

ГИДРОТЕХНИКА

В. О. ТОКМАДЖЯН

НАИВЫГОДНЕЙШЕЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ
МЕЖДУ СУТОЧНО-РЕГУЛИРУЮЩИМИ ДЕРИВАЦИОННЫМИ ГЭС

Себестоимость энергии в системе в известной мере зависит от правильного распределения нагрузки между суточно-регулирующими установками.

Рассмотрим вопрос об определении наивыгоднейшего распределения нагрузки между двумя суточно-регулирующими деривационными установками, исходя из экономического принципа минимума себестоимости в системе.

Исследованием подобного вопроса занимался Егназаров [1]. Исходя из критерия минимума суммарных ежегодных расходов в системе, он дает графоаналитическое решение этой задачи.

Сохраняя подход Егназарова к решению задачи о наивыгоднейшем распределении нагрузки между двумя суточно-регулирующими деривационными установками, мы принимаем однако иную схему распределения нагрузки, при которой возможна полная и частичная работа каждой ГЭС в пиковой части.

Обозначим среднесуточной мощности через N , а установленные* мощности через P .

При расчете принимается, что суммарная среднесуточная мощность $\sum Ni$ (с учетом наличия длительного регулирования, т. е. мощности по деривационным расходам) равна средней ординате расчетного суточного графика нагрузки.

Для проводимых ниже расчетов принимается максимальный характерный суточный график нагрузки.

Выделив часть графика нагрузки, покрываемую суточно-нерегулирующими установками, оставшуюся часть (выше линии среза) этого графика покрываем сверху и снизу одной из установок, а среднюю часть — другой установкой, как это показано на рис. 1.

В качестве независимой переменной принимаем верхнюю долю установленной мощности первой установки P_1 .

С помощью анализирующей кривой по суточным выработкам определяются установленные мощности первой и второй установки P_1 и P_2 .

* Под установленной мощностью принимается максимальная рабочая мощность, т. е. мощность ГЭС без зерка.

Способ получения этих мощностей следующий (рис. 1): заданная значением P_1 с помощью анализирующей кривой определяем \mathcal{E}_1 . Прибавляя к \mathcal{E}_1 значение $\mathcal{E}_2 = 24 \Lambda_2$, из той же кривой определяем мощность P_2 . Оставшаяся мощность будет P_1 , а $P_1 = P_1 - P_2$. Пределы изменения P_1 нуль и мощность при котором площадь \mathcal{E}_1 равняется всей суточной выработке $\mathcal{E}_1 = 24 \Lambda_1$. При этом первая установка целиком покрывает верхнюю часть графика и ее установленная мощность достигнет максимального значения.

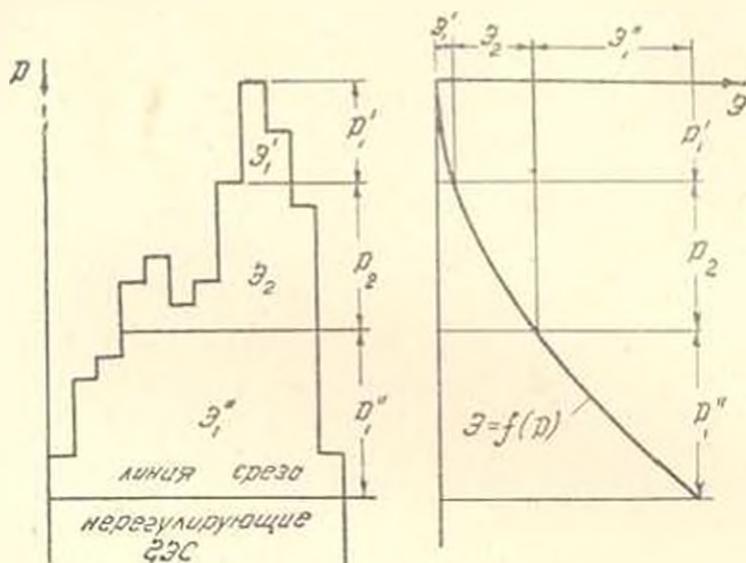


Рис. 1.

В целях упрощения дальнейших расчетов целесообразно принимать за основу расчета относительные графики нагрузки т. е. $P_{\max} = 1,0$.

При этом переменная P_1 заменяется отношением $\frac{P_1}{P_{\max}} = p$.

Для определения себестоимости энергии одной ГЭС с достаточной для практики точностью можно исходить из следующего выражения:

$$s = \frac{\alpha K}{\mathcal{E}_{\text{год}}} \quad (1)$$

где α — коэффициент, учитывающий прямые и косвенные эксплуатационные расходы, K — общие капиталовложения в ГЭС, $\mathcal{E}_{\text{год}}$ — годовая выработка энергии ГЭС.

Аналогично может быть определена приведенная себестоимость для всей энергосистемы:

$$S = \frac{\sum \alpha_i K_i}{\mathcal{E}_{\text{год}} \text{ сис.}} \quad (2)$$

Капиталовложения в гидроэлектростанцию можно определить из выражения:

$$K = a + B P_{уст} + c W, \quad (3)$$

где a — стоимость тех сооружений, параметры которых не зависят от осуществления суточного регулирования (головной узел, деривация, сбросные сооружения), а также постоянная часть стоимости остальных сооружений, B^* — стоимость дополнительного киловатта установленной мощности, c — стоимость 1 м³ объема (W) бассейна суточного регулирования (БСР).

Объем БСР — можно определить из следующего выражения:

$$W = \frac{k_2 I_0 P_{max}}{H} V, \quad (4)$$

где V — необходимая емкость БСР в *квч*, определяемая по относительному графику нагрузки (рис. 2); I_0 — объем воды, дающий 1 *квч* энергии при напоре $H = 1$ м.

$$I_0 = \frac{3600}{9,8 \gamma} \sim (450 \div 550) \text{ м}^3$$

k_2 — коэффициент запаса.

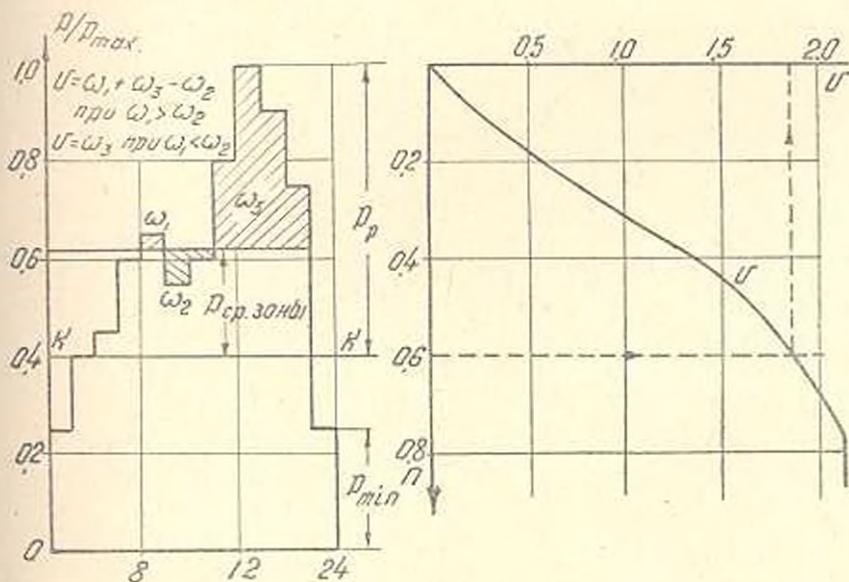


Рис. 2.

* Значение B легко определяется по сметным данным, а при проектировании ГЭС ориентировочно по формуле, подученной нами (используя исследование Г. Г. Связице [2]).

$$B = \frac{8310}{1 P^{0.5}} z^{0.5} + 312 + \left(\frac{968}{1 P^{0.5}} + 80 \right) \frac{z-1}{z} + 0.110 \lambda_T \left(H + \frac{10000}{H} \right) + 43 \lambda_T$$

где H — напор ГЭС; λ_T — отношение длины напорного трубопровода к напору; z — число агрегатов.

Для построения функции V введем понятие о степени регулирования $\lambda = \frac{P_p}{P_{max}}$, где P_p — мощность зоны графика нагрузки, в которой производится суточное регулирование, P_{max} — максимальная ордината всего графика нагрузки (рис. 2). Каждому значению λ на графике нагрузки будет соответствовать некоторая переменная линия $k-k$, выше которой производится суточное регулирование. Для этой зоны (т. е. для зоны выше линии $k-k$) графика нагрузки определяется положение линии средней мощности и необходимая энергетическая емкость БСР в зависимости от площадей $\omega_1, \omega_2, \omega_3$, и именно:

$$V = \omega_1 + \omega_2 - \omega_3 \quad \text{если } \omega_1 > \omega_3 \quad (5)$$

или

$$V = \omega_2 \quad \text{если } \omega_1 < \omega_3$$

Изменяя степень регулирования λ в интервале $0 < \lambda < \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{max}}$

одним и тем же способом определяем соответствующие необходимые энергетические емкости БСР, на основании чего и строится кривая изменения V при данной конфигурации графика нагрузки (рис. 2).

Задаваясь значением p определяем необходимые емкости БСР первой и второй установки. Способ определения этих емкостей дан на рис. 3, из которого видно, что емкости БСР первой и второй ГЭС могут быть выражены так:

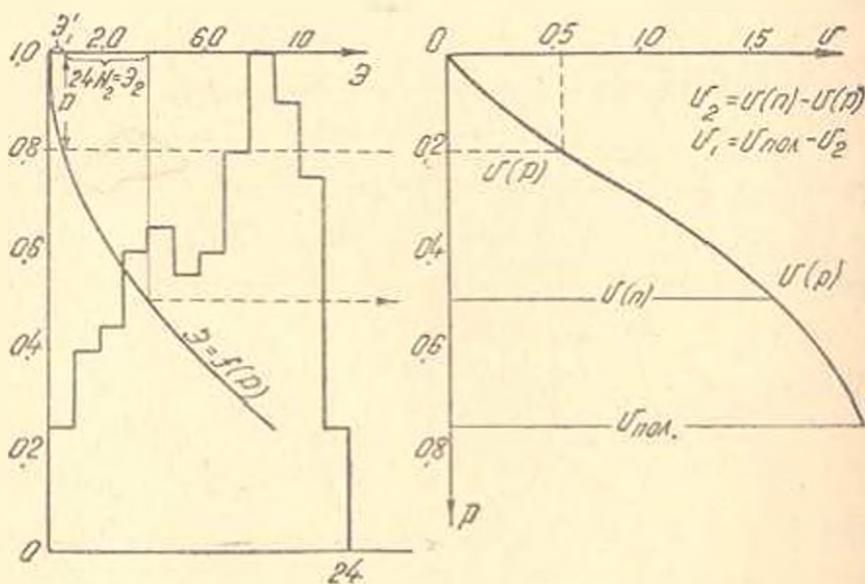


Рис. 3.

$$V_2 = V(n) - V(p)$$

$$V_1 = V_{max} - V_2$$

(6)

где $V(n)$ — емкость соответствующей мощности $\frac{P_1 + P_2}{P_{\max}}$; $V_{\text{пол}}$ — полная необходимая емкость по графику нагрузки.

На основе вышеприведенных выражений (2—6) значение себестоимости энергии в системе выразится так:

$$S = \frac{\alpha \left[\sum a_i + \sum B_i P_i + k_3 f_0 1,3 \left(\frac{c_2}{H_1} V_1 + \frac{c_2}{H_2} V_2 \right) \sum N_i \right]}{1,3 h \sum N_i} \quad (7)$$

где $\beta = \frac{P_{\text{ог}}}{P_{\max}}$ — коэффициент полноты графика нагрузки; h — число часов использования максимальной мощности графика нагрузки.

Имея ввиду, что $V_1 = V_{\text{пол}} - V_2$ и $(P_1 - N_1) = (1 - \beta) \sum N_i - (P_2 - N_2)$ и обозначая

$$d = \frac{1,3 c_2}{H} \quad (8)$$

(здесь d — параметр показывающий качество БСР в отношении суточного регулирования). После подстановки получаем следующее выражение:

$$S = \frac{\alpha \sum a_i}{h \sum N_i} + \frac{\alpha \sum B_i N_i}{h \sum N_i} + \frac{\alpha (B_2 - B_1) (P_2 - N_2)}{h \sum N_i} + \frac{\alpha}{h} (1 - \beta) B_1 + \frac{\alpha}{h} (d_2 - d_1) V_2 + \frac{\alpha}{h} d_1 V_{\text{пол}} \quad (9)$$

Из этого выражения видно, что себестоимость энергии в системе можно выразить через переменные параметры (P и V) одной установки. Для определения оптимального значения переменной p , при котором себестоимость сводится к минимуму, выделим из выражения (9) часть, зависящая от суточного регулирования:

$$\psi(p) = \frac{B_2 - B_1}{\sum N_i} (P_2 - N_2) + (d_2 - d_1) V_2 + (1 - \beta) B_1 + d_1 V_{\text{пол}} \quad (10)$$

Наименьшее значение функции $\psi(p)$ определяется при помощи непосредственного построения этой функции по точкам.

Отметим, что при увеличении p значения P_2 и V_2 непрерывно убывают, что приводит к следующим условиям, определяющим наименьшее значение функции $\psi(p)$:

1. Если $B_1 > B_2$ и $d_2 > d_1$, то минимальное значение себестоимости получается тогда, когда верхняя часть графика нагрузки покрывается первой установкой, а остальная часть — второй установкой. При этом параметр p достигает своего предельного значения.

2. Если $B_1 < B_2$ и $d_2 < d_1$, то имеет место обратная картина: параметр p достигает нуля, а P_2 и V_2 достигают максимума.

3. Если $B_2 < B_1$, а $d_2 > d_1$ или $B_2 > B_1$, а $d_2 < d_1$, то оптималь-

ное значение p определяется экономически, с помощью уравнения (10). Так как выбор станции покрывающей среднюю часть графика произволен, то нужно решать задачу для двух возможных случаев, помещая каждую из станций в среднюю часть графика.

Ниже дается пример невыгоднейшего распределения нагрузки между двумя суточно-регулирующими установками.

Пример. Местная энергосистема состоит из четырех деривационных ГЭС, причем первая и вторая имеют неограниченные возможности в отношении суточного регулирования, а третья и четвертая не имеют возможности суточного регулирования.

Станции энергосистемы имеют следующие параметры:

Таблица 1

ГЭС №	H м	N квт	z	L_T	B руб квт	c руб кВт	d
1	65	2150	4	1,6	1692	15	127
2	50	1080	2	1,3	1832	9	99
3	80	5500					
4	40	3700					
Всего	235	12430					

Расчетный график нагрузки в относительных координатах дан на рис. 4.

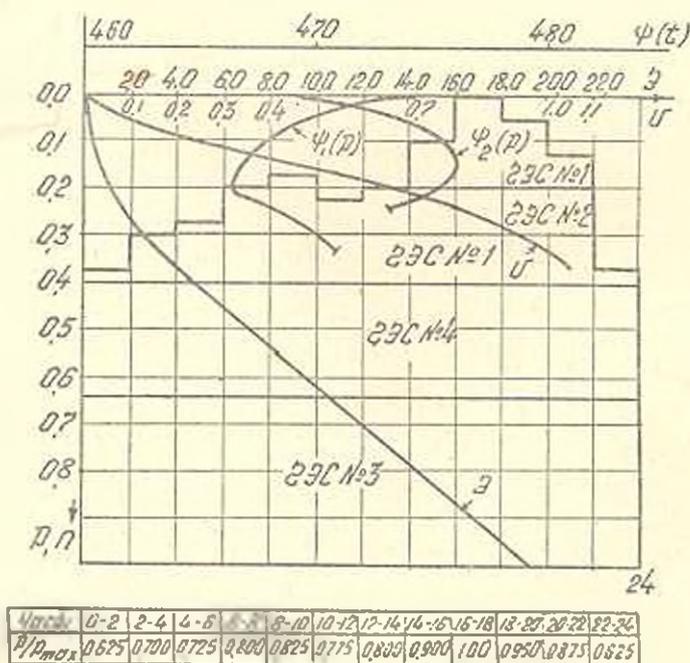


Рис. 4.

Принимаем, что в первом варианте сверху и снизу оставшаяся часть графика нагрузки покрывается первой ГЭС, а средняя часть — второй ГЭС. Во втором варианте принимаем обратную схему. Нумерация ГЭС соответствует данным таблицы 1.

При этом выражение (10) примет вид:

$$\psi_1(p) = 462,2 + 0,009 P_2 - V_2 \quad (\text{вариант I})$$

$$\psi_2(p) = 489,6 - 0,009 P_1 + 28 V_1 \quad (\text{вариант II}).$$

Пользуясь анализирующей кривой и кривой V (рис. 4) определяем P и V для разных значения p табл. 2.

Таблица 2

I вариант

p	Ξ_1	$\Xi_1' - \Xi_2$	n	P_2	V_2	$0,009 P_2$	$28 V_2$	$\psi_1(p)$
0,00	0,00	1,68	0,25	3860	0,83	34,7	23,2	473,7
0,05	0,10	1,78	0,255	3170	0,75	28,5	21,0	469,7
0,10	0,30	1,98	0,268	2595	0,25	23,4	17,5	468,1
0,15	0,55	2,23	0,280	2010	0,460	18,1	12,9	467,4
0,20	0,95	2,63	0,300	1545	0,275	13,9	7,7	466,4
0,25	1,60	3,10	0,333	1280	0,190	11,5	5,3	468,4
0,30	2,50	4,18	0,375	1160	0,100	10,4	2,8	469,8
0,35	3,50	5,18	0,420	1080	0,020	9,75	0,56	471,4

II вариант

p	Ξ_2'	$\Xi_2' - \Xi_1$	n	P_1	V_1	$0,009 P_1$	$28 V_1$	$\psi_2(p)$
0,00	0,00	3,31	0,310	5300	0,99	47,7	27,4	469,3
0,05	0,10	3,44	0,350	4610	0,91	41,7	25,5	473,3
0,10	0,30	3,64	0,355	3910	0,77	35,4	21,5	475,7
0,15	0,55	3,89	0,366	3330	0,59	30,0	16,5	476,1
0,20	0,95	4,29	0,382	2810	0,40	25,3	11,2	475,5
0,25	1,60	4,91	0,410	2170	0,21	22,2	15,9	473,3
0,30	2,50	5,84	0,445	2240	0,10	20,2	12,8	472,2
0,35	3,50	6,84	0,490	2160	0,04	19,4	1,1	471,3

По данным табл. 2 строятся кривые $\psi_1(p)$ и $\psi_2(p)$ (рис. 4). Из этих кривых видно, что наивыгоднейшее покрытие графика нагрузки получается в первом варианте и при $p = 0,20$, соответствующие параметры регулирующих ГЭС будут оптимальными.

Трансальский политехнический институт

Поступило 10.VI 1959

Վ. Հ. ԹՈՒՔՄԱԶՅԱՆ

ԲՆՈՒ ԱՄԵՆԱՆՊԱՏԱԿԱԶԱՐՄԱՐ ԲԱՇԽՈՒՄԸ ՈՐՎԱ ԿԱՆՈՆԱՎՈՐՈՒՄ ՈՒՆԵՑՈՒԼ
ԳՆՐՈՎԱՑԻՈՆ ՀԻԳՐՈԼԵԿՏՐԱԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ՄԻՋԵՎ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Հողածամ շենարկում է տրված օրվա բևեի զրաֆիկի զագաթային մասի բաշխման հարցը օրվա կանոնադրում ունեցող գերիվազին հիդրոէլեկտրակայանների միջև, ելնելով սխտեմում էներգիայի ինքնարժեքի միևնույնից, Բնդունվում է, որ բևեի զրաֆիկի բաշխվող մասը ծածկվում է միայն բարձր ճնշման հիդրոէլեկտրակայանների էներգիայի միջոցով, ալսինքն հիդրոէլեկտրակայանների ճնշման փոփոխությունները հաշվի չեն առնվում:

Հողածամ տրվում են ալն կրիտերիաները, որոնք հնարավորություն են սալիս որոշելու տվյալ հիդրոէլեկտրակայանի նպատակահարմար անդը բևեի զրաֆիկի վրա և արդյունքում սրոշվում են օրվա կանոնադրում ունեցող հիդրոէլեկտրակայանների պարամետրերը:

Հողածի վերջում տրվում է հաշվման թվային օրինակ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Егизаров И. В. Гидроэлектрические силовые установки. Часть 1, ОНТИ. Москва, 1934 г., гл. VI, § 14л.
2. Сванидзе Г. Г. Методика определения оптимальных параметров деривационной гидроэлектростанции. Сообщение АН СССР, т. XII, № 1, 1951.