

Л. А. ДИЛАНЯН

ОБ ОДНОМ ПРИНЦИПЕ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С ДЕФИЦИТОМ МОЩНОСТИ

Рассматривается энергосистема, собственных энергоресурсов которой недостаточно для покрытия заданного графика нагрузки, и дефицит мощности покрывается за счет межсистемных перетоков. В общем случае система может состоять из изолированных и каскадных ГЭС, регулируемых и работающих на водотоке, а также тепловых станций, работающих на газовом топливе в вынужденном режиме. Уровни верхних бьефов принимаются постоянными. Под экономичным режимом подобной системы при заданном графике нагрузки следует понимать максимальную выработку энергии на регулируемых ГЭС, при условии пуща заданного объема воды. При этом, пики нагрузки должны быть сняты регулируемыми ГЭС, остальная же ее часть, постоянная во времени, должна быть покрыта за счет выработки нерегулируемых ГЭС и межсистемных перетоков.

Решение этой задачи сводится к определению максимума функционала:

$$\int \left[P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_m + \lambda_1^{(1)} Q_1 + \lambda_2^{(1)} Q_2 + \lambda_3^{(1)} Q_3 + \dots + \lambda_m^{(1)} Q_m + \lambda_1 \left(\frac{dP_1}{dt} - \frac{dP_2}{dt} - \frac{dP_3}{dt} - \dots - \frac{dP_m}{dt} \right) \right] dt, \quad (1)$$

который достигается при условии, когда

$$\frac{\partial Q_1}{\partial P_1} = \lambda_1, \quad \frac{\partial Q_2}{\partial P_2} = \lambda_2, \quad \frac{\partial Q_3}{\partial P_3} = \dots = \lambda_m, \quad \frac{\partial Q_m}{\partial P_m} \quad (2)$$

Здесь $P_{n(t)}$ — заданный график нагрузки системы; t — номер регулируемой ГЭС; $t = 1 \dots m$; P_t — мощность регулируемой ГЭС; Q_t — расход воды на регулируемой ГЭС; $\lambda_t^{(1)}$ — постоянные коэффициенты Лагранжа; λ_t — коэффициент, являющийся функцией времени.

В выражении (2) $\lambda_t = \lambda_t^{(1)} \alpha_t^{(1)}$; $\int_0^T Q_t dt = V_t$ — первое условие, заключающееся в реализации каждой регулируемой станцией за рассматриваемый промежуток времени T заданного объема воды — V_t .

Выражение

$$\frac{dP_1}{dt} - \frac{dP_2}{dt} - \frac{dP_3}{dt} - \dots - \frac{dP_n}{dt} = 0, \quad (3)$$

представляющее собой баланс производных мощности по времени (для каждого момента времени), является вторым условием, заключающимся в задании регулируемым ГЭС очертания графика нагрузки, т. е. в снятии ими пиков нагрузки [1,2].

Для решения задачи должны быть заданы следующие исходные данные: расхоные характеристики всех станций: $Q_i(P_i)$; $Q_i(P_j)$, где $j = 1 \div n$ — номер нерегулируемой ГЭС; характеристики относительных приростов регулируемых ГЭС $\varepsilon_i(P_i)$; $\varepsilon_i = \partial Q_i / \partial P_i$; средний расход воды на регулируемых ГЭС — $Q_{i,r} = V_i/T$; допустимые отклонения от заданного среднего расхода воды на регулируемых ГЭС — $\Delta Q_{i, \text{доп}}$; $\varepsilon_{i \text{ min}}$, $\varepsilon_{i \text{ max}}$; график нагрузки системы — $P_n(t)$.

При наличии в системе тепловых станций, суммарная выработка последней $P_T(t)$ должна быть вычтена из заданного графика $P_n(t)$.

Обозначим $P_r(t) = P_n(t) - P_T(t)$. Тогда суммарный график нагрузки регулируемых ГЭС, распределение которого между отдельными станциями должно быть произведено по условию (2), может быть определен по формуле:

$$P_{\text{нр.}(t)} = [P_n(t) - P_T(t)] - P_n \quad (4)$$

где P_n — постоянная часть графика нагрузки, подлежащая распределению между нерегулируемыми ГЭС и межсистемным перетоком. Приближенно эта величина может быть определена по формуле:

$$P_n = \frac{\sum_{i=1}^{i-1} (P_{\text{нр.}(t)} - P_T(t))}{i} = \sum_{i=1}^{i-1} P_i \quad (5)$$

Величина P_n будет меняться с изменением величины $P_{i \text{ ср}}$ на различных ступенях приближения. Здесь $P_{i \text{ ср}}$ — средняя мощность регулируемой ГЭС, соответствующая данному среднему расходу воды. Кроме условия (2) при распределении $P_{\text{нр.}(t)}$, в каждый момент времени должно выполняться также условие баланса мощностей:

$$P_{\text{нр.}(t)} - P_1(t) - P_2(t) - \dots - P_m(t) = 0, \quad (6)$$

что равносильно выполнению условия (3), так как $P_{\text{нр.}(t)} = P_n(t) - P_n$.

Условие (6) вводится вместо условия (3) для удобства расчетов. Распределение нагрузок между станциями по равенству относительных приростов при соблюдении условия баланса мощностей можно осуществить методом последовательного деления интервала относительных приростов каждого элементарного отрезка времени рассматриваемого расчетного периода [3]. Однако, здесь удобнее следующий порядок распределения. По характеристикам $P_i(Q_i)$ определяются

$P_{i\text{ ср}}$ для заданных значений $Q_{i\text{ ср}}$, затем, по характеристикам относительных приростов $\varepsilon_i(P_i)$, определяются $\varepsilon_{i\text{ ср}}$, соответствующие значениям $P_{i\text{ ср}}$ и, наконец, определяются $\lambda_i = \frac{\varepsilon_i P_i}{\varepsilon_{i\text{ ср}}}$ и строятся характеристики $\lambda_i \varepsilon_i(P_i)$. Из всех значений $\lambda_i \varepsilon_{i\text{ мин}}$ находится наименьшее $\varepsilon_{\text{ мин}}$, из всех значений $\lambda_i \varepsilon_{i\text{ макс}}$ — наибольшее $\varepsilon_{\text{ макс}}$. ($\varepsilon_{\text{ макс}} - \varepsilon_{\text{ мин}}$) делится на отрезки $\Delta\varepsilon$ таким образом, чтобы в каждом из них кривую $P_i(\varepsilon_i)$ можно было бы с достаточной точностью принять за прямую (рис. 1).

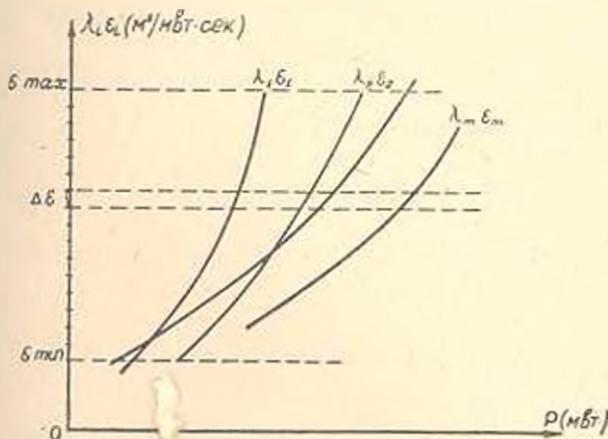


Рис. 1.

Для $\lambda_i \varepsilon_i = \varepsilon_c = \varepsilon_{\text{ мин}} + \Delta\varepsilon \cdot l'$, (где $l' = 0 \div l$), определяются мощности отдельных станций, а также суммарная, и составляется соответствующая таблица (см. пример). Распределение графика $P_{\text{пр}(t)}$ между станциями для каждого момента времени производится по составленной таблице (при необходимости интерполяцией).

При завершении этой операции, для всего цикла регулирования, проверяется условие реализации на каждой станции заданного объема воды.

Для этого определяется фактический средний расход на каждой ГЭС

$$Q_{i\text{ срф.}} = \frac{\sum_{t=1}^{T} Q_i(P_i)}{T} \quad (7)$$

который сравнивается с заданной величиной среднего расхода $Q_{i\text{ ср}}$. Задачу можно считать решенной при выполнении условия:

$$|\Delta Q_i| = Q_{i\text{ срф.}} - Q_{i\text{ ср}} \leq \Delta Q_{i\text{ доп.}} \quad (8)$$

При невыполнении же условия (8), определяются новые средние значения расходов на регулируемых ГЭС:

$$Q_{i\text{ ср}}^{(1)} = Q_{i\text{ ср}} - \Delta Q_i \quad (9)$$

и весь расчет производится вновь, до выполнения условия (8). При

этом дополнительно определяются мощности нерегулируемых ГЭС для всех моментов времени и, соответственно, график межсистемных перетоков

$$P_{\text{пер}} = P_n - \sum_{j=1}^{l-n} P_j(t) \quad (10)$$

$P_j(t)$ — определяются по соответствующим значениям $Q_j(t)$.

Алгоритм для реализации задачи на цифровой машине

Заданы исходные данные: $Q^j(P^j)$; $j = 1 \rightarrow n$; $Q^l(P^l)$; $l = 1 \rightarrow m$; $\epsilon^l(P^l)$; $Q_{\text{ср}}^l$; $\epsilon_{\text{мин}}^l$; $\epsilon_{\text{макс}}^l$; $\Delta V_{\text{лок}}$; $P_{\text{ср}}^l$; $P_{\text{сг}}^l$; $l = 1 \rightarrow 24$

1. Определяется $P_{\text{сг}}^l = P_{\text{ср}}^l - P_{\text{сг}}^l$;
2. Определяется $P_{\text{ср}} = \frac{\sum_{l=1}^{l=24} P_{\text{ср}}^l}{24}$;
3. Посылается „0“ в $[\sum P_{\text{ср}}^l]$;
4. Посылается „0“ в $[l]$;
5. Прибавляется „1“ к $[l]$ и прибавляется к $[\sum P_{\text{ср}}^l]$;
6. Определяется $P_{\text{ср}}(Q_{\text{ср}})$;
7. Проверяется условие $l = m^{12}$;
8. Определяется $P_n = P_{\text{ср}} - \sum_{l=1}^{l=m} P_{\text{ср}}^l$;
9. Определяется $P_{\text{ср}}^l = P_{\text{сг}}^l - P_n$;
10. Определяется $\epsilon_{\text{ср}}^l(P_{\text{ср}}^l)$;
11. Определяются $\lambda^l = \epsilon_{\text{ср}}^l - \epsilon_{\text{сг}}^l$;
12. Посылается 10^6 в $[\epsilon_{\text{мин}}^l]$;
13. Посылается „0“ в $[\epsilon_{\text{макс}}^l]$;
14. Определяются $\lambda^l \epsilon_{\text{мин}}^l$;
15. Определяются $\lambda^l \epsilon_{\text{макс}}^l$;
16. Проверяется условие: $\lambda^l \epsilon_{\text{мин}}^l < [\epsilon_{\text{мин}}^l]^{12}$;
17. Посылается $\lambda^l \epsilon_{\text{мин}}^l$ в $[\epsilon_{\text{мин}}^l]$;
18. Проверяется условие $\lambda^l \epsilon_{\text{макс}}^l > [\epsilon_{\text{макс}}^l]^{12}$;
19. Посылается $\lambda^l \epsilon_{\text{макс}}^l$ в $[\epsilon_{\text{макс}}^l]$;
20. Определяется $l = \frac{\epsilon_{\text{макс}} - \epsilon_{\text{мин}}}{0,03}$ и округляется до ближайшего большого целого числа — l ;
21. Посылается „0“ в $[l']$;
22. Посылается $\epsilon_{\text{мин}}^l$ в $[l]$;
23. Прибавляется „1“ к $[l']$;
24. Определяется $\epsilon = [\epsilon] + \Delta \epsilon$;
25. Определяются $P^l(\epsilon)$;
26. Вычисляется $\sum_{l=1}^{l=m} P^l(\epsilon)$;
27. Проверяется условие $l = l^{12}$;
28. Посылается P^l в $[P^l]$;
29. Посылается „0“ в $[l]$;
30. Прибавляется „1“ к $[l]$;
31. Посылается „0“ в $[l]$;
32. Посылается „0“ в $[\sum Q^l]$;
33. Прибавляется „1“ к $[l]$;
34. Определяется $[P^l]$;
35. Определяется $Q^l(P^l)$;
36. Прибавляется Q^l к $[\sum Q^l]$;
37. Посылается l^2 в $[P^l, l]$;
38. Посылается Q^l в $[Q^l, l]$;
39. Проверяется условие $l = m^{12}$

40. Проверяется условие $t = 24^{t-1}$; 41. Определяется $Q_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{t-1} Q_i(P_i)}{24}$;
 и $V_{\Phi}^t = Q_{\text{ср}} \cdot T$; 42. Определяется $\Delta V^t = V^t - V_{\Phi}^t$;
 43. Проверяется условие $\Delta V^t \leq |\Delta V_{\text{доп}}^t|^{100}$;
 44. Определяется новое значение $Q_{\text{ср}}^{(t+1)} = Q_{\text{ср}}^t - \frac{\Delta V^t}{T}$ и цикл повто-
 ряется начиная с п. 6 до выполнения условия 43;
 45. Определяется $P_n^a = P_n - \sum_{i=1}^{t-n} P_i(t)$ и идет на печать.

Пример. Исходные данные: График нагрузки энергосистемы по-
 крывается за счет выработки каскада из четырех ГЭС и межсистемных
 перетоков. ГЭС 1, 2 и 4 — регулируемые, ГЭС 3 — нерегулируемая.

$z_{1 \text{ min}} = 0,32 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$; $z_{2 \text{ min}} = 0,27 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$; $z_{4 \text{ min}} = 0,31 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$.
 $z_{1 \text{ max}} = 1,1 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$; $z_{2 \text{ max}} = 0,65 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$; $z_{4 \text{ max}} = 1,02 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$.
 $Q_{1 \text{ ср}} = 45 \text{ м}^3/\text{сек}$; $Q_{2 \text{ ср}} = 39,4 \text{ м}^3/\text{сек}$; $Q_{4 \text{ ср}} = 32,4 \text{ м}^3/\text{сек}$.
 $\Delta Q_{1 \text{ доп}} = 1,3 \text{ м}^3/\text{сек}$; $\Delta Q_{2 \text{ доп}} = 1,1 \text{ м}^3/\text{сек}$; $\Delta Q_{4 \text{ доп}} = 1 \text{ м}^3/\text{сек}$; $m = 3$; $n = 1$.

Суточный график нагрузки системы задан табл. 1.

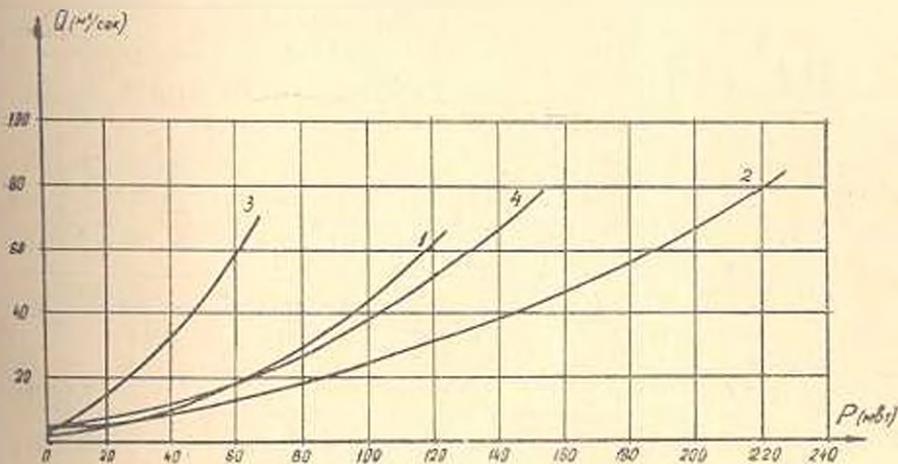


Рис. 2.

Расходные характеристики всех ГЭС приведены на рис. 2, а ха-
 рактеристики относительных приростов регулируемых ГЭС на рис. 3.

$$\sum_{i=1}^{t=24} P_{i \text{ доп}}$$

Решение: $P_{1 \text{ ср}} = \frac{402}{24} = 16,75 \text{ Мвт}$; $P_{1 \text{ ср}} = 98 \text{ Мвт}$; $P_{2 \text{ ср}} = 138 \text{ Мвт}$;
 $P_{4 \text{ ср}} = 86 \text{ Мвт}$; $\sum_{i=1}^3 P_{i \text{ ср}} = 322 \text{ Мвт}$; $P_0 = 402 - 322 = 80 \text{ Мвт}$.

Таблица 1

Часы	1	4	5	6	7	8	9	10	11	15	17	18	21	22	24
Нагр. (Мвт)	340	360	370	380	425	430	420	410	400	390	440	460	440	415	460

Таблица 2

Часы	1	4	5	6	7	8	9	10	11	15	17	18	21	22	24
$R_{пр} (\text{г})$	260	280	290	300	345	350	340	330	320	310	360	380	360	335	280

Таблица 3

ΣP_2		140	153	175	215	262	302	340	381	416	441	466	478	485	490
P_1		40	53	67	77	85	95	103	115	120	120	120	120	120	120
P_2		60	60	60	77	105	126	145	163	183	200	216	220	220	220
P_3		40	40	48	61	72	81	92	103	113	121	130	138	145	150

Таблица 4

Часы	1	4	5	6	7	8	9	10	11	15	17	18	21	22	24
$Q_1, \text{м}^3/\text{сек}$	32	36	37	40	50	51	49	46	44	41	53	58	53	48	36
$Q_2, \text{м}^3/\text{сек}$	28	31	32	34	44	45	42	41	38	36	47	50	47	41	31
$Q_3, \text{м}^3/\text{сек}$	25	27	29	30	34	35	34	33	31	31	38	42	38	35	27

Таблица 5

Часы	1	4	5	6	7	8	9	10	11	15	17	18	21	22	24
P_1	37	38	39	40	47	48	46	45	43	41	52	53	52	45	38

Таблица 6

Часы	1	4	5	6	7	8	9	10	11	15	17	18	21	22	24
P_0	43	42	41	40	33	32	34	35	37	39	28	26	28	35	42

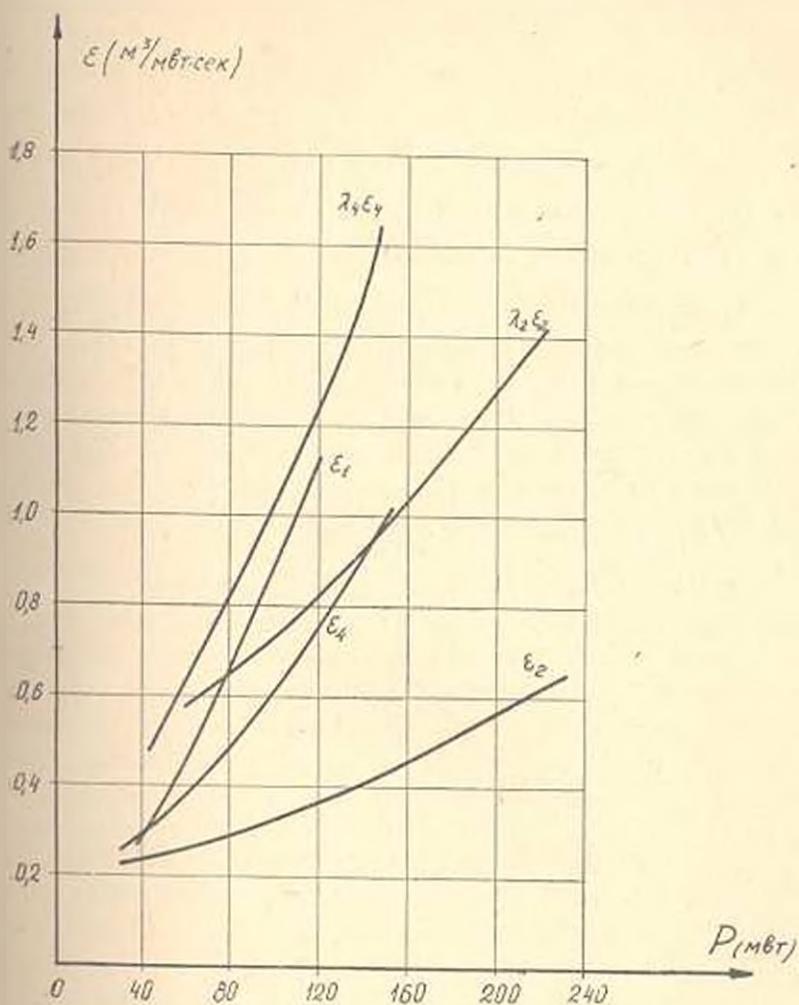


Рис. 3.

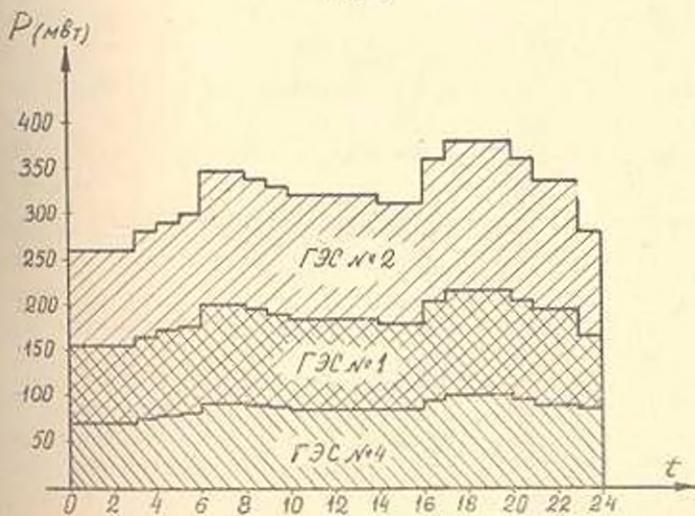


Рис. 4.

Значения $P_{np(t)} = P_{u(t)} - P_n$ сведены в табл. 2.

$\varepsilon_{1\text{ ср}} = 0,89 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$; $\varepsilon_{2\text{ ср}} = 0,40 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$; $\varepsilon_{4\text{ ср}} = 0,56 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$;

$\lambda_2 = 2,22$; $\lambda_4 = 1,59$. Зависимости ε_1 , $\lambda_2\varepsilon_2$ и $\lambda_4\varepsilon_4$ от P приведены на рис. 3.

$\varepsilon_{\text{max}} = \lambda_1 \varepsilon_{2\text{max}} = 1,62 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$; $\varepsilon_{\text{min}} = \lambda_1 \varepsilon_{2\text{min}} = 0,32 \text{ м}^3/\text{Мвт. сек}$;

$P_{np\text{ max}} = 490 \text{ Мвт}$; $P_{np\text{ min}} = 140 \text{ Мвт}$; $\varepsilon_{\text{max}} - \varepsilon_{\text{min}} = 1,62 - 0,32 = 1,30$;

$l = 26$; $\Delta\varepsilon = 0,05$. Для 26-и значений $\varepsilon_c = \lambda_1 \varepsilon_c = \varepsilon_{\text{min}} + \Delta\varepsilon \cdot l' = 0,32 + 0,05l'$ ($l' = 0 \div 26$) составляется табл. 3 (приводится в сокращенном виде).

Распределение $P_{np(t)}$ между регулируемым ГЭС каскада произведено на основании табл. 3. Графики распределения приведены на рис. 4. Соответствующие значения расходов воды на регулируемых ГЭС, определенные по характеристикам $Q_1(P_1)$ (рис. 2), сведены в табл. 4.

$Q_{1\text{ срф}} = 44,7 \text{ м}^3/\text{сек}$; $Q_{2\text{ срф}} = 38 \text{ м}^3/\text{сек}$; $Q_{4\text{ срф}} = 31,6 \text{ м}^3/\text{сек}$;

$\Delta Q_1 = 0,3 < 1,3 \text{ м}^3/\text{сек}$; $\Delta Q_2 = 0,7 < 1,1 \text{ м}^3/\text{сек}$; $\Delta Q_4 = 0,8 < 1,0 \text{ м}^3/\text{сек}$.

По характеристикам $P_2(Q_2 = Q_3)$ (рис. 2) определяются значения $P_2(t)$, приведенные в табл. 5. Значения перетоков $P_{n(t)} = P_n - P_{2(t)}$ сведены в табл. 6.

Институт энергетики
АН Армянской ССР

Поступило 2.IV 1963 г.

Լ. Ա. ԴԻԼԱՆՅԱՆ

ՀԳՈՐՈՒԹՅԱՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՒՄ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ԿԱՍԿԱԴԱԿԱՆ ԳԵՏԻՆԵՐԱԿԱՆ ԿԱՐԳԱՆՈՒՄԸ ԵՎ ԵՐԱՆՈՒՄԸ ԻՆՏԵՂԵԿՏՈՒԱԿԱՆ ԿԱՐԳԱՆՈՒՄԸ

Ո Ւ Մ Ո Ւ Ն

Հաղվածում բերված է էներգետիկական արտադրության անվտանգ կառավարման արդյունքը, երբ ազդել սխառների անվտանգ էներգետիկական արտադրության չափերը, երբ ազդել սխառների անվտանգ էներգետիկական արտադրության չափերը, երբ ազդել սխառների անվտանգ էներգետիկական արտադրության չափերը, երբ ազդել սխառների անվտանգ էներգետիկական արտադրության չափերը:

Տրված է խնդրի մաթեմատիկական լուծումը: Վերջինիս համար կազմված է ալգորիթմ, որը կարելի է իրականացնել գրանցված գրանցված մեքենայի օգնությամբ: Թերթում է ալգորիթմի լուծման մեքենայի օգնությամբ սխառների համար, որը բաղկացած է հիդրակառավարման կառավարիչի:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. М. Горюштин. Навыгоднейшие режимы работы гидростанции в энергетических системах. Гидроэнергоиздат, М.—Л., 1959.
2. Л. С. Бедяев. Некоторые вопросы энергетического годичного регулирования стока каскада параллельно работающих ГЭС. Автореферат канд. диссертации, 1959.
3. Г. Г. Авоиц, Ю. Г. Григорян, М. М. Авоиц. Алгоритм, программа и пример расчета на ВММД режима экономии топлива в энергосистеме, связанного с выбором соотношения агрегатов. «Известия АН Армянской ССР», т. XIV, ТН, № 3, 1961.