

Г.А. БУРНАЧЯН, Р.Р. ОВАКИМЯН, Г.К. БАГРАМЯН**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СТАНЦИЙ ТЕПЛОВОЙ
ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРИ ЗАДАННОМ РАСХОДЕ ТОПЛИВА НА ОДНОЙ ИЗ НИХ**

В крупных теплоэнергетических системах, где отсутствуют мобильные станции, покрытие пиков нагрузки предлагается возложить на относительно старые станции, оборудованные блочными агрегатами К-150, К-200. Предложен алгоритм задачи, который позволяет осуществить выбор оптимального режима работы станций энергосистемы с учетом пусковых расходов и заданного расхода топлива на пиковой тепловой станции.

Ключевые слова: энергетическая система, тепловые станции, нагрузка, газотурбинная установка, пиковая станция.

Для крупных теплоэнергетических систем, оснащенных мощными тепловыми станциями, работающими на твердом топливе, вопросы покрытия пиковых нагрузок особенно актуальны при отсутствии в системах мобильных станций – ГТУ, ГАЭС. В этих условиях покрытие пиков нагрузки может быть возложено на относительно старые станции, оборудованные блочными агрегатами К-150, К-200. Целенаправленное и эффективное использование этих агрегатов возможно при осуществлении ряда технических и реконструктивных мероприятий, направленных на приспособление их к переменным режимам работы [1]. К числу этих мероприятий может быть отнесено и увеличение регулировочного диапазона указанных агрегатов за счет использования в качестве топлива газа или мазута. Однако для энергосистем, использующих для выработки электроэнергии твердое топливо, поставка дорогого газомазутного топлива для станций, оборудованных указанными агрегатами, с целью покрытия пиков графиков нагрузки, естественно, будет осуществляться в ограниченном объеме.

В этих условиях задача выбора оптимального режима работы энергосистемы должна быть выполнена с учетом ограничений по объемам расходуемого топлива на отдельных ее станциях.

Постановка задачи. Рассмотрим некоторую энергосистему, состоящую из m тепловых и одной пиковой тепловой станций.

Как известно, оптимальным режимом энергетической системы является тот, который при выполнении всех условий по ограничениям обеспечивает наименьшие затраты на топливо по тепловым станциям энергосистемы в течение определенного периода времени (сутки).

Математически задача может быть сформулирована так.

Необходимо найти минимум следующего функционала:

$$\int_{t_0}^{t_k} \sum_{i=1}^m \alpha_i B_i(t, P_{T_i}, P'_{T_i}) dt \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях:

- по балансу мощности:

$$\varphi_t = \sum_{i=1}^m P_{Ti} + P_n - P_c - \Delta P = 0 ; \quad (2)$$

- по количеству расходуемого топлива в течение суток на пиковой тепловой станции:

$$\int_{t_0}^t \beta B_n(t, P_n, P'_n) dt = B^* , \quad (3)$$

где α_i, β - соответственно стоимости единицы условного топлива на i -й и пиковой теплостанциях; B_i, B_n - соответственно часовые расходы условного топлива на i -й и пиковой теплостанциях; P_{Ti}, P_n - соответственно нагрузки i -й и пиковой теплостанций; P'_{Ti}, P'_n - соответственно скорости изменения нагрузок i -й и пиковой теплостанций; $P_c, \Delta P$ - соответственно суммарная нагрузка системы и потерь мощности в линиях передачи; B^* - заданная величина расхода топлива на пиковой тепловой станции.

Рассматриваемая задача в такой постановке является типичной вариационной задачей с закрепленными концами на условный экстремум, который может быть сведен к безусловному экстремуму посредством множителей Лагранжа. В силу этого минимум функционала (1) при соблюдении (2) и (3) имеет место при тех же условиях, что и минимум нижеследующего функционала:

$$\int_{t_0}^{t_k} \left(\sum_{i=1}^m \alpha_i B_i + \lambda B_n + \lambda_t \varphi_t \right) dt = \int_{t_0}^{t_k} F dt \rightarrow \min , \quad (4)$$

где
$$F = \sum_{i=1}^m \alpha_i B_i + \lambda B_n + \lambda_t \varphi_t ;$$

λ, λ_t - соответственно постоянный и переменный во времени множители.

Кривые, реализующие экстремум рассматриваемого функционала (4), должны удовлетворять дифференциальным уравнениям Эйлера – Лагранжа:

$$\begin{cases} F_{P_{Ti}} - \frac{d}{dt} F_{P'_{Ti}} = 0, & i=1,2,\dots,m. \\ F_{P_n} - \frac{d}{dt} F_{P'_n} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Напишем систему уравнений (5) в развернутом виде:

$$\begin{cases} \alpha_i \frac{\partial B_i}{\partial B_{Ti}} + \lambda_t \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{Ti}} \right) - \frac{d}{dt} \frac{\partial B_i}{\partial P'_{Ti}} = 0 , \\ \lambda \beta \frac{\partial B_n}{\partial P_n} + \lambda_t \left(1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n} \right) - \frac{d}{dt} \frac{\partial B_n}{\partial P'_n} = 0 . \end{cases} \quad (6)$$

Последние члены уравнений представляют собой составляющие относительного прироста, вызываемые переходными процессами при изменении режима системы. Влияние этих процессов на экономические показатели теплостанции невелико, и практически ими можно пренебречь.

После несложных преобразований можно получить следующее условие оптимального режима работы станций энергосистемы:

$$\frac{\alpha_i b_i}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_{T_i}}} = \frac{\lambda \beta b_n}{1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_n}}, \quad (7)$$

где b_i , b_n - соответственно относительные приросты расхода условного топлива на i -й и пиковой тепловых станциях.

В случаях, когда изменениями потерь в сетях можно пренебречь, выражение (7) принимает вид

$$\alpha_i b_i = \lambda \beta b_n. \quad (8)$$

Алгоритм решения. Предположим, энергосистема состоит из тепловых станций, оборудованных блочными агрегатами 2К-300, 4К-200, 3К-150, которые для выработки электроэнергии используют твердое топливо-уголь, а также из одного пикового агрегата К-150, потребляющего газ в качестве топлива. Для работы пиковой теплостанции предоставлено 320 т условного топлива в день.

Из (8) получаем значения изменения λ , в пределах которых режимы работы энергосистемы могут быть оптимальными:

$$\frac{\kappa b^{\min}}{b_n^{\max}} \leq \lambda \leq \frac{\kappa b^{\max}}{b_n^{\min}},$$

где κ - коэффициент, равный $\frac{\alpha_i}{\beta} = 0,8$, при ценах: уголь $\alpha_i = 42\$$, газ $\beta = 53\$$.

Станции, потребляющие твердое топливо, рассматриваются как эквивалентная ТЭС. Из эквивалентной энергетической характеристики, начиная от минимального значения относительного прироста с определенным шагом, записываются все его значения до максимального, в том числе и характерные значения. Задаем значение λ в пределах его изменения. Имея энергетические характеристики пиковой станции, на основании (8) получаем относительные приросты расхода условного топлива и соответствующие нагрузки пиковой станции (табл.1).

Как видно из таблицы, графа P^* представляет собой сумму нагрузки соответствующей строки, эквивалентной ТЭС и пиковой станции. Используя данные табл.1, для каждого суточного графика нагрузки с помощью интерполяции по часам можно определить оптимальные режимы работы эквивалентной ТЭС, пиковой станции и соответственно расходы топлива (табл.2). При этом нужно учесть то обстоятельство, что пуск агрегатов пиковой теплоэлектростанции после нескольких часов простоя приводит к дополнительным расходам топлива.

Таблица 1

b	κ b	P	$\lambda = 0,8496$		P *
			b _n	P _n	
г.у.т./МВтч	г.у.т./МВтч	МВт	г.у.т./МВтч	МВт	МВт
0,2784	0,22272	1110	0,26215	0	1110
0,281	0,224	1128	0,26365	0	1128
0,282	0,2256	1150	0,26554	0	1150
0,283	0,2264	1161,1	0,266	0	1161,1
0,284	0,2272	1179,8	0,2674	0	1179,8
0,285	0,2284	1228,75	0,269	0	1228,75
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
0,318	0,2541	1770,55	0,2991	125	1895,55
0,319	0,2552	1794,27	0,300	125	1919,27
...	...	...	...	...	...
0,339	0,2712	1880	0,3192	131,7	2011,7

Таблица 2

T	P _c	P	P _n	B	B _n	B _{nn}
час	МВт	МВт	МВт	т.у.т./ч	т.у.т./ч	т.у.т./ч
1	1220	1220	0	373,11	0	0
2	1150	1150	0	353,32	0	0
3	1120	1120	0	344,92	0	0
4	1120	1120	0	344,92	0	0
5	1220	1220	0	373,11	0	0
6	1270	1270	0	387,17	0	0
7	1360	1360	0	413,11	0	0
8	1480	1411,32	68,68	427,89	22,05	17,46
9	1570	1490,13	79,87	451,06	25,15	0
10	1410	1410	0	427,51	0	0
11	1340	1340	0	407,33	0	0
12	1290	1290	0	392,89	0	0
13	1320	1320	0	401,55	0	0
14	1360	1360	0	413,11	0	0
15	1440	1440	0	436,12	0	0
16	1510	1436,9	73,1	435,23	23,27	13,85
17	1590	1508,25	81,75	456,48	25,68	0
18	1720	1623,11	96,89	491,43	30,06	0
19	1850	1728,7	121,3	527,56	37,49	0
20	2010	1878,42	131,58	579,02	40,76	0
21	1830	1711,37	118,63	521,31	36,65	0
22	1640	1554,09	85,91	470,35	26,86	0
23	1460	1394,26	65,74	422,99	21,26	0
24	1270	1270	0	387,17	0	0
Всего				10238,7	289,23	31,31
Всего расход топлива на пиковой станции				320,54		

Расход топлива на пуск рассчитывается по следующей зависимости:

$$B_{nn} = B_0 (1 - e^{-\alpha \tau}),$$

где B_0 , α - постоянные величины для агрегата К-150, соответственно равные 45,8, и 0,06; τ - продолжительность простоя, час.

Если расход топлива на пиковой станции не совпадает с заданным количеством суточного топлива, то λ в пределах своего изменения получает другое значение, и весь расчет в вышеизложенной последовательности повторяется, пока с определенной точностью не будет выполнено условие $B_n + B_{nn} \approx B^*$.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно прийти к следующим выводам:

1. В ближайшие годы, пока еще нереалистично привлечение больших капитальных вложений для строительства мобильных станций, вышеизложенный подход дает возможность достаточно эффективно использовать относительно старые блочные агрегаты и решить проблему покрытия пиковых нагрузок.

2. Предложенный подход и алгоритм позволяют успешно осуществить выбор оптимального режима работы станций энергосистемы с учетом пусковых расходов на пиковой тепловой станции, работающей в резко переменном режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мадоян А.А., Аракелян Э.К., Минасян С.А. Расчет нестационарных характеристик и показателей графиков нагрузки и агрегатов ТЭС. – Ереван: Айастан, 1989. – 134 с.
2. Методы оптимизации режимов энергосистемы / Под. ред. В.М. Горнштейна. – М., 1981. – 335 с.
3. Бурначян Г.А., Овакимян Р.Р. Выбор оптимального состава работающего оборудования в электроэнергетической системе // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1982. - 1. - С. 11-16.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 27.05.1999.

Հ.Ա. ԲՈՒՌՆԱՉՅԱՆ, Ռ.Ռ. ՀՈՎԱԿԻՄՅԱՆ, Գ.Բ. ԲԱՂՐԱՄՅԱՆ

**ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԱՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՆՐԱՆՑԻՑ ՄԵԿՈՒՄ ՏՐՎԱԾ ՎԱՌԵԼԻՔԻ ԾԱԽՄԻ ԴԵՊՔՈՒՄ**

Խոշոր ջերմաէներգետիկական համակարգերում, որտեղ բացակայում են ճկուն կայանները, պիկային հզորությունների ծածկումն առաջարկվում է դնել K-150 տիպի բլոկային ագրեգատներով հագեցած համեմատաբար հին կայանների վրա: Առաջարկված է խնդրի ալգորիթմ, որը հնարավորություն է տալիս կատարել էներգահամակարգի կայանների օպտիմալ աշխատանքային ռեժիմների ընտրություն նաև պիկային ջերմային կայանում՝ հաշվի առնելով տրված և թողարկման հետ կապված վառելիքի ծախսերը:

***H.A. BURNACHYAN, R.R. HOVAKIMYAN, G.K. BAGHRAMYAN
OPTIMUM STATION MODE SELECTION OF THERMAL POWER SYSTEM WITH
DESIGNED FUEL CONSUMPTION AT ONE OF STATIONS***

In large thermal power systems, where there are no mobile stations it is suggested to cover peaks by rather old stations equipped with block units K-150. An algorithm of a task allowing to carry out a choice of optimum mode of power system station operation in view of the starting consumptions and the designed fuel consumption used by the peak thermal station is proposed.