_j(\bar{x}_1)\}$ ,  $j = \overline{1, 4}$ .

IV. Перед ЛПР ставится вопрос — все ли критерии  $f_j(\bar{x}_1)$ ,  $j = \overline{1, 4}$ , имеют удовлетворительное значение? [3]. ЛПР сравнивает вектор  $f(\bar{x}_1)$  с вектором  $f^{\text{пл}}$ . В случае положительного ответа решение окончательно, т. е. вектор  $f(\bar{x}_1)$  есть искомый результат. В противном случае ЛПР выделяет критерий, который имеет наименее удовлетворительное значение, и уступку  $\Delta f_j$ , допускающую увеличение значения этого критерия.

V. В область допустимых значений исходной задачи вводится ограничение  $f_j(\bar{x}) \leq f_j^{\text{пл}} + \Delta f_j$ . На полученной области, которую обозначим через  $D_1$ , процедура повторяется вновь, начиная с этапа I. В результате определяем вектор  $f(\bar{x}_2)$ .

VI. Перед ЛПР ставится вопрос — допустимо ли ухудшение качества какого-либо критерия при переходе от вектора  $f(\bar{x}_1)$  к вектору  $f(\bar{x}_2)$ ? Если нет, ЛПР изменяет значение  $\Delta f_j$ , и процедура повторяется, начиная с этапа V. Пусть  $\Delta f_j^{\text{н}}$  — искомое значение уступки и  $\bar{x}^{\text{н}}$  — соответствующий ей оптимальный план исходной задачи. Если все значения  $f_i(\bar{x}^{\text{н}})$ ,  $i = \overline{1, 4}$ , удовлетворяют предпочтениям ЛПР, то процесс заканчивается, в противном случае он повторяется, начиная с этапа IV.

Отметим, что вид обобщенного критерия  $\Phi(\bar{x})$  выдает каждому району центральная система. Эта система соблюдает свои интересы при выборе оптимального компромиссного решения из области Парето и при задании критерия такого выбора.

Итак, оптимизация ТЭБ зависит от множества различных факторов развития энергетического хозяйства района. Для учета этих факторов эффективны методы многоцелевого программирования, среди которых в вычислительном отношении просты приближенные методы. Достижение необходимого качества каждого критерия обеспечивается применением человеко-машинных процедур. Разработанный метод опробован на ЭВМ ЕС-1022.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Яанимяги К. Э., В сб.: Учет неопределенности исходной информации при оптимизации энергетического хозяйства экономического района, Таллин, Изд. АН ЭССР, 1978, с. 159—163.
2. Яанимяги К. Э., В сб.: Определение перспектив развития энергетического хозяйства экономического района, Таллин, Изд. АН ЭССР, 1977, с. 171—179.
3. Бенайюн Р., Ларичев О. И., Монгольфье Ж., Терни Ж., Автоматика и телемеханика, № 8, 108—115 (1971).

Институт термофизики и электрофизики  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
8/IV 1979