

ЭНЕРГЕТИКА

Д. М. БАБАЯН

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ
 МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ТЭС

К многоступенчатым ТЭС относятся тепловые электростанции двух и более ступеней давления, каждая из которых объединяет определенную группу котлов и турбины общим паропроводом острого пара. Оптимизация режима многоступенчатых ТЭС представляет собой наиболее сложную внутростанционную задачу, основная трудность которой заключается в невозможности построения оптимальных режимов турбинной группы станции независимо от котельной, как это имеет место в подавляющем большинстве одноступенчатых ТЭС.

Постановка задачи. Рассматривается конкретная схема ТЭС с двумя ступенями давления (рис. 1). Часть высокого давления состоит из трех котлов и предвключенной турбины. Часть среднего давления из пяти котлов, семи теплофикационных и конденсационных турбин.

Необходимо заданные электрическую и тепловую нагрузки различных параметров распределить между агрегатами ТЭС так, чтобы суммарный расход топлива по станции был бы минимальным.

Для заданного состава оборудования необходимо минимизировать функцию

$$\Phi(X) = B(x_1, \dots, x_n, Q_1), \quad (1)$$

где $Q_1 = F(x_0, \dots, x_{20})$,

по x_1, \dots, x_{20} при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^5 x_i = Q_{17} - Q_{11}^*, \quad \sum_{i=17}^{18} x_i = Q^1; \quad (2)$$

$$\sum_{i=6}^8 x_i = Q_{11}^* ; \quad \sum_{i=19}^{20} x_i = Q_{12}^0 ;$$

$$\sum_{i=9}^{10} x_i = X_2 ; \quad x_i^0 \leq x_i \leq x_i^* ,$$

где индексом 0 обозначены минимальные значения переменных, а через * — максимальные:

x_i — тепловая нагрузка котлов среднего давления ($i = 1, 2, \dots, 5$);

x_i — тепловая нагрузка котлов высокого давления ($i = 6, 7, 8$);

x_i — активная мощность турбины ($i = 9, 10, \dots, 16$);

- x_i — тепловая нагрузка I отбора ($i = 17, 18$);
 x_i — тепловая нагрузка II отбора ($i = 19, 20$);
 $Q_{ср}$ — суммарный расход тепла турбинами среднего давления;
 $Q_{пр}^I$ — тепло отработанного пара предвключенной турбины;
 $Q_{пр}^{II}$ — расход тепла на предвключенную турбину;
 $X_э$ — заданная на станцию электрическая нагрузка;
 $Q_{ср}^I$ — заданная на станцию тепловая нагрузка по I коллектору;
 $Q_{ср}^{II}$ — заданная на станцию тепловая нагрузка по II коллектору;
 $Q_к$ — нагрузка котлов, равная расходу тепла на турбины.

Решение поставленной задачи осуществляется с помощью поэтапного эквивалентирования группы котлов и турбин отдельных ступеней давления, с построением расчетных эквивалентных характеристик каждой из них.

Надо отметить, что процессе эквивалентирования представляет собой построение оптимальных режимов группы котлов и турбин одной ступени давления при заданных ограничениях на переменные во всем диапазоне изменения нагрузок от минимума до максимума.

В результате эквивалентирования каждая группа агрегатов представляется в виде одного эквивалентного котла или турбины со своей расчетной характеристикой; поскольку это построение производится на основе решения локальной оптимизационной задачи, то вполне естественно, что, при любой заданной нагрузке на группу, все, входящие в ее состав агрегаты, будут работать так, чтобы обеспечить наиболее выгодный режим в целом по группе.

Такой подход позволяет преобразовать тепловую схему многоступенчатой ТЭС любой сложности в ее наиболее простую форму, которая и принимается за основу в дальнейших расчетах по построению оптимального режима работы станции в целом.

Из сказанного следует, что минимизация функции (1) при ограничениях (2) может быть представлена так:

$$\varphi_1(X) = \min \sum_{i=1}^8 B_i(x_i) \quad (3)$$

по x_1, \dots, x_8 при условии:

$$\sum_{i=1}^8 x_i = Q_{ср}; \quad Q_{ср} \leq Q_{ср} \leq Q_{ср}^*; \quad x_i^* \leq x_i \leq x_i^* \quad (4)$$

где $Q_{ср}$ — тепловая нагрузка котельной среднего давления. То же для части высокого давления:

$$\varphi_2(x) = \min \sum_{i=9}^{18} B_i(x_i) \quad (5)$$

по x_9, \dots, x_{18} при условии:

$$\sum_{i=9}^{18} x_i = Q_{кв}; \quad Q_{кв} \leq Q_{кв} \leq Q_{кв}^*; \quad x_i^* \leq x_i \leq x_i^* \quad (6)$$

где $Q_{кв}$ — тепловая нагрузка котельной части высокого давления.

Функции $B_i(x_i)$ — непрерывные и монотонные во всем диапазоне изменения переменных. Поэтому отыскание условного экстремума функции (3) при ограничении (4), равно как и функции (5) при ограничении (6), сводится к решению системы нелинейных алгебраических уравнений

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^5 B_i(x_i)}{\partial x_i} - b_i - \lambda_1 = 0; \quad (i=1, \dots, 5) \quad (7)$$

$$\frac{\partial \sum_{i=6}^8 B_i(x_i)}{\partial x_i} - b_i - \lambda_2 = 0, \quad (i=6, \dots, 8) \quad (8)$$

где b_i — относительные приросты расхода топлива котлов;

λ_1, λ_2 — параметры, предполагаемые на время фиксированными.

Задаваясь значениями λ_1 и λ_2 , производится решение задачи во всем диапазоне изменения тепловых нагрузок обеих частей станции. В итоге получаем оптимальное распределение нагрузок отдельно для котельных высокого и среднего давления, а также эквивалентные характеристики последних. Далее переходим к оптимизации режима работы турбинной группы среднего давления. Для этого необходимо тепловые нагрузки различных параметров, заданные по станции, а так же фиксированную на время суммарную электрическую мощность распределить между турбоагрегатами так, чтобы суммарный расход гента по части среднего давления был бы минимальным.

Для заданного состава турбин части среднего давления необходимо минимизировать функцию

$$\varphi(X) = Q(x_9, \dots, x_{11}, \dots, x_{20}) \quad (9)$$

$$\text{по } x_9, \dots, x_{11}, \dots, x_{20} \quad (i=16)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=9}^{15} x_i = \bar{X}, \quad (10a)$$

$$\sum_{i=17}^{18} x_i = Q_1^I; \quad \bar{X}^0 < \bar{X} \leq \bar{X}^*, \quad (10b)$$

$$\sum_{i=19}^{20} x_i = Q_2^{II}; \quad x_i^0 \leq x_i \leq x_i^*, \quad (10в)$$

где \bar{X} — суммарная электрическая мощность турбин части среднего давления.

Эта оптимизационная задача относится к классу нелинейных задач трехмерного программирования. В настоящей работе для минимизации функции (9) с учетом (10) используется аппарат динамического программирования [1]. В начальный период расчета производится произвольное задание переменных, входящих в уравнения (10б) и (10в), так.

чтобы выполнялись условия как равенства так и неравенства. После этого на основе рекуррентных соотношений динамического программирования типа [2]

$$H_i(\bar{X}) = \min_{x_i^* < x_i < \bar{x}_i} [Q_i(x_i) + H_{i+1}(\bar{X} - x_i)], \quad (11)$$

$$i = 9, \dots, 15$$

определяются переменные, входящие в уравнение (10а).

Последовательно выбирая другую комбинацию переменных и многократно используя функциональное уравнение (11), производим минимизацию функции (9) с учетом ограничений (10) до тех пор, пока значения функции на последнем и предыдущем шаге итерации не будут равны.

Задача решается во всем диапазоне изменения электрической нагрузки турбины части среднего давления, в результате чего производится построение эквивалентной характеристики, используемой в дальнейших расчетах по оптимизации режима работы станции в целом.

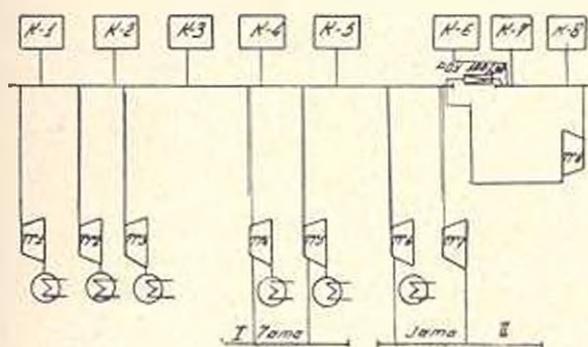


Рис. 1. Тепловая схема станции

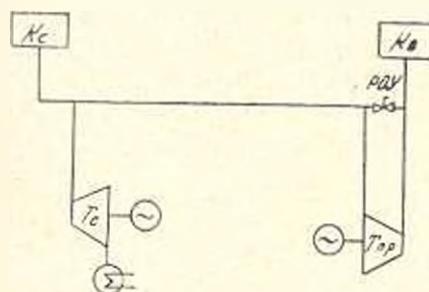


Рис. 2. Расчетная схема станции: K_c —эквивалентный котел среднего давления; K_b —то же высокого давления; T_c —эквивалентная турбина среднего давления; T_b —предвключенная турбина высокого давления

Произведенные выше расчеты и полученные на их основе эквивалентные характеристики котельных частей высокого и среднего давления, а так же турбинной группы части среднего давления позволяют преобразовать представленную на рис. 1 сложную схему станции в ее наиболее простой вид (рис. 2). Задача упрощается и для ее решения необходимо минимизировать функцию

$$\Theta = \min (B_c + B_n) \quad (11)$$

при ограничениях:

$$\bar{X} + x_{10} = X_c; \quad \bar{X}^0 < \bar{X} \leq \bar{X}^r; \quad x_{10}^0 \leq x_{10} \leq x_{10}^r \quad (12)$$

Исходя из физических условий, можно написать:

$$B_n = B_n(Q_{nc}), \text{ где } Q_{nc} = Q_{np}(x_{10}).$$

$$\text{Отсюда:} \quad B_n = R_1(x_{10});$$

$$B_c = B_c(Q_{cc}); \quad (13)$$

$$Q_{cc} = Q_{Tc} - Q_{np}, \quad (14)$$

$$\text{где} \quad Q_{Tc} = Q_{Tc}(X); \quad Q_{np} = Q_{np}(x_{10}). \quad (15)$$

Отсюда, с учетом (12), (14), (15), получим

$$B_c = R_2(x_{10}).$$

Таким образом, минимизация функции (11) с учетом (12) сводится к отысканию минимума функции только одного переменного x_{10} , что легко достигается любым математическим методом.

Здесь был рассмотрен случай, когда $Q_{nc} = Q_{np}$, т. е. все тепло, вырабатываемое котлами высокого давления, расходуется предвключенной турбиной. Вполне возможен режим, когда $Q_{cc} > Q_{np}$, т. е. режим полной загрузки предвключенной турбины и работы котлов высокого давления на РОВ, связывающего коллекторы высокого и среднего давлений. Эта локальная задача экономически обоснованного момента включения РОВ решается на основе метода относительного прироста, когда суммарная тепловая нагрузка станции оптимально распределяется между двумя эквивалентными котлами частей высокого и среднего давлений.

ԱրշինՅ

Поступило 4.V.1972

Ջ. Մ. ԲԱԲԱՅԱՆ

ԲԱԶՂՂԱՍԻՏՃԱՆ ԶԷԿ-ԵՐԻ ՓՈՏՏՈՐԱԸ ԹԵԺԹՐՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱ

Ս. Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Շարադրված է բազմաատիճան ՋԷԿ-ի օգտիմալ սեծիոնների կառուցման մեթոդիկա: Նմանաորայ խնդիրների լուծումը առաջարկվում է կատարել

կաթոսների խմբերի և առանձին առտիճանների ճնշման սուրբինների համարձեքացման օգնությամբ՝ հատուցելով նրանցից յուրաքանչյուրի հաշվարկի քննիչները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бабяч Д. М. Алгоритм оптимизации режима ТЭЦ, построенный на основе методов динамического программирования и последовательных приближений. «Теплоэнергетика», № 10, 1970.
2. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. Изд. «Наука», 1965.