ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XVI, № 5, 1963 Серия технических наук

ЭНЕРГЕТИКА

В. Г. БЕГЛЯРОВ

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕНЕРИРУЕМЫХ МОЩНОСТЕЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ С ГИДРОСТАНЦИЯМИ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОИСКА

Оптимальное распределение генерируемых мощностей в энергосистемах с гидростанциями (ГЭС), связанное с неизбежными колебаниями уровней воды в водохранилищах, описывается системами нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка [1, 2, 3]*, в общем случае неразрешимых в радикалах относительно второй производной. В силу этого классические численные методы решения дифференциальных уравнений в указанном случае использованы быть не могут. Кроме того сложность структуры большинства энергосистем с гидростанциями (каскадная связь ГЭС) и необходимость учета многих факторов, в том числе и учета граничных условий для функций также накладывает известные ограничения на применимость классических методов, не говоря уже о трудоемкости процесса представления исходных дифференциальных уравнений в явном виде относительно искомых функций и их производных.

Предлагаемая статья посвящена решению поставленной задачи с использованием принципов динамического программирования в сочетании с поисковыми методами решения экстремальных задач, рассматриваемыми в кибернетике и автоматике [4, 5, 6, 7].

Для решения поставленной задачи ниже предлагается метод динамического поиска, за отправную точку которого принято соображение о допустимости представления искомых функций линиями в последовательно делящемся пополам интервале времени, сущность которого станет понятной из дальнейшего изложения. Дана теоретико-множественная интерпретация предлагаемого метода, позволяющая наглядно представить характер процесса поиска.

Метод динамического поиска. Пусть задана энергосистема любой сложности с тепловыми станциями (ТЭС), объединяемыми в одну эквивалентную по уравнениям относительных приростов, с m гидростанциями. Известна характеристика затрат топлива эквивалентной ТЭС $B(P_т, t)$, в общем случае зависящая не только от нагрузки (мощно-

* Вырожденной формой системы этих уравнений для частного случая постоянства уровней воды в водохранилищах ГЭС являются широко известные алгебраические уравнения относительных приростов.

сти) станции $P_т$, но и от времени t, например в связи с изменением состава работающего оборудования, выводом его в ремонт, резерв и т. п. Обозначим через $Q(t)^i$, где i — порядковый номер ГЭС ($i=\overline{1, m}$) расход воды через турбины данной гидростанции для выработки электроэнергии, а через $V(t)^i$ соответственно объем сработки воды из водохранилища последней для выработки электроэнергии. При этом

$$V(t)^i = \int_0^t Q(t)^i \, dt;$$

(0, t) расчетный период времени, внутри которого ищется оптимальный режим. Для ГЭС должны выполняться следующие граничные условия:

$$v^i_{min} \leqslant v(t)^i \leqslant v^i_{max}; \qquad (1)$$

$$Q^i_{min} \leqslant Q(t)^i \leqslant Q^i_{max},** \qquad (2)$$

где v^i — объем воды в водохранилище i-ой ГЭС.

Разобьем рассматриваемый отрезок времени (расчетный период) (0, t) на конечное число $K = 2^n$ элементарных отрезков Δt, где n—любое целое положительное число, и представим семейство непрерывных кривых $Q(t)^i$ для каждой ГЭС, т. е. для каждого i, семейством ступенчатых функций $Q^{i,t}$, удовлетворяющих изопереметрическому условию:

$$\sum_{t=1}^{t=k} \Delta t \cdot Q^{i,t} = V^{i,k}, \qquad (3)$$

где $V^{i,k}$ — известный объем воды, подлежащий реализации из водохранилища i-ой ГЭС для выработки электроэнергии к концу отрезка времени (0, t).

Если задана комбинация численных значений $Q^{i,t}$, то тем самым определен конкретный режим работы энергосистемы из множества режимов. Путем конечного числа операции, зная $Q^{i,t}$ и используя необходимые расчетные характеристики энергосистемы, может быть подсчитана величина оптимизируемой функции

$$R = R(Q^{i,t}), \qquad (4)$$

которая может представлять собой, в частности, затраты топлива на

** Величину Q_{max}, строго говоря, нельзя считать постоянной. Она изменяется в течение времени из-за изменения напора ГЭС и характер этого изменения определяется для каждого конкретного режима видом кривой $Q(t)$. Однако колебания величины Q^i_{max} относительно невелики и потому предположение о ее постоянстве вполне допустимо.

ТЭС за расчетный период или выработку электроэнергии в системе ГЭС.

В первом случае ищется минимум, во втором — максимум. Функция (4), аргумент $Q^{i,}$ которой подчиняется условию (3), представляет собой некоторую $(m \cdot \kappa + 1)$—мерную кривую в пространстве $m \cdot k$ переменных. Нужно найти оптимальную комбинацию чисел $Q^{i, t}$ и соответствующих им кривых $V(t)^{i,}$, дающих экстремум функции (4). Наличие условий (3) приводит к тому, что изменение величины любого $Q^{i, t}$ для данного i и t сопряжено с необходимостью одновременного изменения всех остальных $Q^{i, t}$ того же индекса i по тому или иному закону. Поступим следующим образом. Объединим расходы воды $Q^{i, t}$ в отдельные элементарные промежутки времени Δt для всех $t = \overline{1, k}$ для каждой i-ой ГЭС. В кортежи $g = k, \frac{k}{2}, \frac{k}{4}, \frac{k}{8}, \cdots, 8, 4, 2, 1$ элементов различных индексов t, принимая численные значения $Q^{i, t}$ внутри них равными друг другу, а порядок следования в порядке возрастания индекса t. Причем кортежи, объединяющие одно и то же число элементов g, не должны пересекаться, т. е. не должны иметь элементов одного и того же индекса t. Принятая система деления отрезка $(0, t)$ позволяет укладывать в нем всегда целое и четное число таких объединений, равное $F = \frac{k}{g}$. Обозначим через h порядковый номер кортежа, объединяющего данное число элементов g, $h = \overline{1, F}$. Меньшие номера будем присуждать кортежам, объединяющим $Q^{i, t}$ меньших индексов t. Введем для кортежей символическое обозначение $\overline{mQ}|^{g, i, h}$. Будем называть $Q^{i, t}$ и $Q^{i, t} \in \overline{mQ}|^{g, i, h}$ подобными, $Q^{i, t} - Q^{i, t} \in \overline{mQ}|^{g, i, h}$, если у них равны индексы i и t. Рассмотрим все возможные комбинации конечного числа дискретных значений $Q^{i, t} \in \overline{mQ}|^{g, i, h}$, но такие чтобы для всех $Q^{i, t}$, входящих во все кортежи $h = \overline{1, F}$ данных индексов g и i выполнялось условие (3). При этом множество R будет представлено своими подмножествами $R_g(\overline{mQ}|^{h, i, h})$, причем

$$R_{g-k} \in R_{g=\frac{k}{2}} \subset R_{g=\frac{k}{4}} \subset \cdots \subset R_{g-2} \subset R_{g-1} = R, \tag{5}$$

где R_{g-k} — одноэлементно (элементы множеств будем обозначать соответствующими строчными буквами), так как представляет собой режим сработки воды из водохранилищ всех ГЭС с постоянным значением расхода через турбины $Q_{cp}^{g-k, i, h-1} = Q^{i, t} \in \overline{mQ}|^{g=, k, i, h=1}$, определяемым однозначно условием (3). Упорядочим R, выделяя в нем некоторые совокупности элементов (области) $B_g^x(Q^{i, t})$, где x — номер области данного индекса g, пробегающих ряд целых натуральных чисел $x=\overline{1, Б}$. Области B_g^x должны быть такими, чтобы

$$\bigcup_x B_g^x = R, \tag{6}$$

а

$$\bigcup_x B_g^x = 0. \tag{7}$$

Кроме того, каждая из областей B_g^x данного индекса g должна содержать в себе только один элемент подмножества R_g того же индекса g. В рассматриваемом случае:

$$\bigcap_x B_g^x \cdot R_g^x = r_g^x,\ r_g^x \to B_g^x, \tag{8}$$

т. е. число x областей B_g^x данного индекса g равно числу $r_g \in R_g$ того же индекса g. Причем верхнее значение $x = Б$ не остается постоянным, а является функцией от g, $Б(g)$. Для $g=k$ очевидно, что $Б=1$. Поэтому $B_{g=k}^{x=1} = R$. Из всех B_g^x, построенных в согласии с соотношением (8), условиям (6) и (7) удовлетворяют только такие $B_g^x(Q^{i,t})$, для которых $Q^{i,t} \sim Q^{i,t} \in \overline{mQ}|^{g,i,k}$ удовлетворяют соотношению

$$\sum_t Q^{i,t} = \sum_i (Q^{i,t} \in \overline{mQ}|^{g,i,h}). \tag{9}$$

В выражении (9) суммирование ведется по всем t для $\overline{mQ}|^{g,i,h}$. Если для рассмотренной системы областей не выполнялось бы, например, условие (6), то следует к левой части равенства (6) прибавить некоторое множество, дополняющее его до R и для которого соотношение (9) не имеет места. Но такого дополнения не может быть, так как любая конечная совокупность ограниченных по своей величине чисел должна иметь конечную сумму. Это очевидно для бесконечных множеств. Плотность же рассматриваемых нами конечных множеств зависит от того, как много элементов пропускается при квантовании R_g. Поэтому здесь не рассматриваются все те возможные дополнения к левой части равенства (6), которые дают $\sum_t Q^{i,t}$ близкие, но не равные $\sum_i (Q^{i,t} \in \overline{mQ}|^{g,i,h})$. Если бы не выполнялось условие (7), то для одних и тех же ступенчатых функций $Q^{i,t}$, являющихся пересечением соответствующих областей B_g^x, существовало несколько значений сумм их ординат, что невозможно. Заметим, что среди элементов $B_{g=a}^x$, где $a=k, \cdots, 8, 4, 2$ должны находиться, в частности, все $r^x_{g=\frac{a}{2}} \in R_{g=\frac{a}{2}}$, для которых сумма всех $Q^{i,t}$ данного i, входящих в два смежных кортежа $\overline{mQ}|^{g=\frac{a}{2},i,h}$ нечетного и четного номера h, равна сумме подобных $Q^{i,t} \in \overline{mQ}|^{g=a,i,h}$, т. е.

$$\sum_t (Q^{i,t} \in \overline{mQ}|^{g-a,\,i,\,h_a}) = \sum_t (Q^{i,t} \in \overline{mQ}|^{g=\frac{a}{2},\,i,\,h_{\frac{a}{2}}-2h_a-1} +$$

$$+ Q^{i,t} \in \overline{mQ}|^{g-\frac{a}{2},\,i,\,h_{\frac{a}{2}}-2h_a}). \tag{10}$$

Суммирование ведется по всем t для $\overline{mQ}|^{g-a,\,i,\,h_a}$. Индекс a или $\frac{a}{2}$ при номере кортежа h введен, чтобы различить кортежи, соответствующие $g=a$ и $g=\frac{a}{2}$. Если к тому же принять во внимание включения (5), множество R можно представить системой вложенных друг в друга областей B_g^x так, как это изображено на рис. 1. На этом рисунке для конкретности принято, что каждая область $B_{g=a}^x$ включает в себя три области $B_{g-\frac{a}{2}}^x$. Если в упорядоченном таким образом множестве R любой элемент любой области B_g^x не имеет численных значений, заключенных между численными значениями любой пары элементов любой другой области B_g^x того же индекса g, то задача имеет единственное экстремальное решение, которое можно получить, перебирая элементы R_g, начиная с $g=k/2$ и выбирая то, численное значение которого удовлетворяет равенству

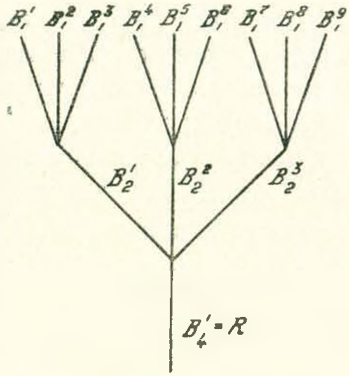

Рис. 1.

$$\Delta R_g = \sup (R_{\max} - R_g), \tag{11}$$

если ищется минимум, или

$$\Delta R_g = \sup (R_g - R_{\min}), \tag{12}$$

если ищется максимум. Здесь $R_{\max}$ и $R_{\min}$ предельно возможные наибольшее и наименьшее значения функции (4). В результате такого перебора мы находим наиболее оптимальную область B_{g-a}^x определенного номера x, соответствующую данному r_{g-a}^x, и можем в дальнейшем проводить поиск уже внутри данной области, перебирая $r_{g-\frac{a}{2}}^x \in R_{g-\frac{a}{2}}$, а именно только те $r_{g-\frac{a}{2}}^x$, которые расположены внутри выбранной области B_{g-a}^x. В этом случае задача решена в математическом смысле, т. е. найден абсолютный экстремум. Если же элементы каких-либо областей B_g^x имеют численные значения, заключенные между численными значениями элементов каких-либо других областей B_g^x того же индекса g, структура оптимального поведения остается невыясненной и в решение задачи вносится элемент случайности, так как рассматривая по одному элементу в каждой области и выбирая среди них „лучший“, мы не можем заведомо утверждать, что среди множества элементов тех областей, которые были нами отброшены, не будет самого оптимального. В этом случае возможно получение локального экстремума. Можно провести аналогию между рассмотренным методом и методом статистических испытаний (методом Монте-Карло), используемым при решении математических и физических задач с помощью многократных случайных испытаний. В данном случае источником случайных чисел являются подмножества R_g.

Перебор всех элементов R_g по вполне понятным причинам, связанным с необходимостью просмотра громадного числа комбинаций всевозможных численных значений $Q^{i,t} \in \overline{mQ}|^{g,i,h}$ для всех ГЭС одновременно, практически неосуществим. Поэтому поиск оптимальной точки подмножеств R_g должен производиться любым из известных в автоматике основных методов поиска экстремума функции многих переменных (Гаусса-Зейделя, градиентным, наискорейшего спуска). Практически процесс поиска экстремальной точки R_g, например, методом Гаусса-Зейделя осуществляется в области изменения некоторых обобщенных переменных $A_1^g, A_2^g, \cdots, A_j^g$, каждая из которых ставится в соответствие паре кортежей $\overline{mQ}|^{g,i,h}$ нечетного и четного номера h по порядку, начиная с $h = 1$ для каждого i. Причем ни одна этих переменных не имеет смежных кортежей с любой другой. Для каждого g их число $j = i \cdot \frac{h}{2} = i \cdot \frac{F}{2} = i \cdot \frac{k}{2g}$. Изменение обобщенных переменных A_j^g производится с некоторым конечным шагом $\Delta Q^{g,i,h}$ изменение элементов $Q^{i,t}$ соответствующих им кортежей. Причем для каждой пары кортежей, соответствующей данной обобщенной переменной $\Delta Q^{i,g,h} + \Delta Q^{g,i,h+1} = 0$, в согласии с (10). Верхний и нижний пределы изменения $Q^{i,t}$ для любой пары кортежей, $Q_B^{g,i,h} = Q_B^{g,i,h+1}$ и $Q_H^{g,i,h} = Q_H^{g,i,h+1}$ определяются следующим образом.

Для фиксированного $g = \frac{a}{2}$ находятся средние значения расходов воды $Q_{cp}^{g=\frac{a}{2},\, i,\, h_{\frac{a}{2}}=2h_a} = Q_{cp}^{g=\frac{a}{2},\, i,\, h_{\frac{a}{2}}=2h_a-1} = Q^{i,t} \in \overline{mQ}|^{g=a,\, i,\, h_a}$

Подсчитываются величины

$$\Delta Q_B^{g=\frac{a}{2},\, i,\, h_{\frac{a}{2}}=2h_a} = Q_{max}^{i} - Q_{cp}^{g=\frac{a}{2},\, i,\, h_{\frac{a}{2}}=2h_a}$$

$$\Delta Q_H^{g=\frac{a}{2},\, i,\, h_{\frac{a}{2}}=2h_a} = Q_{cp}^{g=\frac{a}{2},\, i,\, g_{\frac{a}{2}}=2h_a} - Q_{min}^{i}.$$

Из значений $\Delta Q_B^{g=\frac{a}{2},\, i,\, 2h_a}$ и $Q_H^{g=\frac{a}{2},\, i,\, 2h_a}$ выбирается наименьшее, которое обозначается буквой $(Q')^{g-\frac{a}{2},\, i,\, h_{\frac{a}{2}}=2h_a}$. И, окончательно, пределы $Q^{g-\frac{a}{2},\, i,\, h_{\frac{a}{2}}=2h_a}$ и $(Q')_H^{g-\frac{a}{2},\, i,\, h_{\frac{a}{2}}=2h_a}$ определяются из выражений

$$Q_B^{g-\frac{a}{2},\, i,\, h_{\frac{a}{2}}=2h_a} = Q_{cp}^{g-\frac{a}{2},\, i,\, h_{\frac{a}{2}}=2h_a} + (Q')^{g-\frac{a}{2},\, i,\, h_{\frac{a}{2}}=2h_a}$$

$$Q_H^{g=\frac{a}{2},\, i,\, h_{\frac{a}{2}}=2h_a} = Q_{cp}^{g-\frac{a}{2},\, i,\, h_{\frac{a}{2}}=2h_a} - ('Q)^{g-\frac{a}{2},\, i,\, h_{\frac{a}{2}}=2h_a}$$

Фиксируя все A_i^g — кроме одной, будем рассматривать изменение каждой переменной с конечным шагом, осуществляя Б дискретных шагов, вычисляя соответствующие значения R_g и запоминая каждый раз наилучшее. После обхода всех переменных этот процесс (цикл) повторяется сначала, и так E раз в согласии с идеей метода Гаусса-Зейделя. Можно, не задавая числа E, сравнивать результаты расчета на двух смежных циклах и прекращать расчет, если разность между ними станет меньше наперед заданного числа ΔR. Текущий номер цикла будем обозначать строчной буквой e. Отметим, что решение данной задачи можно рассматривать и как решение нечетного числа. $N = 2^n - 1$ сходных с ней задач, если для всех i ГЭС одновременно будем проводить расчет для каждой обобщенной переменной вне связи ее с другими переменными. Это означает, что найдя объемы сработок воды из водохранилищ ГЭС в первую и вторую половины рассматриваемого отрезка времени $[0, T]$, определяются в дальнейшем сработки воды в первую и вторую четверть, а затем третью и четвертую четверть того же отрезка времени и т. д. уже независимо друг от друга. Число шагов Б остается постоянным для любого значения g, i, h.

Однако, если желательно уменьшить число просматриваемых вариантов, следует задавать не число шагов Б, а оптимальную величину шага $\Delta Q^i_{\text{опт}}$ для $Q^{i,\, t}$. Тогда число шагов $Б^{g,\, i,\, h}$ для данных g, i и h или точнее для каждой пары $Q^{i,\, t} \in \overline{mQ}|^{g,\, i,\, h}$ данного g и i нечетного и четного номера h определится делением отрезка $[Q_B^{g,\, i,\, h}, Q_H^{g,\, i,\, h}]$ на $\Delta Q^i_{\text{опт}}$ и округлением результата деления до ближайшего большего целого числа.

Гораздо более эффективным будет другой способ поиска экстремума функции R_g. Разобьем для каждого фиксированного i, отрезок $[Q_B^{g,\, i,\, g}, Q_H^{g,\, i,\, g}]$ на систему вложенных друг в друга вторичных отрезков делением первого последовательно на $\delta = 2, 4, 8, \cdots, d$.

Рассматривая численные значения $Q^{i,\, t} \in \overline{mQ}|^{g,\, i,\, h}$ в середине этих вторичных отрезков и, начиная с $\delta = 2$, будем отбирать отрезки, для которых численная величина R_g будет удовлетворять соотношениям (11) или (12). Причем каждую следующую пару вторичных отрезков и соответствующие им значения $Q^{i,\,l} \in \overline{mQ}|^{g,\,l,\,h}$ будем искать внутри ранее найденного и так до тех пор, пока δ не станет равным d. Такой перебор элементов R_g, назовем его условно Z—сканированием, обеспечивает более равномерный обзор этой гиперкривой, что очень важно, если последняя не является гладкой. Кроме того он дает значительное сокращение времени поиска. Если R_g не является гладкой, поиск экстремума может быть осуществлен также способом, предложенным в 8 . На рис. 2 изображены кривые объемов сработки воды из водохранилища ГЭС в функции времени. Эти кривые представляют собой возрастающие от нуля функции (выпуклые или вогнутые), в общем случае с конечным числом точек перегиба. В случае насосно-аккумулирующих ГЭС они имеют конечное число экстремумов. При решении задачи эти кривые апроксимируются сначала двумя линейными участками, затем четырьмя, восьмью и т. д. Отметим, что возможность нахождения абсолютного экстремума (выше она названа решением в математическом смысле) означает, что любой отрезок апроксимирующей ломаной является хордой соответствующей искомой оптимальной кривой $V(t)^i$. На рис. 2 ломаная $oabcd$ соответствует абсолютному экстремуму, а ломаная $oefgh$-локальному.

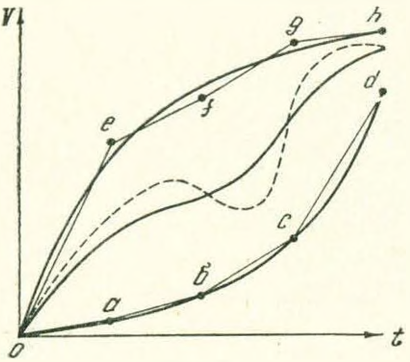

Рис. 2.

Для практической реализации изложенного выше метода при построении оптимальных режимов ниже приводятся два управляющих алгоритма, в функции которых входит формирование и выдача информации для расчета, сравнение результатов расчета и остановка процесса. Обзор элементов R_g производится в одном алгоритме методом Гаусса-Зейделя, в другом приемом Z—сканирования. Алгоритм для вычисления оптимизируемой функции R для каждой конкретной системы строится особо в соответствии с ее структурой и характером задачи, в то время как приводимые ниже управляющие алгоритмы не зависят от структуры системы и характера задачи. Принимаются известными величины k, $g = k$, m, E, ΔR, $Б = A \neq 0$, если задается число шагов, $Б = A = 0$ и $\Delta Q^i_{опт}$, если задается оптимальная величина шага, или число d, если обзор элементов R_g производится приемом Z—сканирования. Также известны $Q^i_{\min}$, $Q^i_{\max}$, $Q_{cp}^{i,\,h-1} = Q_{cp}^{i,\,h-2} = Q_{cp}^{g,\,k,l,h=1}$ для $i = \overline{1,\ m}$, $R_{np} = R_{\max}$, если в задаче ищется минимум, или $R_{np} = R_{\min}$, если в задаче ищется максимум. Характер и порядок операций управляющих алгоритмов следующий:

Обзор R_g методом Гаусса-Зейделя	Обзор R_g приемом Z—сканирования
1	2
1) $R_{пр} \begin{smallmatrix}\nearrow \Phi \\ \searrow D_0\end{smallmatrix}$	1) $R_{пр} \begin{smallmatrix}\nearrow \Phi \\ \searrow D^{\circ}\end{smallmatrix}$
2) $g:2 \to g \downarrow^{35}$	2) $g:2 \to g \downarrow^{35}$
3) $k:g \to F$	3) $k:g \to F$
4) $Q_{cp}^{i,h} \to \overline{mQ}\vert^{i,h}$ $i=\overline{1,m}$ $h=\overline{1,F}$	4) $Q_{cp}^{i,h} \to \overline{mQ}\vert^{i,h}$ $i=\overline{1,m}$ $h=\overline{1,F}$
5) $0 \to e$	5) $0 \to e$
6) $e+1 \to e \downarrow^{33}$	6) $e+1 \to e \downarrow^{33}$
7) $0 \to i$	7) $0 \to i$
8) $i+1 \to i \uparrow^{29}$	8) $i+1 \to i \downarrow^{29}$
9) $0 \to h$	9) $0 \to h$
10) $h+2 \to h \downarrow^{28}$	10) $h+2 \to h \downarrow^{28}$
11) $0 \to \delta$	11) $1 \to \delta$
12) $\delta+1 \to \delta \downarrow^{26}$	12) $\delta \cdot 2 \to \delta \downarrow^{27}$
13) $\delta = 1 \uparrow^{21}$	13) $\delta = 2 \uparrow^{16}$
14) $\overline{mQ}\vert^{i,h-1} \to \alpha_1$ $\overline{mQ}\vert^{i,h} \to \alpha_2$ $Q_{cp}^{i,h} - Q_{\min}^{i} \to \Delta Q_H$ $Q_{\max}^{i} - Q_{cp}^{i,h} \to \Delta Q_B$	14) $\overline{mQ}\vert^{i,h-1} \to \alpha_1$ $\overline{mQ}\vert^{i,h} \to \alpha_2$ $Q_{cp}^{i,h} - Q_{\min}^{i} \to \Delta Q_H$ $Q_{\max}^{i} - Q_{cp}^{i,h} \to \Delta Q_B$ $\min\{\Delta Q_B, \Delta Q_H\} \to Q'$
15) $\min\{\Delta Q_B, \Delta Q_H\} \to Q'$	15) $Q_{cp}^{i,h-1} \to \overline{mQ}\vert^{i,h-1}$ $Q_{cp}^{i,h} \to \overline{mQ}\vert^{i,h}$
16) $Q_{cp}^{i,h} + Q' \to Q_B$ $Q_{cp}^{i,h} - Q' \to Q_H$	16) $\overline{mQ}\vert^{i,h-1} \to \tau_1$ $\overline{mQ}\vert^{i,h} \to \tau_2 \downarrow^{13}$
17) $Q_B \to \overline{mQ}\vert^{i,h-1}$ $Q_H \to \overline{mQ}\vert^{i,h}$	17) $Q' : \delta \to \Delta Q$
18) $A = 0 \uparrow^{20}$	18) $-1 \to x \uparrow^{20}$
19) антье $[2 \cdot Q' : \Delta Q'_{отн}] + 1 \to Б$	19) $+1 \to x \downarrow^{25}$
20) $2 \cdot Q' : Б \to \Delta Q \uparrow^{18}$	20) $\tau_1 + \Delta Q \cdot x \to \overline{mQ}\vert^{i,h-1}$ $\tau_2 + \Delta Q \cdot x \to \overline{mQ}\vert^{i,h}$ $\downarrow^{16}$
21) $\overline{mQ}\vert^{i,h-1} - \Delta Q \to \overline{mQ}\vert^{i,h-1}$ $\overline{mQ}\vert^{i,h} + \Delta Q \to \overline{mQ}\vert^{i,h}$ $\downarrow^{13}$	21) Вычисляется R
22) Вычисляется R	22) $R < \Phi \uparrow^{25}$ (поиск минимума R) $R > \Phi \uparrow^{25}$ (поиск максимума R)
23) $R < \Phi \uparrow^{26}$ (поиск минимума R) $R > \Phi \uparrow^{26}$ (поиск максимума R)	23)*** $R \to \Phi$ $P_T^t \to \gamma^t$ $t = \overline{1, k}$
24) *** $R \to \Phi$ $P_T^t \to \gamma^t$ $t = \overline{1, k}$	24) $\overline{mQ}\vert^{i,h-1} \to \alpha_1$ $\overline{mQ}\vert^{i,h} \to \alpha_2$

*** P_T^t — тепловой станции в каждый из элементарных отрезков времени расчетного периода. P_T^t вычисляется вместе с вычислением R.

1	2
25) $\overline{mQ}\vert^{i,\,h-1} \to \alpha_1 \quad \overline{mQ}\vert^{i,\,h} \to \alpha_2$	25) $x = 1 \quad \uparrow^{19} \quad \downarrow^{22}$
26) $\delta = Б \quad \uparrow^{12} \quad \downarrow^{23}$	26) $\alpha_1 \to \overline{mQ}\vert^{i,\,h-1} \alpha_2 \to \overline{mQ}\vert^{i,\,h}$
27) $\alpha_1 \to \overline{mQ}\vert^{i,\,h-1} \alpha_2 \to \overline{mQ}\vert^{i,\,h}$	27) $\delta = d \quad \uparrow^{12}$
28) $h = F \quad \uparrow^{10}$	28) $h = F \quad \uparrow^{10}$
29) $i = m \quad \uparrow^{8}$	29) $i = m \quad \uparrow^{8}$
30) $\Phi \to D^e$	30) $\Phi \to D^e$
31) $D^{e-1} - D^e \to \rho$	31) $D^{e-1} - D^e \to \rho$
Печатать ρ	
32)**** $\rho > \Delta R \quad \uparrow^{34}$	32)**** $\rho > \Delta R \quad \uparrow^{34}$
33) $e = E \quad \uparrow^{6}$	33) $e = E \quad \uparrow^{6}$
34) $\overline{Qm}\vert^{i,\,h} \to Q_{cp}^{i,\,2b-1}$, $\searrow Q_{cp}^{i,\,2h}$ $\quad i = \overline{1,\,m} \quad \downarrow^{32}$	34) $\overline{mQ}\vert^{i,\,e} \to Q_{cp}^{i,\,2h-1}$, $\searrow Q_{cp}^{i,\,2h}$ $\quad i = \overline{1,\,m} \quad h = \overline{1,\,F} \quad \downarrow^{32}$
35) $g = 1 \quad \uparrow^{2}$	35) $g = 1 \quad \uparrow^{2}$
36) Печать $\overline{mQ}\vert^{i,\,h} \quad i = \overline{1,\,m} \quad h = \overline{1,\,F}$ Печать $\gamma^t \quad t = \overline{1,\,k}$	36) Печать $\overline{mQ}\vert^{i,\,h} \quad i = \overline{1,\,m} \quad h = \overline{1,\,F}$ Печать $\gamma^t \quad t = \overline{1,\,k}$

**** Если мы желаем осуществить фиксированное число циклов расчета E, то принимаем $\Delta R = 0$.

Институт энергетики
АН Армянской ССР

Поступило 3.V 1963

Վ. Գ. ԲԵԳԼՅԱՐՈՎ

ՀԻԴՐՈԿԱՅԱՆՆԵՐ ՈՒՆԵՑՈՂ ԷՆԵՐԳՈՍԻՍՏԵՄՈՒՄ ԳԵՆԵՐԱՑՎԱԾ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՕՊՏԻՄԱԼ ԲԱՇԽՈՒՄԸ ԴԻՆԱՄԻԿ ՓՆՏՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

Ամփոփում

Հոդվածը վերաբերվում է առաջադրված խնդրի լուծմանը, որտեղ օգտագործվող դինամիկական ծրագրման սկզբունքները համատեղվում են էքստրեմալ խնդիրների լուծման փնտրման մեթոդների հետ, որը դիտարկվում է կիբերնետիկայում և ավտոմատիկայում։

Դիտված խնդրի լուծման համար առաջարկվում է դինամիկական փնտրման մեթոդ, որի համար որպես ելակետ ընդունվում է հնարավորությունը՝ փնտրելի ֆունկցիաները ներկայացնել որպես ժամանակի միջակայքում հաջորդաբար կիսվող ուղիղներ։

Տրված է մեթոդի տեսական-բազմության մեկնաբանումը, որը պարզորեն ներկայացնում է փնտրման պրոցեսի բնույթը։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Glimm A. F., Kirchmayer L. K.* Economic Operation Variable-Head Hydroelectric Plants. Power Apparatus and Systems. № 39, 1958.
2. *Бегляров В. Г.* Оптимальные режимы энергосистем. Известия АН АрмССР, сер. ТН, т. XV, № 1, 1962.
3. *Theilsiefje K.* Ein Beitrag zur Theorie der wirtschaftlichen Ausnutzung großer speicherseen sur Energieerzeitung. Elektrotechnische Zeitschrift, Ausgabe A, 17, H. Berlin, 14, August, 1961.
4. *Беллман Р.* Теория динамического планирования. Современная математика для инженеров. Л.—М., 1958.
5. *Фельдбаум А. А.* Вычислительные устройства в автоматических системах. М., 1959.
6. *Демидович Б. П., Маррон И. А.* Основы вычислительной математики. М., 1960.
7. *Моррей Ч. Б.* Нелинейные методы. Современная математика для инженеров. М.—Л., 1958.
8. *Бочаров И. Н., Фельдбаум А. А.* Автоматический оптимизатор для поиска минимального из нескольких минимумов. Журн. „Автоматика и телемеханика“, т. XXIII, № 3, 1962.