

Л. А. ЧИЛНИГАРЯН

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕКОТОРЫХ ЭНЕРГО-ИРРИГАЦИОННЫХ СХЕМ НА ГОРНЫХ МАЛЫХ ВОДОТОКАХ

В технической литературе недостаточно освещены вопросы связанные с определением параметров энерго-ирригационного комплекса в южных горных районах. Имеются некоторые исследования по энергетическим и ирригационным особенностям горных районов [4], а также методы по определению машинного зонального орошения [1, 3], однако, они не дают конкретного метода решения задач энергетического и ирригационного использования малых водотоков в их взаимосвязи.

При составлении схемы рационального энерго-ирригационного использования этих водотоков, с целью возможно полного использования энергетических ресурсов, в технико-экономическом анализе, помимо других, должны рассматриваться и варианты, обеспечивающие максимальную энергетическую эффективность. Под этим термином в данной работе понимается максимальная выработка энергии за год (или максимальная среднегодовая мощность), максимальная выработка энергии за летний ирригационный период и максимальная гарантированная (обеспеченная) мощность летом.

В настоящей работе сделана попытка разработать методику определения основных параметров отдельных и каскадно расположенных энерго-ирригационных установок в указанных выше районах, основываясь на принципе получения максимального энергетического эффекта с одновременным полным (или согласованным) удовлетворением нужд ирригации прилегающей к водотоку площади.

Такая постановка вопроса отвечает требованиям инструкции [2].

При определении основных параметров энерго-ирригационных установок в работе принимаются следующие допущения:

1. Считаются известными гидрологические характеристики используемого участка реки;
2. Принимаются известными характеристики орошаемой площади, т. е. границы орошения вдоль используемого участка водотока, график гидромодуля орошения (или максимальная $q_{\text{макс}}$ и средняя $q_{\text{ср}}$ орди-

наты этого графика), коэффициент земельного использования орошаемой территории ($\tau_{пл}$), к. п. д. ирригационной системы ($\tau_{ис}$);

3. Принимается заданным расчетный расход (или его обеспеченность) для любых створов водотока (кроме первого расчетного случая по первой схеме, см. ниже). Расчеты ведутся по среднему фиктивному году, поэтому результаты следует проверить по маловодному году, особенно по части удовлетворения ирригационной потребности;

4. Рассматривается энерго-ирригационное использование средних и малых горных водотоков с гидростанциями деривационного типа без регулирования, т. е. работающими на естественном стоке водотока.

Здесь рассматриваются: отдельная ступень энерго-ирригационных установок и каскад установок (рис. 1, 5); двухветочный канал орошения определенной площади, на

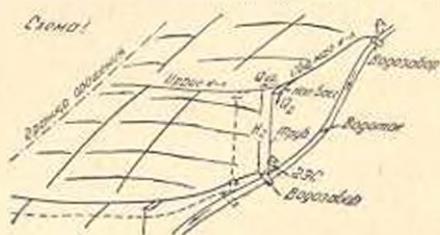


Рис. 1.

спаде нижней ветки которого намечается ГЭС (рис. 2); энерго-ирригационная установка с участием насосной станции на отводящем канале ГЭС (рис. 3).

Необходимым условием решений является наличие зависимости роста орошаемой площади

брутто Ω , прилегающей к водотоку (или отдельного массива) по мере надения отметок H , отсчитывая от начала ступени или рассматриваемого участка водотока

$$\Omega = f_0(H) \quad (1)$$

Кривая связи [1], которую легко построить при помощи картографического материала, имеет вид параболической кривой. Мясницким Н. В. [3] она названа характеристической кривой рельефа. Такой кривой пользовался и Войнич-Сяноженцкий Г. П. [1], который на основе анализа характеристик рельефа доказал, что во многих случаях эти кривые могут быть выражены с большой точностью аналитическими зависимостями. Он считает практически достаточно точной и удобной для математического анализа и графических решений зависимость вида:

$$\Omega = AH^m, \quad (2)$$

где A и m постоянные коэффициенты, причем $\frac{1}{3} < m < 3,0$ для небольших массивов с неярким рельефом.

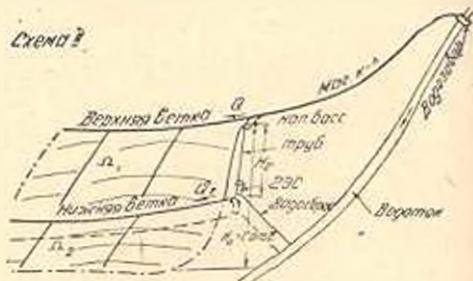


Рис. 2.

1. Схема первая. Ступень каскада энерго-ирригационных установок

Сущность схемы заключается в следующем. Вода забирается в общий энерго-ирригационный канал, из которого часть воды отвлекается на ирригацию, а остальная часть поступает на ГЭС. Вода, обработанная на ГЭС в сумме с расходом, накопившимся в реке за счет притоков, снова делится между ирригацией и энергетикой по аналогичной описанной схеме (рис. 1).

Пропускные способности ирригационных каналов определяются площадями, заключенными между ними.

Основными параметрами, подлежащими определению, являются: высота ступени (напор гидростанции), забираемый общий расход и соотношение между расходами ГЭС и ирригации.

В качестве расчетного энергетического эффекта может быть принята мощность или энергоотдача ГЭС, в зависимости от связи ГЭС с энергосистемой и от требований, предъявляемых к ГЭС.

При связи гидростанций с энергосистемой, имеющей регулирующие станции, рассматриваемым эффектом будет энергоотдача ГЭС в годовом разрезе. В случае изолированной работы ГЭС, когда ее мощность зимой больше, чем летом в ирригационный период (это

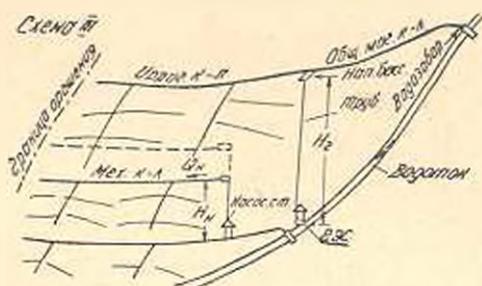


Рис. 3.

обстоятельство требует проверки), во многих случаях потребуется обеспечение возможно большей гарантированной мощности в летний период, или же—обеспечение возможно большей энергоотдачи. В первом случае, при известном забираемом расходе в общий водозабор, с увеличением высоты ступени мощность ГЭС, а также выработка энергии вначале возрастает, а затем убывает вследствие увеличения потребного ирригационного расхода. Каждому значению расчетного расхода соответствует одно значение оптимальной высоты соответствующей максимальной энергоотдаче, которая тем больше, чем больше расчетный расход. Поэтому, выработка энергии ГЭС с увеличением расчетного расхода может увеличиваться, а затем снижаться, так как увеличением оптимального напора отнимаемый ирригационный расход все возрастает за счет расхода ГЭС.

Для учета отнимаемого ирригационного расхода в летний поливной период гидрологический год делим на летний и зимний периоды и строим соответствующие кривые продолжительности расходов (рис. 4).

Годовая выработка энергии на рассматриваемой ступени, с учетом

объема ирригационного расхода

$$Q_{\text{ир}} = A_{\text{ир}} A H^m \quad (3)$$

в летнем периоде, выразится формулой:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{гоа}} = A_{\text{Г}} \left[H (Q_{\text{р}} - A_{\text{ир}} A H^m) t_{\text{л}} + H \int_{t_{\text{л}}}^{T_{\text{л}}} (Q_{\text{р}} - A_{\text{ир}} A H^m) dt_{\text{л}} + \right. \\ \left. H Q_{\text{р}} t_{\text{з}} + H \int_{t_{\text{з}}}^{T_{\text{з}}} Q_{\text{р}} dt_{\text{з}} \right], \quad (4) \end{aligned}$$

где $A_{\text{Г}} = 9,81 \eta_{\text{Г}}$ — коэффициент мощности ГЭС;

$\eta_{\text{Г}}$ — к. п. д. гидростанций;

$A_{\text{ир}} = q_{\text{макс}} \frac{\eta_{\text{па}}}{\eta_{\text{ис}}}$ — коэффициент ирригационной характеристики оро-

шаемой площади;

$T_{\text{л}}$ — продолжительность летнего периода в часах;

$T_{\text{з}}$ — продолжительность зимнего периода;

$t_{\text{л}}$ — продолжительность расчетного расхода $Q_{\text{р}}$ в летнем периоде (в часах);

$t_{\text{з}}$ — то же и зимнем периоде.

Из условия максимума $\mathcal{E}_{\text{гоа}}$ (дифференцируя $\mathcal{E}_{\text{гоа}}$ по H и по $Q_{\text{р}}$ и приравнявая нулю) получаем следующее значение оптимальной высоты ступени:

$$H_{\text{опт}} = \sqrt[m]{\frac{\omega_{\text{р. опт}}}{(m+1) A_{\text{ир}} A T_{\text{л}}}}, \quad (5)$$

где

$\omega_{\text{р. опт}}$ — оптимальное значение используемого годового стока (уменьшенное 3600 раз). $\omega_{\text{р. опт}}$ определяется совместным решением следующих уравнений:

$$\omega_{\text{р}} = (t_{\text{л}} + t_{\text{з}}) Q_{\text{р}} + \int_{t_{\text{л}}}^{T_{\text{л}}} Q_{\text{р}} dt_{\text{л}} + \int_{t_{\text{з}}}^{T_{\text{з}}} Q_{\text{р}} dt_{\text{з}}, \quad (6)$$

$$\frac{\omega_{\text{р}}}{(m+1) T_{\text{л}}} = \frac{t_{\text{л}} + t_{\text{з}}}{\frac{dt_{\text{л}}}{dQ_{\text{р}}}}, \quad (6')$$

где

$Q_{\text{л}}$ и $Q_{\text{з}}$ — расходы по кривой обеспеченности (продолжительности) летнего и зимнего периодов.

Уравнения (6) и (6') легко решаются графоаналитическим способом, при заданных значениях $Q_{\text{р}}$. Если имеются аналитические выражения

функции $t_1 = f_1(Q_1)$ и $t_2 = f_2(Q_2)$, решение можно произвести аналитически.

Если известны забираемые средние используемые расходы [5] в летний ($Q_{с.л.}$) и зимний ($Q_{с.з.}$) периоды, то годовую выработку энергии ГЭС можно выразить следующей формулой:

$$\mathcal{E}_{год} = A_T H [(Q_{с.л.} - A_{ирр} A H^m) T_1 + Q_{с.з.} T_2]. \quad (4)$$

Дифференцируя $\mathcal{E}_{год}$ по H и приравнявая полученное выражение нулю, определяем:

$$H_{опт} = \sqrt[m]{\frac{Q_{с.л.} (1 + \alpha_Q \alpha_1)}{(m+1) A \cdot A_{ирр}}}. \quad (7)$$

Здесь обозначены

$$\alpha_Q = \frac{Q_{с.з.}}{Q_{с.л.}} \quad \text{и} \quad \alpha_1 = \frac{T_2}{T_1}$$

Согласно формул (3) и (7) при $H_{опт}$ соотношение расходов ирригации и ГЭС в летнем периоде составит:

$$\frac{Q_{ирр}}{Q_{гэс.л.}} = \frac{1 + \alpha_Q \alpha_1}{1 - \alpha_Q \alpha_1} \quad (8)$$

Нетрудно заметить, что полученное выражение не зависит от характеристического коэффициента ирригации $A_{ирр}$ и от постоянного коэффициента роста площади A .

Если за расчетную энергетическую эффективность принять обеспечение максимальной выработки энергии в летний период, то задача сводится к частному случаю предыдущей.

В ф-ле (7), принимая $Q_{с.з.} = 0$ и коэффициентом $\alpha_{ор}$ (коэффициент плотности графика гидромодуля $\alpha_{ор} = \frac{q_{ср.л.}}{q_{макс}}$), учитывая возможность использования сбросных расходов ирригации, получим:

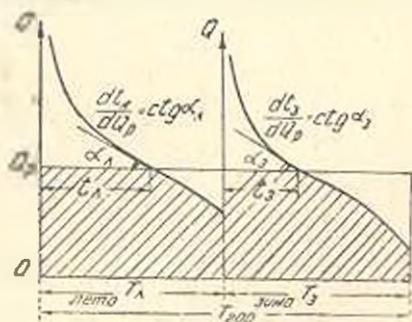


Рис. 4

$$H_{мин} = \sqrt[m]{\frac{Q_{с.л.}}{(m+1) \alpha_{ор} A_{ирр} A}} \quad (7')$$

Отношение средних расходов будет

$$\frac{Q_{ирр. ср.}}{Q_{гэс. ср.л.}} = \frac{1}{m} \quad (8')$$

Возможен также частный случай, когда имеется необходимость получения максимальной обеспеченной мощности летом. При этом в расчетах вместо среднего расхода следует взять минимальный обес-

печенный расход летом ($Q_{\text{мин. л.}}$) и не учесть $\alpha_{\text{ор}}$. Тогда

$$H_{\text{опт}} = \sqrt[m]{\frac{Q_{\text{мин. л.}}}{(m+1) A_{\text{ир}} A}} \quad (9)$$

Соотношение расходов будет:

$$Q_{\text{гвс. л.}} = \frac{m}{1+m} \cdot Q_{\text{мин. л.}}; \quad \frac{Q_{\text{гвс. л.}}}{Q_{\text{гвс. л.}}} = \frac{1}{m} \quad (8'')$$

Следует учесть, что высота ступени не может быть больше предельной

$$H_{\text{пред.}} = \sqrt[m]{\frac{Q_{\text{мин. л.}}}{A_{\text{ир}} A}} \quad (10)$$

при которой расход $Q_{\text{мин. л.}}$ целиком поступает на ирригацию. Поэтому в случае $H_{\text{опт}} > H_{\text{пред.}}$ надо положить $H_{\text{ступень}} = H_{\text{пред.}}$. Только в случае (9) можно с уверенностью сказать, что всегда $H_{\text{опт}} < H_{\text{пред.}}$

Отношение $\frac{H_{\text{опт}}}{H_{\text{пред.}}} = \frac{1}{\sqrt[m]{m+1}}$ (11) зависит только от формы

кривой роста площади. Оно практически, как и видно из таблицы 1, изменяется в пределах $\frac{H_{\text{опт}}}{H_{\text{пред.}}} = 0,424 \div 0,633$ (если учесть, что для небольших площадей $m = 0,33 \div 3,0$).

Таблица 1

m	0,33	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
$\frac{H_{\text{опт}}}{H_{\text{пред.}}}$	0,424	0,445	0,50	0,544	0,578	0,633
$\frac{Q_{\text{гвс. л.}}}{Q_{\text{мин. л.}}}$	0,25	0,333	0,5	0,6	0,667	0,75
$\frac{Q_{\text{ир.}}}{Q_{\text{мин. л.}}}$	0,75	0,667	0,5	0,4	0,333	0,25
$\frac{Q_{\text{ир.}}}{Q_{\text{гвс. л.}}}$	3,0	2,0	1,0	0,667	0,5	0,333

Оптимальную высоту ступени $H_{\text{опт}}$ для приведенных выше случаев легко определить графическим способом при помощи действительной кривой $\Omega = f_{\Omega}(H)$.

2. Схема вторая. ГЭС на спаде нижней ветки ирригационного канала

Такая схема (рис. 2) часто встречается в практике проектирования ирригационных каналов вне каскада ГЭС, особенно в предгорных районах.

Здесь, как и в рассмотренном выше случае, в летний период забирается расход определенной обеспеченности $Q_x = Q_{\text{ир}}$ и им осуществляется орошение определенной площади.

$$\Omega_0 = \frac{Q_x}{A_{\text{ир}}}$$

следовательно, падение отметок орошаемой площади H_0 , при известных боковых границах орошаемой площади определению. Из формулы (3) и (4) следует, что:

$$H_0 = \sqrt[m]{\frac{\Omega_0}{A}} = \sqrt[m]{\frac{Q_x}{A_{\text{ир}} A}} \quad (10')$$

Но площадь Ω_0 делится на две части $\Omega_0 = \Omega_1 + \Omega_2$. Площадь Ω_1 орошается верхней веткой канала, а Ω_2 — нижней. Ирригационный расход в нижней ветке проходит через ГЭС, следовательно, чем больше Ω_2 , тем больше расход ГЭС. Но так как площадь Ω_2 можно увеличить только за счет верхней ее границы, что связано с уменьшением напора ГЭС, то задача сводится к определению энергетически оптимального напора на ГЭС. Под последним здесь, как и в прежней схеме, можно понимать напор, при котором обеспечивается гарантированная летняя мощность, или максимальная летняя выработка энергии, или максимальная годовая выработка энергии.

Несмотря на то, что эта схема отличается от первой, вопрос решается так же, как при первой схеме. Действительно, в данном случае перепад H_0 в пределах орошаемой площади играет такую же роль, как и предельная высота ступени в первой схеме. Перепад же на нижней ветке канала (напор ГЭС) можно определить тем же способом и по тем же формулам, по которым определяется оптимальная высота ступени по первой схеме.

3. Третья схема. Участие механического орошения в энерго-ирригационном комплексе

Эта схема (рис. 3) также имеет большое распространение. Введение в энерго-ирригационную схему насосной станции на канале нижней ступени (или при некаскадной схеме на отводящем канале ГЭС) для подачи воды на орошение нижней полосы данной ступени позволяет соответствующий ей расход пропустить через ГЭС, получая при этом дополнительную мощность (энергию). При увеличении напора насосной станции увеличивается площадь механического орошения, следовательно, и дополнительный расход, проходящий через ГЭС, что вызывает увеличение дополнительной мощности и энергии. С другой стороны, увеличение напора насосной станции увеличивает потребляемую ею мощность.

Разность между получаемой дополнительной мощностью (энергией) на ГЭС и потребной мощностью (энергией) для работы насосной

станции дает энергетический эффект от включения механического орошения.

С энергетической точки зрения, оптимальный напор насосной станции должен обуславливать максимум энергетического эффекта.

Рассмотрим случаи, когда высота ступени задана и когда она не задана.

В первом случае энергетической эффективностью является разность дополнительной мощности на ГЭС N'_r и потребной мощности для насосной станции N_n , которая составляет:

$$N'_r - N_n = A_r A_{np} A \left[H_r^m - (H_r - H_n)^m \right] \left(H_r - H_n \frac{A_n}{A_r} \right), \quad (12)$$

где H_r — заданная высота ступени (напор ГЭС);

H_n — высота нагнетания насосной станции;

$A_n = \frac{9,81}{\tau_{н.с.}}$ — коэффициент мощности насосной станции;

$\tau_{н.с.}$ — к. п. д. насосной станции.

Из условия максимума получаем:

$$\frac{H_{н. опт.}}{H_r} = 1 - \sqrt[m-1]{\frac{\alpha_n}{m + \alpha_n - \alpha_n(m+1) \frac{H_{н. опт.}}{H_r}}} \quad (13)$$

где $\alpha_n = \frac{A_n}{A_r}$

Уравнение (13) можно решить методом последовательного приближения или графоаналитически.

В таблице 2 даются значения $\frac{H_{н. опт.}}{H_r}$ и $\frac{N'_r - N_n}{N_r}$ в зависимости от m и α_n , по этим данным видно, что $\frac{H_{н. опт.}}{H_r}$ для выпуклого профиля ($m < 1,0$; если ширина площади по высоте не меняется) больше, чем для вогнутого ($m > 1,0$) и тем меньше, чем меньше к. п. д. ГЭС и насосной станции. То же можно сказать насчет величины $\frac{N'_r - N_n}{N_r} = \frac{Q_{доп.}}{Q_{ос. л.}} \cdot \frac{m}{(m+1) \frac{m+1}{m}}$, т. е. относительного увеличения дополнительной мощности.

Относительное увеличение общей мощности ГЭС $N'_r - N_r + N'_r$ составит:

$$\frac{N'_r}{N_r} = \frac{Q_{с. л.} - Q_{ос. л.} \left(1 - \frac{H_{н. опт.}}{H_r} \right)^m}{Q_{ос. л.}} \quad (14)$$

Если $H_r = H_{r. \text{ опт.}}$ (по I-й схеме) то:

$$\frac{N_r'}{N_r} = 1 - \frac{1}{m} \left[1 - \left(1 - \frac{H_n}{H_r} \right)^m \right]. \quad (14')$$

Отношение мощности насосной станции N_n к первоначальной мощности ГЭС N_r составит:

$$\frac{N_n}{N_r} = \frac{a_n}{A_r} \cdot \frac{Q_{\text{нр}}}{Q_{\text{гэс. н}}}, \quad (15)$$

где
$$a_n = A_n \frac{H_{n. \text{ опт.}}}{H_r} \left[1 - \left(1 - \frac{H_{n. \text{ опт.}}}{H_r} \right)^m \right].$$

В случае когда $H_r = H_{r. \text{ опт.}}$ (по I-й схеме):

$$\frac{N_n}{N_r} = \frac{a_n}{A_r} \cdot \frac{1}{m}; \quad (15')$$

$$\frac{N_n}{N_r} = \frac{a_n}{A_r} \cdot \frac{m-1}{m(m+2)} \quad (16)$$

Таблица 2

Значения $\frac{H_n}{H_r}, \frac{N_r' - N_n}{N_r}$

Отношение	α_n m	α_n		
		1,0 ($\gamma_r = 1,0$ $\gamma_{\text{н.с.}} = 1,0$)	1,57 ($\gamma_r = 0,85$ $\gamma_{\text{н.с.}} = 0,75$)	1,79 ($\gamma_r = 0,8$ $\gamma_{\text{н.с.}} = 0,7$)
$\frac{H_n}{H_r}$	0,5	0,55	0,33	0,295
	1,0	0,50	0,32	0,280
	1,5	0,46	0,307	0,267
$\frac{N_r' - N_n}{N_r}$	0,5	0,296	0,172	0,151
	1,0	0,25	0,160	0,140
	1,5	0,217	0,147	0,136

В таблице 3 даются оптимальные соотношения $\frac{N_r'}{N_r}, \frac{N_n}{N_r}$ и $\frac{N_n}{N_r'}$

Из этой таблицы видна тенденция уменьшения указанных соотношений с увеличением m и α_n . Приведенные в таблицах 2 и 3 отношения соответствуют случаю, когда заданная величина H_r является оптимальной (для данной m) по схеме без участия насосов (I и II схемы), в остальных случаях когда $H_r \neq H_{r. \text{ опт.}}$ эти отношения будут больше.

Другие параметры насосной станции и ГЭС (расходы, мощности и т. д.) легко можно определить на основе приведенных параметров.

Пользуясь действительной кривой $\Omega = f_2(H)$ и заданными значениями $\gamma_r, \gamma_{\text{н.с.}}, H_{n. \text{ опт.}}$ легко определяется графическим способом.

В случае выборочного использования участка водотока, аналогично первой схеме высота ступени (напор ГЭС) также может быть не заданной. Тогда задача энергетического решения заключается как в определении высоты нагнетания насосной станции H_n , так и определении напора ГЭС H_r , с тем, чтобы на данной ступени получить максимум энергетической эффективности.

Таблица 3

		Значения $\frac{N_r^*}{N_r}$; $\frac{N_n}{N_r}$; $\frac{N_n}{N_r^*}$		
Отношение	α_n	1,0 ($\tau_r = 1,0$ $\tau_{н.с.} = 1,0$)	1,57 ($\tau_r = 0,85$ $\tau_{н.с.} = 0,75$)	1,79 ($\tau_r = 0,8$ $\tau_{н.с.} = 0,7$)
	m			
$\frac{N_r^*}{N_r}$	0,5	1,667	1,36	1,32
	1,0	1,50	1,32	1,28
	1,5	1,40	1,27	1,25
$\frac{N_n}{N_r}$	0,5	0,363	0,187	0,168
	1,0	0,240	0,161	0,140
	1,5	0,225	0,135	0,095
$\frac{N_n}{N_r^*}$	0,5	0,218	0,112	0,101
	1,0	0,167	0,107	0,094
	1,5	0,163	0,096	0,084

Расчетной эффективностью нужно считать полезную мощность ступени летом, т. е. разность мощностей ГЭС и насосной станции.

$$N_r^* - N_n = A_r Q_n H_r - A_{np} A (H_r - H_n)^m (A_r H_r - A_n H_n) - A_{np} A_n A H_r^m = \text{макс.} \quad (17)$$

Здесь Q_n — забираемый общий расход летом — средний или минимальный, в зависимости от того, что имеется в виду — средняя или обеспеченная мощность летом.

Из условия максимума функции $(N_r^* - N_n)$ легко определить искомые H_r и H_n . Здесь необходимо отметить, что отношение $\frac{H_n}{H_r}$ оста-

Таблица 4
Значения $\frac{H_r}{H_{прод.}}$

m	α_n	1,0	1,57	1,79
	0,5	0,61	0,53	0,52
1,0	0,67	0,59	0,58	
1,5	0,71	0,64	0,61	

ется таким же, как в первом случае, при заданном H_r (см. табл. 2). Отношение же $\frac{H_n}{H_{прод.}}$ (см. табл. 4) несколько больше, чем

по схеме без участия механического орошения (формула 11, табл. 1), и это тем более ощутимо, чем выше к. п. д. насосной станции и ГЭС т. е. чем меньше α_n .

Анализ зависимостей других параметров насосной станции и ГЭС аналогичен приведенному анализу по задаче при заданном H_r .

4. Каскад энерго-ирригационных установок. Разбивка каскада

Последовательно расположенные вдоль водотока энерго-ирригационные установки по первой схеме представляют из себя каскад. Поэтому, к вопросу определения параметров отдельных ступеней необходимо подходить с точки зрения энергетической эффективности каскада в целом [5].

Для решения поставленной задачи необходимо располагать связью между изменениями орошаемой площади Ω и перепадом H :

$$\Omega = f_2(H) = AH^m.$$

Кроме того, для определения возможных забираемых расходов отдельных ступеней, при варьировании высотами ступеней, необходимо иметь также кривую роста средних используемых расходов ($Q_{с.н.}$) водотока (определяемые по ф-ле 1) по мере его падения. $Q_{с.н.}$ определяется по кривой обеспеченности по ф-ле [5]:

$$Q_{с.н.} = \frac{1}{100} \int_0^{Q_p} P(Q) \cdot dQ, \quad (18)$$

где $P(Q)$ —функция обеспеченности от расхода Q в процентах.

Связь же $Q_{с.н.}$ последовательных створов реки, называемая напорной характеристикой, для малых горных водотоков (на участках между значительными притоками) можно с достаточной для практических расчетов точностью выразить ф-лой ([5]):

$$Q = Q_n + \alpha H^\gamma, \quad (19)$$

где Q_n —расход в начале рассматриваемого участка;

Q —то же на падении H , отсчитывая от начала участка (в дальнейшем индекс к $Q_{с.н.}$ будем опускать);

α и γ —постоянные коэффициенты.

Таким образом, располагая кривыми роста площади и средних используемых расходов, можно разбить каскад между ступенями так, чтобы одновременным удовлетворением нужд ирригации получить максимальную суммарную энергию (среднегодовую мощность) на всех ГЭС каскада.

Из приведенной схемы (рис. 5) видно, что расход на каждой ступени делится на две части—энергетическую и ирригационную. Последняя в сумме известна для всего участка $Q_{ир.уч.} = A_{ир} H_{уч}^m$, но для отдельных ступеней она зависит от высоты данной ступени и увеличивается с увеличением последней.

В случае разбивки участка реки на две ступени (рис. 5а) ус-

ЛЮВЛЯ ЗАДАЧИ ТАКОВЫ:

$$H_1 + H_2 = H_{\text{уч.}}$$

$$Q_2 = Q_1 + \alpha H_1^{\gamma}$$

$$Q_{\text{пр. 1}} = A_{\text{пр}} A H_1^m$$

$$Q_{\text{пр. 2}} = A_{\text{пр}} A (H_{\text{уч.}}^m - H_1^m).$$

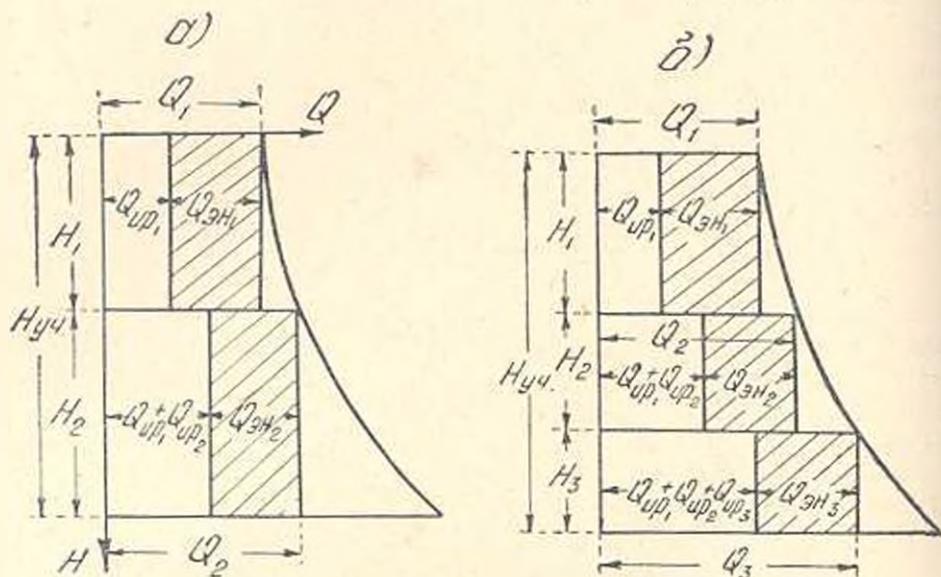


Рис. 5

Условия максимума выработки энергии на двух ГЭС каскада за год будет:

$$H_1 Q_1 T_2 + H_1 (Q_1 - A_{\text{пр}} \cdot A H_1^m) T_1 + H_2 (Q_1 + \alpha H_1^{\gamma} - A_{\text{пр}} A H_{\text{уч.}}^m) T_1 = \text{макс.} \quad (20)$$

Дифференцируя по H_1 , приравнявая нулю и расчлняя по степеням γ и m , будем иметь:

$$H_{\text{уч.}} \alpha \gamma H_1^{\gamma-1} T_{\text{гол}} - \alpha T_{\text{гол}} (\gamma + 1) H_1^{\gamma} = - A_{\text{пр}} A T_2 (m + 1) H_1^m - A_{\text{пр}} A H_{\text{уч.}}^m T_1; \quad (20')$$

где

$$T_{\text{гол}} = T_1 + T_2.$$

$H_{1, \text{опт}}$ определяется решением уравнения (20') графоаналитическим способом, или аналитически при целых числах γ и m .

Таблица 5

Значения $\frac{H_{1, \text{опт.}}}{H_{\text{уч.}}}$				
γ	1	2	3	
m				
1	0,5	0,66	0,75	
2	0,56	0,25 ÷ 0,47	0,75	
3	0,63	0,55 ÷ 0,63	0,45 ÷ 0,65	

В таблице 5 приведены оптимальные величины $\frac{H_{1, \text{опт.}}}{H_{\text{уч.}}}$ для нескольких значений γ и m , откуда видно, что $\frac{H_1}{H_{\text{уч.}}}$ зависит от γ и m и их комбинации. Характерно что $\frac{H_1}{H_{\text{уч.}}} = 0,5$ при $\gamma = 1,0$; $m = 1,0$.

При разбивке участка на три

(рис. 5б), четыре и более число ступеней решение усложняется в связи с увеличением неизвестных переменных. Однако при этом так же можно поступить аналогичным образом, применяя графоаналитический способ.

5. Некоторые соображения по технико-экономическим расчетам энерго-ирригационного комплекса

Рассмотренные выше схемы, как отвечающие максимальному энергетическому эффекту, становятся одними из наиболее целесообразных (особенно для небогатых энергоресурсами районов) и могут быть использованы в вариантном технико-экономическом анализе.

Целью же технико-экономических расчетов в случае рассмотрения комплекса является соответствующее обоснование схемы и выбор основных параметров с тем, чтобы получить максимально возможный суммарный эффект для комплекса в целом. Методика такого расчета в технической литературе разработана недостаточно. Это объясняется тем, что определение эффективности сооружений и установок комплексного назначения представляет из себя сложную задачу. Сложность прежде всего заключается в трудности сопоставления эффективностей отдельных составляющих комплекса.

По нашему мнению, к этому вопросу можно подойти путем стоимостной оценки отдельных компонентов. Для сопоставления же необходимо иметь общий измеритель сравнения. Для рассматриваемого энерго-ирригационного комплекса измерителем может служить стоимость единицы приведенной продукции, определяемой по ф-ле:

$$S_{\text{прив.}} = \frac{\Sigma U}{\mathcal{E} + \frac{\mathcal{E}_{\text{ир.}}}{s_2} \cdot \Omega_{\text{орош.}}}, \quad (21)$$

где ΣU — суммарные издержки, $\Sigma U = U_3 + U_{\text{ир.}}$;

U_3 — годовые издержки, относящиеся к энергетике (с учетом тяжести капиталовложений);

$U_{\text{ир.}}$ — то же для ирригации (в расчете нет необходимости распределять издержки на U_3 и $U_{\text{ир.}}$);

\mathcal{E} — годовая выработка энергии по среднему году в квтч-ах;

$\Omega_{\text{орош.}}$ — орошаемая площадь в га;

s_2 — средняя себестоимость единицы энергии по данному району, с учетом тяжести капиталовложения;

$s_{\text{ир.}}$ — то же для ирригации на один га (с учетом затрат по строительству и эксплуатации только гидротехнических сооружений).

По (21) $S_{\text{прив.}}$ имеет смысл себестоимости, так как знаменатель представляет из себя приведенную к энергии продукцию. По аналогии принципа минимума себестоимости, оптимальное решение (параметры комплекса) должно соответствовать условиям $S_{\text{прив.}} = \text{минимум}$.

Указанный принцип нельзя применить для выбора источника энергии или определения относительных масштабов энергетики и ирригации вообще. С его помощью можно определить оптимальные пара-

метры только конкретного объекта (или схемы) энерго-ирригационного комплекса с обязательным удовлетворением потребности ирригации, принимаемой постоянной во всех расчетах данной схемы.

В случае каскада энерго-ирригационных установок можно брать варианты, определенные по изложенному выше энергетическому методу—для различных чисел ступеней, сохраняя общую площадь орошения. Вариантный анализ дает возможность определить экономичное число ступеней и параметры каскада (аналогично [5]), отвечающие минимуму себестоимости приведенной продукции по всему каскаду.

В ы в о д ы

1. При определении параметров энерго-ирригационных схем на малых горных реках для рационального использования гидроресурсов необходимо в технико-экономическом анализе учесть варианты, отвечающие максимальному энергетическому эффекту.

С этой точки зрения оптимальный напор гидростанции в энерго-ирригационных схемах (I, II, см. рис. 1, 2), являющийся одновременно высотой перепада между двумя ирригационными каналами, зависит от характера роста по высоте орошаемой площади, гидромодуля орошения, коэффициента использования орошаемой площади и к. п. д. оросительной системы; соотношения зимних и летних расходов и продолжительностей соответствующих периодов.

Указанный оптимальный напор и другие параметры можно определить на основе предлагаемого в работе метода.

2. При включении насосной станции на нижней ступени каскада энерго-ирригационных установок или на отводящем канале ГЭС отдельной установки для подъема воды на нижнюю полосу орошаемой площади, при оптимальной высоте подъема можно получить максимальный выигрыш в мощности (энергии) летом, достигающий до 20% и выше (от первоначальной мощности без включения насосов).

Соответствующая оптимальная высота нагнетания насосной станции, которую можно определить предлагаемым методом, зависит от параметров кривой роста орошаемой площади и к. п. д. ГЭС, а также к. п. д. насосной станции.

3. При энерго-ирригационном использовании малой горной реки каскадом установок, без ущерба для ирригации, можно разбить падение участка реки так, чтобы получить максимальный суммарный энергетический эффект (выработка энергии) на всех ГЭС участка.

Соотношение высот ступеней, следовательно, и расходов на ГЭС и ирригации, помимо напорной характеристики зависит как от кривой роста орошаемой площади вдоль подтока, так и от заданного числа ступеней. Приведенным в работе методом можно определить соответствующие оптимальные соотношения.

4. При экономическом расчете выбора общих параметров отдельной энерго-ирригационной установки можно исходить из принципа минимума себестоимости приведенной продукции энергетики и ирригации (с обязательным удовлетворением нужд ирригации).

Себестоимость приведенной продукции можно установить в зависимости от выработки электроэнергии и размера орошаемой площади по предлагаемой в работе формуле.

Водно-энергетический институт
Академии наук Армянской ССР

Поступило 5 IV 1957

Լ. Ա. ԶԻՆԻՆԻԱՐԱՆ

ԼՆԵՐԳԱՅԻՆ ՓՈՔՐ ԳԵՏՏՐԻ ՎՐԱ ԳՏՆՆԻՈՂ ՄԻ ՔԱՆԻ ԷՆԵՐԳԱ-
ԻՌԻԳԱՅԻՈՆ ՍԵՆՄԱՆԵՐԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ
ՈՐՈՇՄԱՆ ՇՈՒՐՋ

Ա մ փ ո փ ու մ

Էներգատիրոջացիոն կամայեքսի պարամետրերի որոշման հարցը, որն առանձնապես կարևոր է փոքր զեռերի սայիոնայ օդատարածման սխեմաներ կազմելու տեսակետից, բավարար չափով չի պարզարանված տեխնիկական դրականություն մեջ:

Տվյալ աշխատություն մեջ փորձ է արված տալ էներգատիրոջացիոն միջանի սխեմաների հիմնական պարամետրերի (ելքերի հարաբերություն, գէսի նապորի և այլն) որոշման մեկնույնը, որոնք հիմնված են մաքսիմում էներգատիրական էֆեկտ (էներգատարողությանը, հզորություն) ստանալու սկզբունքի վրա:

Դիտարկվում են հետևյալ սխեմաները. ա) էներգատիրոջացիոն կայանների կապակցի մեկ առանձինն ստորման և ամբողջ կապակց (նկ. 1, 3), բ) որոշակի հողատարածության ոտոզման երկճյուղ ջրանցք, որի ներքևի ճյուղի անկման վրա դրանում է հիդրոկայանը (նկ. 2), գ) մեխանիկական ոտոզման միացումը նախորդ էներգատիրոջացիոն սխեմաներին (նկ. 3):

Քննարկ լուծման համար անհրաժեշտ է ունենալ ինչպես գետի հիդրոլոգիական ավյայները, այնպես էլ ոտոզման հողատարածության բնութագրերը. — այն է՝ նրա մակերևույթի աճման կարը կախված նիշերի անկումից (րանածն 1, 2), հիդրոտոլուլի գրաֆիկը, հողային օդատարածման դործակիցը և ոտոզման սխեմա օ. դ. դ.ն:

Ըստ այս սխեմաների գէսի նապորի աճմանը զուգընթաց մեծանում է համապատասխան նիշերի անկում ունեցող ոտոզման հողատարածությունը, — հետևապես ոտոզման ջրատու մն բնականուր ջրանցքից ավելանում է, իսկ գէսի ելքը՝ սլակասում: Քննարկի հիմնական իմաստն է գտնել այն նպատակահարմար նապորը, որի զեռում ոտոզման ջրատման պայմաններում գէսը ապիս է մաքսիմում էներգիա տարվա մեջ (րանածն 4), կամ ուժաովա

ոռոգման ջրօնում, կամ էլ մաքրվում ապահովված հզորություն (դիտարկվում է Վանոնափորի գէս)։ Խնդիրը լուծվում է նշված այս կամ այն հաշվային քննունդով, Էներգետիկական էֆեկտի մաքրվումի պայմանից (բանաձև 5, 7, 7⁰)։

Էներգախիզացիան սխեմայում պոմպակայանի միացման (ՏՖ. 3) իմաստը կայանում է նրանում, որ ավյայ հողատարածության ներքևի դոտին ոռոգվում է մեխանիկական բարձրացմամբ, որը հնարավորություն է տալիս ջրի համապատասխան էջը հապրային ավազանից ոռոգման ջրանցք տալու փոխարեն ուղղել դեպի հիդրոկայան։ Այս դեպքում հաշվային Էներգետիկական էֆեկտ հանդիսանում է գևի լրացուցիչ հզորության և պոմպակայանի պանանջից հզորության տարբերությունը (բանաձև 12, 17)։ Մեխանիկական բարձրացման օպտիմալ չափը (բանաձև 13, աղյուսակ 2, 4) որոշվում է նշված էֆեկտի մաքրվումի պայմանից։

Էներգախիզացիան կայանների կանաչի դեպքում (նկ. 1, 5) աստիճանների բաժանումը կատարվում է գէսերի զուտարային մաքրվում արտադրանքի սկզբունքով (բանաձև 20), դեռի երկայնքով ընկած ոռոգելի տարածության ջրի պանանջի բաժարարման պայմաններում։

Առաջարկվող մեխանիզմ կարելի է կազմել սխեմաներ նախնական նախագծման ստադիայում, որոնք կարող են ծառայել որպես նպատակահարմար վարիանտներ տեխնիկա-անտեսական վերլուծման համար։ Տեսնապես հիմնավորված վարիանտ կարելի է ընտրել բերված արտադրանքի միջիմումի ինքնարժեքի (բանաձև 21) սկզբունքով։

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. П. Войнич-Сяноженцкий—Установление рациональной ирригационной схемы для системы с машинным зональным водоподъемом. ВНИИГиМ, Автореферат докторской диссертации, 1951 г.
2. Инструкция ВНИИГ—Энергетические расчеты ГЭС. 1945 г.
3. Н. В. Мостицкий—О наимыгоднейшей шасоте подъема воды при машинном орошении. „ГТС“, № 7. 1937 г.
4. Принципы и методы комплексного использования водных ресурсов малых бассейнов, АН СССР, секция по научной разработке проблем водного хозяйства, часть III. 1950 г.
5. Л. А. Чилингарян—К вопросу разбивки горных водотоков на ступени каскада деривационных ГЭС. Известия АН Арм. ССР, том X, № 2, 1957 г. (серия техн. наук).