ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXII, 4, 1969 Серия технических наук

ТЕПЛОТЕХНИКА

Д. М. БАБАЯН

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА КОТЕЛЬНОЙ ГРУППЫ ТЭС ПРИ ЗАДАННОМ РАСХОДЕ ОДНОГО ИЗ ВИДОВ ТОПЛИВА

1. В эксплуатационных условиях часто возникает необходимость оптимизации режима котельной группы ТЭС при заданном расходе газа на станции. Подобная задача была решена В. М. Синьковым [1]. В основу построения алгоритма по наивыгоднейшему распределению нагрузки в котельных, работающих на двух видах топлива, был положен классический метод отыскания условного экстремума целевой функции, сводящийся к решению системы нелинейных алгебраических уравнений $4n$ степени, где n — число котлоагрегатов. Реализация этого алгоритма на АЦМ встречает ряд трудностей. Во-первых, при некоторых значениях соотношения газа в смеси ε и неопределенного множителя Лагранжа β, определяемого заданным балансом расхода газа, характеристики относительных приростов расхода смеси топлив становятся немонотонными. Это обстоятельство делает особенно неблагоприятным приложение классического анализа, так как получаемая в подобных случаях многозначность решения становится почти непреодолимым препятствием на пути реализации метода. Во-вторых, возникают значительные осложнения, связанные с учетом ограничений по ε. В-третьих, при большом числе котлов, установленных на станции, оптимизация режима котельной с учетом ограничений по топливу сводится к решению системы нелинейных алгебраических уравнений довольно высокого порядка, что само по себе представляет значительные трудности вычислительного характера. Перечисленные недостатки классического метода явились определяющими для изыскания новых математических средств, которые не в ущерб корректности поставленной задачи могут обойти возникающие трудности.

Предварительный анализ существующих математических методов показал, что для подобного класса задач наиболее целесообразным с точки зрения алгоритмизации является аппарат двухмерного динамического программирования в дискретном приближении [2]. Использование этого метода во многом упрощает вычислительный план оптимизации, исключает необходимость решения системы нелинейных алгебраических уравнений высокого порядка, позволяет преодолеть проблему многозначности решения и совершенно просто учитывает ограничение по ξ.

2. Рассматривается тепловая электростанция, состоящая из различных типов котлов, работающих на общий коллектор по острому пару. Состав работающей котельной группы ТЭС считается известным. Необходимо заданные тепловую нагрузку котельной и суммарный расход газа распределить между котлоагрегатами так, чтобы суммарный расход топлива по станции был бы минимальным. Фактически эта задача сводится к минимизации не всего используемого на станции топлива, а только той его части, на которой не накладывается ограничение. Однако на этот расход оказывает влияние режим распределения топлива, на который накладывается ограничение. Для заданного состава, включенного в работу котлов, необходимо минимизировать функцию:

$$\Phi_0 = \sum_{i=1}^{k} B_i (Q_i, A_i) \qquad (1)$$

по Q_i и A_i при ограничениях

$$\left.\begin{array}{lll} \text{а)} & \sum\limits_{i=1}^{k} Q_i = Q_\Sigma & Q_i^0 \leqslant Q_i \leqslant Q_i^* \\ \text{б)} & \sum\limits_{i=1}^{k} A_i = A_\Sigma & 0 \leqslant A_i \leqslant A_i^* \end{array}\right| . \qquad (2)$$

где B_i — расход условного топлива i-го котла;

Q_i — тепловая нагрузка i-го котла;

A_i — расход газа на котле;

A_Σ — заданный по станции часовой расход газа;

Q_Σ — суммарная тепловая нагрузка котельной;

k — общее число находящихся в работе котлов.

Здесь индексом 0 обозначены минимальные значения переменных, а индексом * — максимальные. Используя идею множителя Лагранжа, рассмотрим видоизмененную функцию

$$\Phi = \Phi_0 + \lambda \sum_{i=1}^{k} A_i = \sum_{i=1}^{k} B_i (Q_i, A_i) + \lambda \sum_{i=1}^{k} A_i \qquad (3)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^{k} Q_i = Q_\Sigma \qquad \left.\begin{array}{l} Q_i^0 \leqslant Q_i \leqslant Q_i^* \\ 0 \leqslant A_i \leqslant A_i^* \end{array}\right| . \qquad (4)$$

Введем обозначения долевого расхода газа в смеси:

$$\xi_i = \frac{A_i}{B_i} .$$

Отсюда

$$A_i = \xi_i B_i . \qquad (5)$$

С учетом уравнения (5) минимизируемая функция (3) записывается так:

$$\Phi = \sum_{i=1}^{k} B_i(Q_i, \xi_i) + \lambda \sum_{i=1}^{k} \xi_i B_i(Q_i, \xi_i) = \sum_{i=1}^{k} B_i(Q_i, \xi_i)(1 + \lambda\xi_i) \qquad (6)$$

при ограничениях

$$\left.\begin{array}{ll} \sum_{i=1}^{k} Q_i = Q_\Sigma & Q_i^0 \leqslant Q_i \leqslant Q_i^* \\ & 0 \leqslant \xi_i \leqslant 1 \end{array}\right\}. \qquad (7)$$

При различных соотношениях расходов двух потребляемых видов топлива действительный расход смеси при постоянной нагрузке будет лежать между двумя крайними значениями, соответствующими работе котла на отдельных видах топлива.

Принимая близкую к действительности линейную интерполяцию расхода топлива при работе котла на смеси, в зависимости от долевого соотношения расходов различных видов топлива, можно записать:

$$B_i(Q_i, \xi_i) = A_{0i}\xi_i + B_{0i}(1 - \xi_i), \qquad (8)$$

где A_{0i} — расход газа при данной нагрузке, когда котел работает на чистом газе;

B_{0i} — расход второго вида топлива при той же нагрузке, когда газ полностью отсутствует.

С учетом (8) минимизируемая функция примет вид:

$$\Phi = \sum_{i=1}^{k} [A_{0i}\xi_i + B_{0i}(1 - \xi_i)](1 + \lambda\xi_i) \qquad (9)$$

при ограничениях

$$\left.\begin{array}{ll} \sum_{i=1}^{k} Q_i = Q_\Sigma & Q_i^0 \leqslant Q_i \leqslant Q_i^* \\ & 0 \leqslant \xi_i \leqslant 1 \end{array}\right\}, \qquad (10)$$

где λ — предполагается на время фиксированным параметром.

Наиболее рациональным аппаратом для минимизации функции (9) с учетом ограничений (10), как было отмечено выше, является аппарат двухмерного динамического программирования в дискретном приближении. Переменными величинами в этих выражениях являются тепловые нагрузки котлоагрегатов Q_i и долевое соотношение расхода газа в смеси ξ_i. Минимизацию по ξ_i можно выполнить независимо от минимизации по Q_i. Поэтому вводим функцию:

$$\varphi_i(Q_i, \lambda) = \varphi_i(Q_i) = \underset{0 \leqslant \xi_i \leqslant 1}{мин} [A_{0i}\xi_i + B_{0i}(1 - \xi_i)](1 + \lambda\xi_i) \qquad (11)$$

для всех $i = 1, 2, \cdots, k$.

Таким образом, построив функции $\varphi_i(Q_i)$ для всех k котлов, поставленную задачу можно свести к типу задач, наиболее успешно решаемых аппаратом одномерного динамического программирования, т. е. минимизация функции:

$$\sum_{i=1}^{k} \varphi_i(Q_i) = \min \tag{12}$$

при ограничениях:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{а)} & \sum\limits_{i=1}^{k} Q_i = Q_\Sigma, \\ \text{б)} & Q_i^0 \leqslant Q_i \leqslant Q_i^* . \end{array}\right| \tag{13}$$

Теперь необходимо минимизировать одну k-мерную функцию

$$\begin{aligned} f(Q) &= \min \varphi(Q_1, Q_2, \cdots, Q_k) \\ Q_i^0 &\leqslant Q_i \leqslant Q_i^* \end{aligned} \tag{14}$$

при ограничении:

$$\sum_{i=1}^{k} Q_i = Q_\Sigma . \tag{15}$$

Используя принцип оптимальности, эту задачу сводим к решению k-одномерных задач. С этой целью построим следующие рекуррентные соотношения:

$$\left.\begin{array}{l} U_1(Q) = \varphi_1(Q_1); \\ U_2(Q) = \min\ [\varphi_2(Q_2) + U_1(Q - Q_2)]; \\ \qquad Q_2^0 \leqslant Q_2 \leqslant Q_2^*; \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ U_k(Q) = \min\ [\varphi_k(Q_k) + U_{k-1}(Q - Q_k)]; \\ \qquad Q_k^0 \leqslant Q_k \leqslant Q_k^*, \end{array}\right| \tag{16}$$

где $\varphi_1(Q_1), \varphi_2(Q_2), \cdots, \varphi_k(Q_k)$ — вычисленные по уравнению (11) функции.

Функция $U_1(Q)$ структурно отличается от всех остальных функций системы (16). Для универсализации программы, реализующей данный алгоритм на АЦМ, необходимо в первое уравнение системы (16) ввести функцию $U_0(Q)$, придав ей заведомо большое значение. Тогда функция $U_1(Q)$ примет вид:

$$\begin{aligned} U_1(Q) &= \min[\varphi_1(Q_1) + U_0(Q - Q_1)]; \\ Q_1^0 &\leqslant Q_1 \leqslant Q_1^* . \end{aligned} \tag{17}$$

Реализация построенного алгоритма на АЦМ позволяет определить искомые переменные — тепловые нагрузки и соотношение различных видов топлива всех находящихся в работе котлоагрегатов, а также расход топлива на каждом котле, который по выражению (5) определяет соответствующий расход газа. После этого проверяется условие баланса расхода газа по станции, выполнение которого достигается с помощью изменения коэффициента λ.

АрмНИИэнергетики Поступило 11.XII.1968.

Դ. Մ. ԲԱԲԱՅԱՆ

ՋԷԿ-ի ԿԱԹՍԱՅԱԿԱՆ ԽՄԲԻ ՌԵԺԻՄԻ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԸ ՈՐԵՎԷ ՏԵՍԱԿԻ ՎԱՌԵԼԻՔԻ ՏՎԱԾ ԾԱԽՍԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Դիտված է ՋԷԿ-ի կաթսայական խմբի ռեժիմի օպտիմալացումը ԹՀՄ-ի վրա հաշվելու ալգորիթմը՝ օգտագործվող որևէ տեսակի վառելիքի սահմանափակման դեպքում։ Ալգորիթմը կառուցված է մաթեմատիկական երկու մեթոդների՝ դիսկրետ մոտեցումով դինամիկ ծրագրման և կլասիկ անալիզի, զուգակցման հիման վրա։

Օգտագործված է չափողականության իջեցման Լագրանժի բազմապատկիչի գաղափարը, որը թույլ է տալիս խնդիրը բերել միաչափ տեսքի։ Այդ դեպքում խնդիրը լուծվում է Բելմանի ֆունկցիոնալ հավասարումների օգնությամբ։

Առաջարկվող ալգորիթմը թույլ է տալիս օպտիմալացնել կաթսայական ռեժիմը վառելիքների խառնուրդով աշխատելիս և միաժամանակ կառուցել նրա հաշվային բնութագիրը, որն անհրաժեշտ է կայանի ընդհանուր ռեժիմի օպտիմալացման համար։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Синьков В. М.* Экономическое распределение нагрузки между паровыми котлами на электростанциях, сжигающих два вида топлива. ИТИ, Киев, 1966.
2. *Беллман Р., Дрейфус С.* Прикладные задачи динамического программирования. Изд. „Наука", М., 1965