

ЭНЕРГЕТИКА

Г. А. БУРНАЧЯН, С. В. ШАХВЕРДЯН

ОПТИМАЛЬНОЕ ВНУТРИСТАНЦИОННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
НАГРУЗКИ ГЭС МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО
ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В энергетической практике при оптимальном распределении нагрузки ГЭС между ее агрегатами наибольшее распространение получили методы, основанные на математическом аппарате классического анализа (метод относительных приростов). Применение указанного метода при наличии разнотипных агрегатов, когда характеристики относительных приростов последних представляют собой монотонно возрастающие функции, весьма удобно, требует незначительных затрат времени и дает вполне хорошие результаты. Однако в ряде случаев

характеристики относительных приростов гидроагрегатов, получаемые из кривых, зависимости потерь от нагрузки могут быть не монотонно возрастающими функциями (рис. 1). В этом случае, как видно из рисунка, каждому значению относительного прироста в определенных зонах соответствуют два значения мощности. При наличии на гидростанции значительного числа таких агрегатов возникает вопрос: при каких же комбинациях этих нагрузок достигается абсолютный минимум потерь.

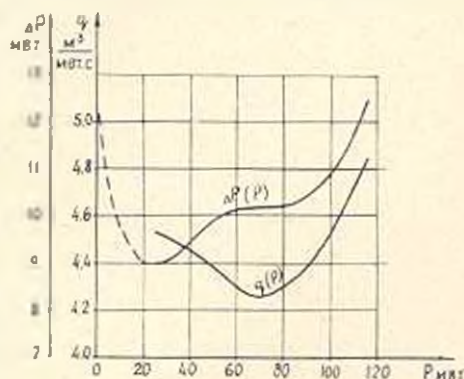


Рис. 1.

Чтобы выяснить это положение необходимо испытать все возможные комбинации значений нагрузок и оценить 2^n случаев, где n — число агрегатов. При n свыше 10 число возможных случаев настолько возрастает, что становится серьезным препятствием для численного решения. Рассматриваемый вопрос полностью остается в силе и при наличии однотипных агрегатов, имеющих одинаковые энергетические характеристики. В этом случае оптимальному режиму станции, как принято, соответствует не равномерное распределение нагрузки между агрегатами, а некоторое другое, обусловленное наличием характеристик такого рода. В свете изложенного ясно, что применение методов, основанных на аппарате классического анализа для решения задач по оптимизации внутростанционных режимов, явно ограничено. В этом аспекте теория

динамического программирования, представляющая собой новый подход, основанный на использовании функциональных уравнений и принципа оптимальности, значительно расширяет диапазон решения таких экстремальных задач.

При заданных зависимостях потерь в гидроагрегатах от нагрузки — $\Delta P_i(P_i)$; $i=1, 2, \dots, n$, для определенного напора на станции требуется найти такое распределение нагрузки между агрегатами $P_1, P_2, \dots, P_n$, с учетом ограничений по балансу мощностей и отдельных агрегатов, чтобы суммарные потери на гидростанции были бы минимальными. Математически эта задача формулируется так: необходимо минимизировать следующую функцию

$$R(P_1, P_2, \dots, P_n) = \sum_{i=1}^n \Delta P_i(P_i) \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^n P_i = X; P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}; P_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Здесь n — число агрегатов на станции; ΔP_i — величина потерь i -го агрегата; P_i — мощность i -го агрегата.

При рассмотрении задачи как многостадийного процесса минимальное значение функции R зависит от числа n , т. е. переменных P_i и величины X . Обозначим через $F_n(X)$ последовательность функций

$$f_n(X) = \min_{\{P_i\}} R(P_1, P_2, \dots, P_n). \quad (3)$$

Тогда при одностадийном процессе получим:

$$F_1(X) = \min R(P_1) = \Delta P_1(P_1), \quad (4)$$

где $P_1 = X$, $X \geq 0$.

Далее, используя принцип оптимальности динамического программирования и выражения (3, 4), легко можно получить основное функциональное уравнение:

$$F_i(X) = \min_{\substack{0 \leq P_i \leq X \\ P_i = P_i^{\min} \\ P_i = P_i^{\max}}} [\Delta P_i(P_i) + F_{i-1}(X - P_i)], \quad i=2, 3, \dots, n. \quad (5)$$

Из уравнения (5) видно, что на каждой стадии решение задачи осуществляется посредством отыскания минимума функции только по одной переменной. Вследствие этого первоначальная задача нахождения функции n переменных сводится к последовательному отысканию n функций одной переменной. Это намного упрощает решение задачи. Минимизация (5) на каждой стадии i выполняется путем непосредственного перебора различных дискретных значений P_i с определенным шагом при заданных переменных X . Таким образом, имея уравнения (4), (5), можно последовательно вычислить $F_1(X)$, $F_2(X)$, $\dots$, $F_n(X)$. При этом на каждой стадии решения получаются не только

значения этих функций, но и соответствующие им значения искомым переменных $P_1, P_2, \dots, P_n$. Определение точки включения и отключения очередного агрегата производится, исходя из условия равенства минимизируемых потерь $l-1$ и i совместно работающих агрегатов, т. е.

$$F_{l-1}(X) = F_i(X). \quad (6)$$

Если $F_{l-1}(X) < F_i(X)$, то работают $l-1$ агрегатов.

Если $F_{l-1}(X) > F_i(X)$, то работают i агрегатов.

Существенным моментом, с точки зрения уменьшения времени счета и незагромождения памяти ЭВМ, является правильное установление на каждой стадии граничных условий для X . Величины X рекомендуются принимать для первых m стадий в пределах $0 < X \leq mP^{\max}$ ($m=1, 2, \dots, k$), а для последующих $(l-4)P^{\max} < X \leq lP^{\max}$ ($l=k+1, k+2, \dots, n$). При этом k выбираются в каждом конкретном случае, исходя из условий задачи. По этому алгоритму составлена программа для реализации на ЭВМ „Урал-3“, блок-схема которой представлена на рис. 2. Используя данную программу, было произведено оптимальное внутростанционное распределение нагрузки для конкретной гидростанции, состоящей из 22 агрегатов.

В качестве исходных характеристик, как было сказано выше, использованы зависимости потерь в гидроагрегатах от нагрузки (рис. 1), одинаковые для всех агрегатов. Оперирование этими зависимостями взамен расходных характеристик более целесообразно, так как увеличивается точность расчетов. Шаг квантования в расчетах был принят равным 5 мвт, а $k=3$. Продолжительность оптимизации внутростанционного режима данной ГЭС, с обращением к внешней памяти машины, для одного значения напора колеблется в пределах от 18 до 20 минут. В табл. 1 приведены некоторые результаты оптимального распределения суммарных нагрузок на станции при заданном составе работающих агрегатов.

Как видно из табл. 1, при оптимальном распределении нагрузки значения суммарных потерь $F_l(X)$ по сравнению с равномерным $F_p(X)$ меньше на величину ΔF . Последнее по отношению к опти-

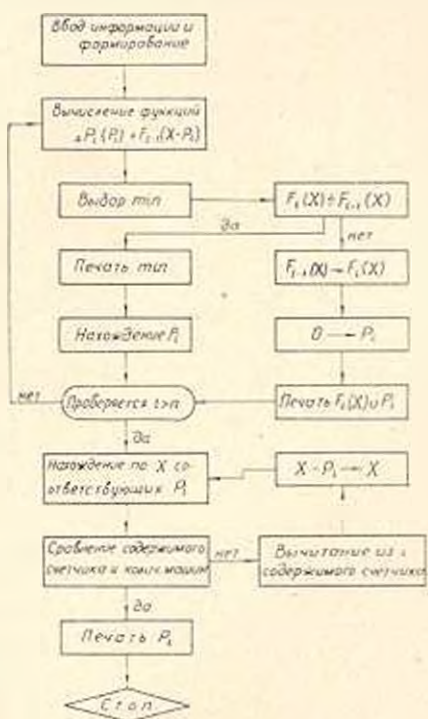


Рис. 2.

Таблица 1

X мвт	Агрегаты								$F_1(X)$ мвт	$F_2(X)$ мвт	$\frac{\Delta F \cdot 100}{F_1(X)}$	$\frac{\Delta F \cdot 100}{X}$
	1	2	3	4	5	6	7	8				
500	30	85	85	30	30	80	80	80	78,3	81,2	3,7	0,58
450	30	30	90	90	30	90	90	—	68,9	71,1	3,2	0,49
350	30	80	80	80	30	80	—	—	58,9	60,9	3,4	0,53
320	30	85	85	30	90	—	—	—	49,1	50,8	3,5	0,53
220	30	30	80	80	—	—	—	—	38,5	40,2	4,4	0,77

малыми значениями суммарных потерь и нагрузок соответственно составляют $3,0-4,5\%$ и $0,5-0,8\%$. При этом, чем больше число работающих агрегатов при данной нагрузке, тем больше эффект от оптимального распределения по сравнению с равномерным.

Если суммарная нагрузка, деленная на число работающих агрегатов, превышает $80-85$ мвт, то эффект от оптимального распределения по сравнению с равномерным равен нулю. Это объясняется тем, что при нагрузках свыше $80-85$ мвт кривая потерь носит монотонно возрастающий характер и распределение нагрузок между агрегатами в обоих случаях получается одинаковым.

Предложенный алгоритм в отличие от [3] позволяет значительно сократить число вычислительных операций за счет правильного учета на каждой стадии граничных условий по суммарной мощности работающих агрегатов; более правильно распределить нагрузки, так как в качестве исходных характеристик взамен расхожих используются зависимости потерь в гидроагрегатах от нагрузки.

АрмИИЭ

Поступило 8 VII.1968.

Հ. Ս. ԲՈՒՐՆԱՅԱՆ, Ս. Վ. ՇԱԽՔԵՐԿՅԱՆ

ՀՀԿ-ի ԲՈՒՐՆԱՅԱՆԻ ԿԱՌԱՐԱՐՈՒՄԻ ՆԵՐԿԱՅԱՆԱՅԻՆ ՕՊԵՐԱԿԵՐՈՒՄԻ ԲԱՇԽՈՒՐ ԳԻՆԱԿԵՐ
ՆԵՐԿԱՎՈՐԱՆ ԿԵԹՈՒՄՈՎ

Ս. Վ. ԲՈՒՐՆԱՅԱՆ

ՀՀԿ-ի ագրեգատների միջև բեռնափափակի օպտիմալ բաշխում կատարելիս դորձնականում առավել մեծ տարածում անեն մաթեմատիկական անալիզի տարաբանի վրա հիմնված մեթոդները, մասնավորապես՝ հարաբերական ածի մեթոդը, որի կիրառումը տալիս է բավական լավ արդյունքներ, երբ ագրեգատների հարաբերական ածիի բնութագրերը մոնոտոն աճող ֆունկցիաներ են։ Սակայն, երբ հիդրոագրեգատների բնութագրերը ոչ մոնոտոն աճող ֆունկցիաներ են (նկ. 1), ՀՀԿ-ի ներկայանալին սեփականի օպտիմալացման խնդիրները լուծելիս այդ մեթոդի կիրառումը զգալի սահմանափակվում է։

Այդպիսի խնդիրների լուծման համար, նշված տիպի բնութագրերի առկայության դեպքում, հոգիվածում օգտագործվում է դինամիկ ծրագրման ապա-

րատր, որը $\theta_{\text{ույ}}$ է ապիս (4) և (5) համասարումների հիման վրա, բեռնվածքների տարբեր դիսկրետ արժեքների համար տրված X-երի դիսկրետ, գտնել P_1, P_{2000}, P_2 փնտրվող փոփոխականները թերված է խնդրի լուծման ալգորիթներ և կազմված է ծրագիր «Ուրալ-3» էՊՀՄ-ի վրա իրագործելու համար, Այդ ծրագրով կատարված է բեռնվածքի սպախման բաշխում 22 ազրեդատից բաղկացած կոնկրետ ՀԷԿ-ի համար: Արդյունքները բերված են աղ. 1-ում և զույգ է տված ալգորիթի բաշխման դիսկրետ ստացվող էֆեկտը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Голдман Г., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. М., 1965.
2. Гуринский В. М. Наиболее эффективные режимы работы гидростанций в энергетических системах. Госэнергоиздат, 1959.
3. Злотник С. Г., Журавлев В. Г. Оптимизация интританционных режимов ГЭС с учетом пусковых расходов. Журнал «Электрические станции», № 9, 1967.