

УДК 621.209: 626.83 (584)

Г.Н.Петров

**КОМПЛЕКСНОЕ МНОГОЛЕТНЕЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА
ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК В ИНТЕРЕСАХ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ И
ИРРИГАЦИИ***(Представлено академиком АН Республики Таджикистан З.Д.Усмановым 21.11. 2008 г.).*

Речные водные ресурсы, исторически применяемые народами Центральной Азии для ирригации, с середины прошлого века стали также интенсивно использоваться для выработки электроэнергии на ГЭС. В регионе было построено большое количество гидроузлов, в том числе таких крупных, как Нурекский, с ГЭС мощностью 3 ГВт и водохранилищем, объемом 10.5 км³, а также Токтогульский, с ГЭС мощностью 1.2 ГВт и водохранилищем 19.5 км³.

Проектировались и строились эти гидроузлы в рамках единого государства – СССР для комплексного использования, в первую очередь, ирригационного, во вторую – энергетического. Распад Союза и образование на территории Центральной Азии в 1991 г. пяти независимых суверенных государств привели к необходимости решения проблемы оптимального (сбалансированного) соотношения использования водных ресурсов для функционирования ГЭС, в которой заинтересованы страны верхнего течения рек бассейна – Таджикистан и Кыргызстан, и в орошаемой земледелии, получившим наибольшее развитие в странах нижнего течения – Казахстане, Туркменистане, Узбекистане.

В настоящей статье изложен метод оптимизации комплексного использования водно-энергетических ресурсов в целях гидроэнергетики и ирригации, при котором полное обеспечение интересов последней достигается без какого-либо ущерба для первой.

На первом этапе оптимизируется энергетический режим работы ГЭС с водохранилищем. Критерием оптимизации при этом, естественно, является максимизация выработки электроэнергии. Оптимизация выполняется с помощью оптимизационно-имитационной математической модели расчета режимов ГЭС, разработанной с использованием надстройки «поиск решения» MS Excel для персональных компьютеров.

Такие оптимизационные расчеты энергетического режима регулирования речного стока выполнены для единственного в Центральной Азии гидроузла с водохранилищем многолетнего регулирования – Токтогульской ГЭС в Кыргызстане. В качестве расчетного шага времени при этом был принят один год.

Как известно, выработка электроэнергии ГЭС определяется зависимостью [1]:

$$\mathcal{E} = \frac{W}{q}, \quad (1)$$

где:

\mathcal{E} - выработка электроэнергии, кВт.ч,

$W_{ГЭС}$ – объем воды, пропущенной через ГЭС, м³,

q – удельный расход воды на выработку электроэнергии, м³/кВт. ч.

Необходимость использования для оптимизации режима работы ГЭС с водохранилищем математической модели связана с тем, что при внешней простоте основной расчетной формулы (1) входящие в нее аргументы являются сложными нелинейными функциями:

$$q = f_1(\eta, H_{ГЭС}),$$

$$\eta = f_2(H_{ГЭС}) - \text{кпд ГЭС},$$

$$H_{ГЭС} = \nabla ВБ - \nabla НБ - H_{\text{потерь}} - \text{напор ГЭС},$$

$$\nabla ВБ = f_3(W_{\text{водохр}}) - \text{уровень воды в водохранилище},$$

$$W_{\text{водохр}} = (W_0 + W_{\text{приток}} - W_{ГЭС} - W_{\text{хол}} - W_{\text{потерь}}) - \text{объем воды в водохранилище в рассматриваемый период},$$

лице в рассматриваемый период,

W_0 – начальный объем водохранилища,

$W_{\text{приток}}$ – приток воды в водохранилище,

$W_{\text{хол}}$ – объем холостых сбросов,

$W_{\text{потерь}}$ – потери воды из водохранилища,

$\nabla НБ = f_4(Q_{ГЭС} + Q_{\text{хол}})$ - уровень воды в нижнем бьефе,

$Q_{ГЭС}$ – расход воды через турбины ГЭС,

$Q_{\text{хол}}$ - расход воды через холостые сбросы ГЭС,

$H_{\text{потерь}} = f_5(Q_{ГЭС})$ – потери напора.

При этом расходы воды через турбины $Q_{ГЭС}$ ограничиваются снизу пропускной способностью турбинных водоводов, а сверху – недопущением кавитации турбин.

В свою очередь, объем водохранилища по конструктивным особенностям гидроузла не может быть меньше минимального - мертвого объема (МО) и больше максимального – при нормальном подпертом горизонте воды (НПУ):

$$W_{\text{МО}} \ll W_{\text{водохр}} \ll W_{\text{НПУ}}$$

Конкретные выражения для приведенных выше функций:

$$\eta; \nabla НБ; H_{\text{потерь}},$$

определяются тарифовочными испытаниями на ГЭС, а для $\nabla ВБ$ – батиграфическими исследованиями водохранилища.

Входными данными модели являются объемы притока воды - $W_{\text{приток}}$. Результатом расчетов являются попуски воды из водохранилища, его объемы и выработка электроэнергии.

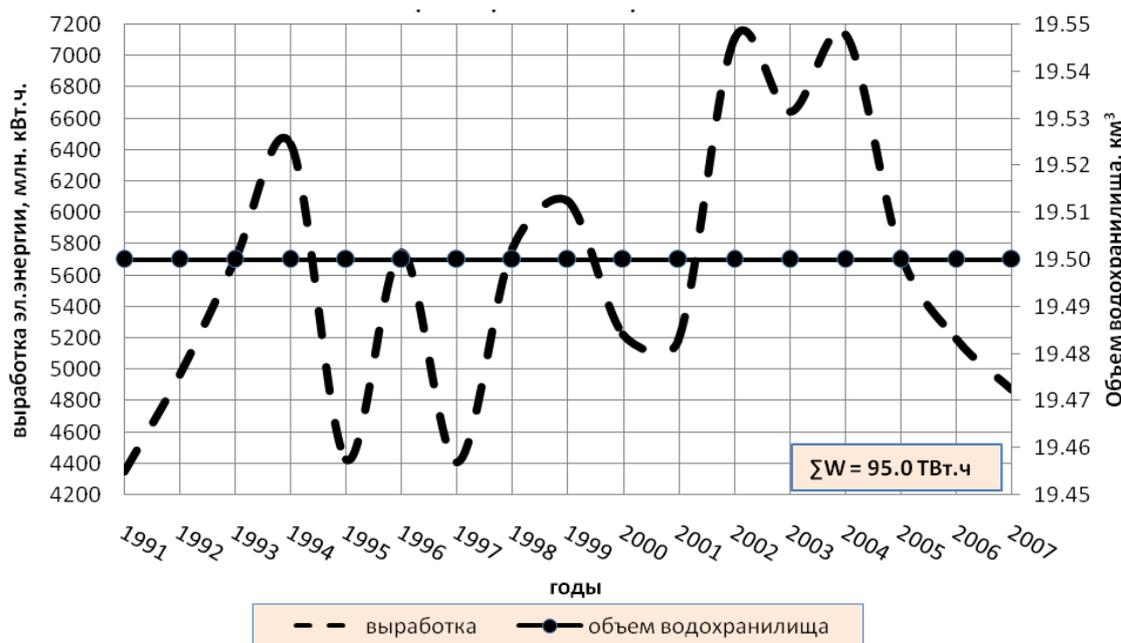


Рис.1. Максимизация общей за весь период выработки электроэнергии без ограничений.

На рис.1 показаны результаты расчетов оптимального энергетического режима Токтогульской ГЭС за период с 1991 по 2007 гг. без каких-либо ограничений на выработку электроэнергии по отдельным годам. Расчеты выполнены для фактической водности, имевшей место в действительности.

График на рис. 1 показывает, что в этом случае максимальная выработка электроэнергии на ГЭС достигается при работе ее на бытовом стоке и, как следствие, максимально возможном напоре. То есть для такого режима не нужно водохранилище, тем более большого объема. Этот вывод достаточно тривиален, но он доказывает, что крупные водохранилища нужны не для энергетики, но для ирригации.

Оптимальный энергетический режим, параметры которого показаны на рис.1, хотя и обеспечивает теоретически максимальную общую выработку электроэнергии, но плохо пригоден для практики из-за очень нестабильной работы ГЭС – ее выработка сильно, почти в два раза, меняется от года к году.

Для того чтобы исключить этот недостаток, приведены результаты другого варианта оптимизации энергетического режима, при котором критерием также является максимизация выработки электроэнергии, но с ее выравниванием по отдельным периодам (рис.2). Видно, что во втором варианте обеспечивается достаточно равномерная по годам выработка электроэнергии, за исключением периода многоводья 2001- 2005 гг. Причем достигается это за счет очень небольшого уменьшения суммарной выработки – до 94.7 против 95.0 ТВт.ч. в первом варианте.

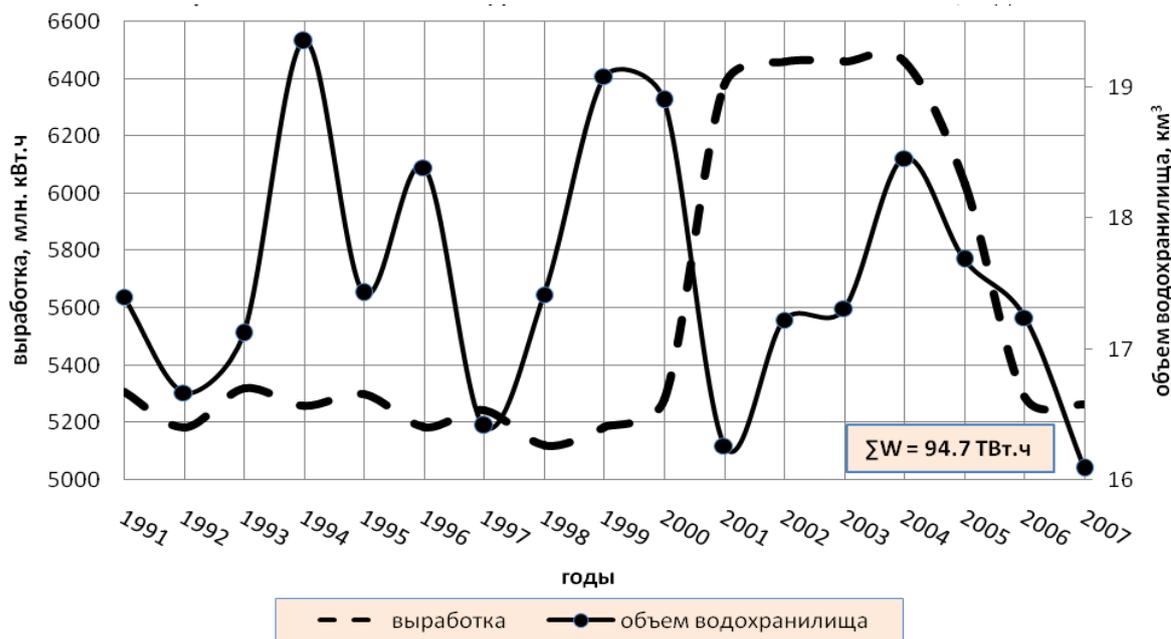


Рис.2. Максимизация общей выработки электроэнергии при ограничении ее объема диапазоном 5200÷6600 млн. кВт.ч/год

При этом максимальная сработка водохранилища во втором варианте не превышает 3.5 км³, при общем полезном объеме его 14.5 км³. То есть более 75% объема водохранилища не используется при работе в оптимальном энергетическом режиме.

Среднегодовое количество стока р. Нарын в створе Токтогульской ГЭС равно 11.7 км³. В то же время летний дефицит воды для ирригации в Узбекистане и Казахстане в бассейне р. Сырдарья составляет всего 2 км³. Поэтому неиспользуемый для энергетики объем Токтогульского водохранилища, – 11 км³ может обеспечить потребности многолетнего регулирования стока для ирригации в бассейне при любых возможных его сценариях.

Осуществляться это может следующим образом. В любой необходимый для них момент страны низовья – Узбекистан и Казахстан заказывают нужный им дополнительный объем воды из неиспользуемого для энергетики резерва водохранилища. Токтогульская ГЭС

Кыргызстана отпускает им эту воду. При этом Узбекистан и Казахстан забирают также электроэнергию, вырабатываемую с помощью этой дополнительной воды.

После этого, в нужный Кыргызстану момент, Узбекистан и Казахстан возвращают ему этот объем электроэнергии (или других энергоносителей в эквивалентном объеме), за счет чего в Токтогульском водохранилище восстанавливается израсходованный объем резерва.

Можно видеть, что при такой схеме в энергетике осуществляется только простой обмен электроэнергией, без какой-либо ее потери для обеих сторон. Но при этом потребности ирригации стран низовья обеспечиваются полностью в оптимальных для них вариантах. Никаких уступок и потерь для обеих сторон при такой схеме взаимоотношений не возникает.

В этом варианте также теряет смысл очень болезненный сегодня вопрос о ценах на воду и электроэнергию. Узбекистан и Казахстан в предлагаемой схеме не покупают воду, а получают ее за услуги по обмену электроэнергией. Сам же обмен электроэнергией осуществляется в эквивалентных объемах. Поэтому цены на энергию в этом случае имеют чисто условный характер, они необходимы только для юридического оформления такого обмена, как экспортно-импортные сделки. Кроме прочего, это дает возможность использования фьючерсной схемы – Узбекистан и Казахстан могут выкупить соответствующими поставками электроэнергии неиспользуемый объем Токтогульского водохранилища, или любую часть его, заранее, с получением всех преимуществ такой схемы.

В настоящей статье для обоснования предлагаемой схемы оптимизации взаимоотношений стран трансграничного бассейна при совместном использовании водно-энергетических ресурсов применен ретроспективный анализ за 1991÷2007 гг. Такой подход хорошо показывает возможности и преимущества метода, но для использования его на практике этого недостаточно, необходим прогноз стока на будущее. Методика такого многолетнего прогноза водного стока разработана ранее в наших работах [2,3].

*Институт водных проблем,
гидроэнергетики и экологии АН Республики Таджикистан*

Поступило 24.11. 2008 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шапов Н. М. Турбинное оборудование гидростанций. М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1961, с.18.
2. Петров Г. Н. – ДАН РТ, 2007, т. 50, №6, с. 539-545.
3. Петров Г. Н. – ДАН РТ, 2008, т. 51, №4, с. 290-294.

Г.Н.Петров

**БА ТАНЗИМДАРОРИИ БИСЁРСОЛАИ КОМПЛЕКСИИ ЧАРАЁНИ
ДАРЁҲОИ АЗ САРҲАДҲО ГУЗАРАНДА БА МАНФИАТИ
ГИДРОЕНЕРГЕТИКА ВА ОБЁРӢ**

Дар асоси таҷрибаи кори бисёрсолаи НОБ-ҳои калони обамбордор, методи муносиб кардани истифодабарии манбаи об ба манфиати гидроэнергетика ва обери бо батанзимдаровардани бисёрсолаи дарёҳо пешниҳод карда мешавад.

G.N.Petrov

**COMPLEX LONG-TERM REGULATION OF THE TRANSBOUNDARY RIVERS
RUNOFF FOR WATER-POWER ENGINEERING AND IRRIGATION**

Basing on the operational experience of HPP with water reservoir the method of water resources use optimization is proposed to provide interests of both water-power engineering and irrigation for long-term river runoff regulation.