

6
4-1
АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Инженер И. Н. ОРАНСКИЙ

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ
МОЩНОСТИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

ТАШКЕНТ—1950

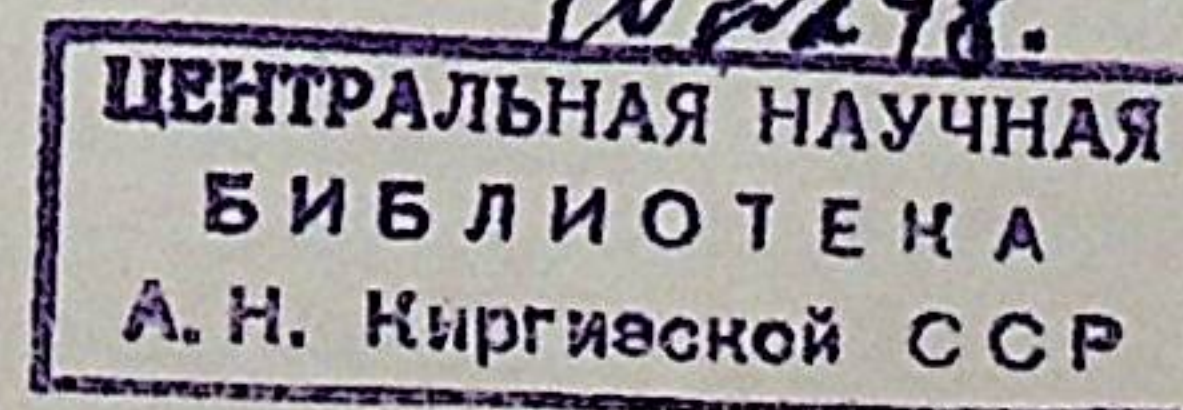
Условные обозначения

Основные

N — мощность электростанции	кВт
A — количество энергии	кВтч
T — интервал времени (год, сутки)	час
t — обеспеченность данной мощности ГЭС	%
h — коэффициент использования данной мощности	%
p — количество процентов от данной величины	%
K — капиталовложения полные	руб.
K_0 — капиталовложения независимые от мощности	руб.
b — стоимость дополнительного киловатта	руб/кВт
I — издержки производства годовые	руб.
i — издержки удельные на единицу продукции	руб/ед.
s — себестоимость киловаттчаса	коп/кВтч
a_T — стоимость топлива	руб/т
a — отпускная стоимость киловаттчаса	коп/кВтч
Π — количество продукции	тонн
d — себестоимость продукции	руб/т
g — удельный расход топлива на ТЭС	кг/кВтч
w — удельный расход энергии на единицу продукции	кВтч/ед

Индексы

$г$ — гидростанции
T — теплостанции
$п$ — промышленного потребителя



Гидроэлектростанции, работающие на незарегулированном стоке рек ледникового питания, как правило, имеют рабочие мощности в летнее время выше, чем в зимнее.

Отсюда получается диспропорция между летней и зимней мощностями в энергосистеме, если ведущая роль в ней принадлежит гидростанциям, несмотря на то, что некоторое увеличение мощности в зимнее время дают теплоэлектроцентрали и гидростанции, работающие на ирригационных сбросах.

Кроме того, в гидроэнергосистеме получается изменение рабочей мощности и выработки в зависимости от водоносности года.

В целях выравнивания рабочей мощности гидроэнергосистемы могут быть предложены следующие мероприятия:

- 1) Выбор мощности новых гидроэлектростанций с высокой обеспеченностью.
- 2) Создание „теплового резерва“, рассчитанного на работу в маловодные периоды.
- 3) строительство крупных водохранилищ для годового регулирования расходов воды по энергетическому графику.

Целесообразность осуществления этих мероприятий должна решаться в общем комплексе развития народного хозяйства.

Выбор же основных параметров новых энергетических объектов обычно определяется энергоэкономическим расчетом из минимума себестоимости электроэнергии и срока окупаемости. Наличие в энергосистеме энергоемких потребителей будет обуславливать некоторую своеобразность энергоэкономического расчета, так как здесь необходимо учитывать не столько равномерный график рабочей мощности энергосистемы, сколько наименьшую стоимость конечной продукции.

В работе рассматриваются вопросы экономики ГЭС в комплексе с потребителем, в том числе и энергоёмкими предприятиями, устанавливаются основные зависимости одновременных капиталовложений в гидроэлектростанции, конденсационные теплотстанции и разные группы промышленных предприятий от электрической мощности, а также зависимости стоимости конечной продукции от параметров энергосистемы. На основании указанных зависимостей и принятой методики сравнения вариантов рассматриваются вопросы выбора оптимальной мощности ГЭС в различных условиях энергопотребления.

В отдельном приложении рассматриваются частные решения применительно к условиям системы Узбекэнерго, а также влияние ирригации, регулирующих водохранилищ, ТЭЦ и зимних ГЭС на принципиальные вопросы выбора основных параметров новых электростанций системы.

I. Энергоэкономические показатели промышленных потребителей энергии

Основным потребителем, определяющим общую экономику энергосистемы, следует считать промышленность, а в данном частном случае—энергоёмкие производства.

Энергоэкономические показатели даны для трех групп промышленного использования электроэнергии:

- 1) предприятия неэнергоёмкие;
- 2) производства энергоёмкие;
- 3) электро-котлы.

В качестве энергоэкономических показателей для трех указанных групп принимаются следующие основные соотношения:

а) отношение капитальных затрат на строительство предприятия к капитальным затратам электростанции, необходимой для электроснабжения данного предприятия

$$C = \frac{K_n}{K_э};$$

б) отношение стоимости электрической составляющей в себестоимости продукции к общей себестоимости продукции данного предприятия

$$L = \frac{aw}{d} \%;$$

в) величина ущерба при сокращении подачи электроэнергии в рублях на один киловаттчас недоданной энергии

$$u_{ущ} = \frac{1000}{w}.$$

Из анализа ряда литературных, отчетных и проектных данных можно получить примерно следующие значения энергоэкономических показателей приведенные в табл. 1

Таблица 1

Группа	Показатели		
	C (отн. ед.)	L (%)	$u_{ущ}$ (руб/кВтч)
1. Неэнергоёмкие производства	3,4 — 8,0	0,5—7,0	1,5 — 20,0
2. Энергоёмкие производства	0,175—1,0	17—56	0,07 — 0,12
3. Электро-котлы	0,005—0,01	96—98	0,015—0,0153

Отсюда видно, что для первой группы, т. е. для всех промышленных предприятий, кроме энергоёмких, необходимо обеспечение электроэнергией по жесткому графику, обусловленному технологией производства. Стоимость электроэнергии здесь имеет второстепенное значение. Недодача электроэнергии или сокращение энергоснабжения ведет к большим народнохозяйственным ущербам.

Для энергоёмких производств необходима, в идеальном случае, дешевая энергия от ГЭС и круглогодичная обеспеченность энергией. Но, поскольку эти требования несовместимы, то необходимо найти оптимальные условия, исходя из минимума издержек по ГЭС и производству в комплексе.

Для дублирующих электрокотлов необходима дешевая энергия, а график подачи энергии может быть построен, исходя из наличия неиспользованной энергии на ГЭС.

II. Расчетные соотношения энергоэкономических показателей элементов энергосистемы

Как элементы энергосистемы рассматриваются:

- а) ГЭС с отдачей энергии по графику $A = T \int_0^N tdN$
- б) ТЭС—конденсационная теплотстанция

в) промышленный потребитель, в том числе неэнергоёмкие предприятия, энергоёмкие предприятия и электрокотлы. Для всех трех элементов системы приняты расчетные соотношения, сведенные в табл. 2.

III. Основные принципы и расчетные формулы для сравнения вариантов

В условиях социалистического хозяйства основным критерием должен быть принцип минимума трудовых затрат при выполнении народнохозяйственного плана в целом.

Согласно нашей точки зрения энергоэкономический расчет должен вестись на минимум всех издержек (единовременных и ежегодных) по электростанциям и потребителю в комплексе.

При сравнении вариантов энергоснабжения расчет не может вестись только по минимуму себестоимости конечной продукции, а должен учитывать и единовременные издержки, путем включения в расчетные варианты показателя эффективности первоначальных капиталовложений в виде $\frac{K}{T_0}$ или $p_э K$, где $p_э$ — норма эффективности капиталовложений.

В области общих энергетических расчетов надо иметь нормативы по эффективности капиталовложений, аналогично тому, как в области расчетов по линиям передач „Экономическая плотность тока“, установленная Министерством Электростанций является нормативом.

Для определения нормативов по эффективности капиталовложений необходима специальная большая научно-исследовательская работа. Здесь должны быть учтены: общий рост производительности труда, реконструирующее значение данного объекта в общем комплексе народного хозяйства, общезаключенные соображения, в том числе и тарифы на электроэнергию.

До разработки этих нормативов можно ориентироваться на значение $p_э = 5 - 12\%$, принимая меньшие значения для пионерных объектов и для комплексных ирригационно-энергетических объектов, учитывая их реконструирующее значение для развития данного района.

В дальнейших расчетах принимаются следующие расчетные условия:

Минимум издержек по комплексу энергетика + потребитель

$$\sum I = \sum I_{\text{экс}} + \sum p_э K = \text{минимум}$$

или

Минимум народнохозяйственной себестоимости конечной продукции

$$d_k = \frac{\sum I_{\text{экс}} + \sum p_э K}{\sum \Pi} = \text{минимум}$$

(В отличие от производственной себестоимости продукции, которая выражается формулой

$$d = \frac{\sum I_{\text{экс}}}{\sum \Pi})$$

При заданном графике потребления и без энергоёмких производств можно принять расчетные условия:

Минимум издержек по энергосистеме

$$\sum I_c = \sum I_{\text{экс}} + \sum p_э K = \text{минимум}$$

или

Минимум народнохозяйственной себестоимости энергии в системе

$$S_k = \frac{\sum I_{\text{экс}} + \sum p_э K}{\sum A} = \text{минимум}$$

(В отличие от производственной себестоимости энергии, которая выражается формулой

$$S = \frac{\sum I_{\text{экс}}}{\sum A})$$

В дальнейшем изложении народнохозяйственная себестоимость будет именоваться:

d_k — стоимость продукции

S_k — стоимость энергии

IV. Энергоэкономические расчеты

На базе приведенных расчетных соотношений энергоэкономических показателей элементов энергосистемы и расчетных формул для сравнения вариантов рассмотрены случаи определения оптимальной мощности и энергоэкономических показателей ГЭС:

Энергоэкономические показатели	Расчетные соотношения		промышленный потребитель
	ГЭС	ТЭС	
1. Капиталовложения	$K_2 = K_{02} + b_2 N_2$	$K_T = K_{0T} + b_T N_T$	$K_n = K_{0n} + b_n N_n$
2. Годовые эксплуатационные издержки производства	$I_2 = p_2 (K_{02} + b_2 N_2)$	$I_T = p_T (K_{0T} + b_T N_T) + a_T g N_T h_T$	$I_n = p_n (K_{0n} + b_n N_n) + u_{np} \Pi + a n \omega \Pi$
3. Количество продукции	$A_2 = T \int_0^N t dN_2$	$A_T = N_T h_T T - \Delta A$	$\Pi = \frac{A}{\omega} = \frac{N_n h_n T}{\omega}$
4. Себестоимость продукции	$S_2 = \frac{N_2}{A_2} p_2 (K_{02} + b_2 N_2)$	$S_T = \frac{p_T (K_{0T} + b_T)}{A_T} + \frac{a_T g N_T h_T}{A_T}$	$d = \frac{1}{N_n h_n} \frac{p_n K_{0n} \omega}{T} + \frac{1}{h_n} \frac{p_n b_n \omega}{T} + u_{np} + a n \omega$
5. Себестоимость дополнительной продукции	$S_{доп} = \frac{dI}{dA} = \frac{p_2 b_2}{T t}$		$d_{доп} = \frac{p_n b_n \omega}{T} + u_{np} + a_{доп} \omega$

I. Энергоэкономические показатели ГЭС, работающей только на энергоемкого потребителя

Здесь ГЭС и потребитель рассматриваются как единый комплекс.

Суммарные капиталовложения составят:

$$\sum K = (K_{01} + b_n N) + (K_{02} + b_2 N)$$

Суммарные издержки составят:

$$\sum I = p_n K_{0n} + p_n b_n N + u_{np} \Pi + p_2 (K_{02} + b_2 N)$$

Стоимость продукции комбината будет

$$d_k = \frac{\sum I}{\Pi} = \frac{p_n K_{0n}}{\Pi} + \frac{p_n b_n N}{\Pi} + u_{np} + \frac{p_2 (K_{02} + b_2 N)}{\Pi}$$

Минимум стоимости конечной продукции можно определить, применив показатель „стоимость дополнительной продукции“

$$d_{k, доп} = \frac{\Delta \sum I}{\Delta \Pi} = \frac{d \sum I}{d \Pi}$$

В работе выведено значение $d_{k, доп}$ для комплекса

$$d_{k, доп} = u_{np} + \frac{we}{Tt}$$

где

$$e = p_2 b_2 + p_n b_n$$

Пересечение кривой $d_k = f(A)$ и $d_{k, доп} = f(A)$ определяет минимум d_k , аналогично тому, как пересечение кривой S с кривой $S_{доп}$ определит минимум S .

Предел возможной сезонной работы по сравнению с обеспеченной определяется пересечением $d_{k, доп} = f(A)$ с прямой $d_{к0}$, где $d_{к0}$ — стоимость продукции при обеспеченной мощности.

Если рассматривать вопрос шире и сравнивать экономические показатели данного предприятия с экономическими показателями других предприятий, то необходимо принять пересечение $d_{k, доп} = f(A)$ с прямой d_3 , где d_3 — стоимость продукции, получаемая на других предприятиях (включая эффективность капиталовложений и расходы, связанные с транспортом).

По аналогии с энергетическими расчетами d_3 — может быть названа стоимостью заменяющей продукции.

Определение оптимальной мощности ГЭС, работающей только на энергоёмкое производство и определение предела использования сезонной энергии может быть выполнено и другим методом.

Из формулы

$$d_k = \frac{1}{Nh} \frac{p_n K_{0n} \omega}{T} + \frac{1}{h} \frac{p_n b_n \omega}{T} + u_{np} + a\omega$$

можно определить:

$$a = \frac{d_k - u_{np} - \frac{p_n K_{0n} \omega}{TNh} - \frac{p_n b_n \omega}{Th}}{\omega}$$

отпускную стоимость киловаттчаса, при которой стоимость продукции будет оставаться постоянной при уменьшении h , т. е. при увеличении использования сезонной энергии.

Соответственно

$$a_{доп} = \frac{d_{доп} - u_{np} - \frac{p_n b_n \omega}{Th}}{\omega}$$

Максимум $(a-s) = f(A)$ определяет оптимальную мощность ГЭС, а пересечение кривой $a_{доп}$ с кривой $S_{доп}$ определяет предел использования сезонной энергии ГЭС, исходя из условия сравнения с обеспеченным режимом.

Результаты и выводы из применения обоих методов аналогичны.

2. Энергоэкономические показатели ГЭС, работающей изолированно на неэнергоёмких потребителей

Неэнергоёмкие потребители требуют обеспечения энергообеспечения по графику, обусловленному технологией производства. В значительном большинстве случаев зимнее потребление выше летнего.

ГЭС на естественном стоке может обеспечить подачу энергии летом выше, чем зимой.

При необходимости строительства изолированной ГЭС для энергообеспечения неэнергоёмких потребителей приходится идти на выбор круглогодичной обеспеченной мощности ГЭС ($N_{20} = N_n$), а следовательно, на сравнительно высокую стоимость электроэнергии и на весьма низкое использование наличного гидроэнергоресурса.

3. Энергоэкономические показатели ГЭС ТЭС при использовании энергии для разных групп промышленного потребления

При предварительном проектном размещении и определении производственной мощности энергоёмких производств со стороны проектировщиков энергоёмкого предприятия обычно ставится условие равномерного и обеспеченного энергообеспечения в течение года. Такое условие может быть выдержано или при строительстве ГЭС на обеспеченную мощность, или при дублировании мощности ГЭС мощностью тепловой станции, возмещающей уменьшение мощности ГЭС в зимнее время.

В работе рассматривается ГЭС с мощностью N_2 — в летнее время и мощностью $N_{2\text{мин}}$ — в зимнее время. Максимальная мощность, потребляемая энергоёмким потребителем принята

$$N_n = N_2$$

Мощность тепловой станции рассматривается от нуля до значения

$$N_T = N_n - N_{2\text{мин}}$$

Капиталовложения в общий комплекс будут изменяться от значения

$$K_n + K_2 \quad \text{до} \quad K_n + K_2 + K_T$$

Конечная стоимость продукции будет представлена выражением:

$$d_k = \frac{\omega P_2}{h_n T} \left(\frac{K_{0n}}{N} + b_n \right) + u_{np} + \omega \frac{S_2 \Pi_2}{\Pi_2 + \Pi_T} + \omega \frac{S_T \Pi_T}{\Pi_2 + \Pi_T}$$

Изменение стоимости конечной продукции рассматривается для двух энергоёмких производств — первое малоэнергоёмкое и второе более энергоёмкое. Себестоимость продукции в обоих случаях принята одинаковой.

Изменение стоимости продукции этих энергоёмких производств рассмотрено на фоне изменения стоимости продукции неэнергоёмкого потребителя и электродвигателя, как крупного энергоёмкого потребителя.

Для неэнергоёмких производств в формуле стоимости продукции основное значение имеют два первых слагаемых. Электрическая составляющая (третье и четвертое слагаемое) — мала.

Для крупных энергоёмких производств, наоборот, стоимость электрической составляющей определяет стоимость продукции. Естественно, что здесь рост доли электроэнер-

гии от ТЭС, как более дорогой, увеличивает стоимость электрической составляющей, а вместе с ней и стоимость конечной продукции.

Показатели работы ГЭС и ТЭС на разные производства приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ пп	Показатель	Размерность	Источник энергоснабжения						
			ГЭС $N_{г,у} = \text{Const} +$ ТЭС $N_{т,у} = \text{Var}$		ГЭС и ТЭС		ТЭС	ГЭС	
1	Мощность ТЭС	%	11,3	43,0	72	100	100	00	0
2	Козф. использования мощности предприятия	%	76	87	96	100	100	100	70,4
3	Себестоимость кило- ваттчаса	отн. ед.	1,51	1,82	2,04	2,23	2,23	3,55	1
4	Стоимость киловатт- часа	отн. ед.	3,1	3,3	3,4	3,7	3,7	4,1	2,5
5	Стоимость продукции		Дополнительная от ТЭС			Общая стоимость			
	а) неэнергоёмкое	%	74	71	70,4	71	91,5	94	100
	б) 1-е энергоёмкое пр-во	%	137	106	102	104	101,5	106	100
	в) 2-е энергоёмкое пр-во	%	218	145	135	143	112,5	123	100
	г) электростанция	%	420	276	251	251	147	165	100

Из таблицы видно, что для энергоёмких производств, несмотря на лучшее использование производственной мощности и несмотря на увеличение количества продукции при дополнительном питании от ТЭС стоимость продукции увеличивается. Минимум же стоимости продукции будет при питании энергоёмкого потребителя только от ГЭС.

Для энергоёмких производств с высоким значением $\frac{a_{г,у}}{d}$ получение дополнительной выработки продукции за счет ТЭС нецелесообразно. Особенно ясна нецелесообразность такого решения для крайнего случая энергоёмкого производства — электростанции.

Иное положение получается для потребителя неэнергоёмкого. Для данной мощности ГЭС стоимость продукции

при питании от ГЭС выше, чем стоимость продукции при питании от ТЭС и дополнительной продукции за счет ТЭС.

Общая стоимость продукции непрерывно уменьшается с увеличением коэффициента использования предприятия и достигает минимума при обеспеченности энергоснабжения близкой к 100%.

4. Энергоэкономические показатели нерегулируемой ГЭС, работающей совместно с ТЭС на неэнергоёмкого потребителя

Суммарные издержки по ГЭС и ТЭС составляют:

$$\sum I = P_2 (K_{02} + b_2 N_2) + p_T b_T N_T + a_T g N_{\text{макс}} 8760 h - a_T g \int_0^N t_2 dN$$

Минимум издержек будет при $\frac{dI}{dN} = 0$.

т. е. при

$$\frac{p_2 b_2}{t_2 T} = S_{\text{доп}} = a_T g$$

В работе показано, как будет меняться значение t_2 , а следовательно, N_2 , с учетом и без учета эффективности капиталовложений. Недоучет капиталовложений ведет к грандиозному значению N_2 .

Одновременно показано, что минимум себестоимости энергии на ГЭС не зависит от того — учтена или не учтена эффективность капиталовложений.

Это обстоятельство, в свое время, дало основание некоторым экономистам считать, что вообще результаты энергоэкономических расчетов не изменятся от того, будет или не будет учитываться эффективность капиталовложений.

Во всех приведенных расчетах, стоимость конечной продукции по комплексу ГЭС и энергоёмкое предприятие получалась наименьшая при использовании сезонной энергии ГЭС, которая в свою очередь дешевле, чем энергия обеспеченная.

Однако, существующий тариф на электроэнергию не учитывает разницу в стоимости обеспеченной и сезонной энергии и энергоёмкое предприятие оплачивает по одной цене как обеспеченную, так и сезонную энергию.

При одной и той же стоимости энергии (a) стоимость продукции (d) при сезонной работе получается выше, и вполне естественно, что при этом энергоёмкое предприятие стремится к работе по равномерному графику, т. е. в разрез комплексным оптимальным условиям.

При существующих тарифах для промышленных предприятий оплата за энергию одна и та же, как для сахарного завода, работающего с октября по март, так и для насосной машинного орошения той же мощности, но работающей с апреля по октябрь.

Ясно, что существующий тариф на электроэнергию не стимулирует развитие использования сезонной энергии и возможностей гидроэнергоресурсов.

В дополнение к существующим тарифам на электроэнергию в системе необходимо ввести в гидроэнергосистемах специальный льготный тариф на летнюю сезонную энергию, с целью приблизиться к оптимальным условиям.

V. Выводы

1. Энергоэкономические расчеты следует вести с учетом эффективности капиталовложений и по минимуму народнохозяйственной стоимости конечной продукции потребителя, а для неэнергоёмких потребителей, — по минимуму народнохозяйственной стоимости киловаттчаса в системе при соблюдении технологического графика нагрузки потребителя.

2. Необходимо выполнить специальную научную работу, устанавливающую нормы эффективности для различных условий капиталовложений.

3. Летняя сезонная энергия ГЭС или гидроэнергосистемы может быть использована энергоёмкими потребителями. Для каждого энергоёмкого потребителя могут быть найдены оптимальные условия использования производственной мощности, исходя из энергоэкономических характеристик потребителя и гидроэлектростанции.

4. Стремление получить равномерный годовой график для энергоёмких потребителей ведет к необходимости дублирования энергетических мощностей за счет строительства теплостанций или к занижению мощности гидроэлектростанций. То и другое в конечном итоге ведет к удорожанию стоимости электроэнергии и конечной продукции на энергоёмком предприятии.

5. Для летних сезонных потребителей и на летнюю сезонную энергию, потребляемую энергоёмкими потребителями, должен быть установлен специальный пониженный тариф с целью приблизиться к оптимальным условиям использования мощности ГЭС.