

УДК 551.48(584.5)

Г.Н.Петров, Х.Халиков\*

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КРУПНЫХ РЕК ТАДЖИКИСТАНА***(Представлено академиком АН Республики Таджикистан З.Д.Усмановым 12.05.2009 г.).*

При огромных ресурсах гидроэнергетики, которыми обладает Таджикистан, одной из актуальных задач для республики является выбор наиболее приоритетных проектов строительства новых ГЭС, которые обладали бы наибольшей энергоэффективностью.

Причем для Таджикистана, в отличие от большинства других стран мира, эта задача вполне реальна – в республике имеется более 80 уже обследованных створов, пригодных для строительства крупных ГЭС [1].

С учетом того, что наиболее выгодным в долгосрочном плане является каскадное освоение гидроресурсов, эта задача подразделяется на выбор наиболее энергоэффективных рек и наиболее эффективных участков на них.

Критерий энергоэффективности можно определить, как удельную мощность реки на единицу ее длины. Она определяется следующим образом. Для каждого выделенного участка реки длиной  $\Delta L$  рассчитывается ее потенциальная энергетическая мощность  $N$  [2]:

$$\Delta N = 9.81 \eta Q H,$$

где  $N$  – энергетическая мощность реки, МВт,  $Q$  – средний расход реки на рассматриваемом участке, м<sup>3</sup>/сек,  $H$  – напор (падение реки на рассматриваемом участке), м,  $\eta$  – к.п.д. = 1.0.

По полученным данным строятся кривые накопленных сумм мощности реки от истока до устья:

$$N = f(L),$$

которые затем аппроксимируются полиномами “ $n$ ”-й степени, обеспечивающими наилучшее приближение к фактической кривой. В качестве критерия такого приближения используется коэффициент детерминации  $R^2$ .

Дифференцируя полученные вышеописанным способом полиномы по длине реки « $L$ », получаем значения энергоэффективности по длине реки:

$$\frac{dN}{dL} = f(L), \text{ МВт/км.}$$

В качестве объектов исследований для промышленной энергетики Таджикистана были выбраны восемь наиболее крупных рек республики: Вахш, Зеравшан, Искандер-Дарья, Фан-Дарья, Ягноб, Сурхоб, Обихингоу, Кафирниган.

Результаты расчетов энергоэффективности вышеперечисленных рек приведены в табл. 1, 2 и на рисунке. Они показывают, что наиболее эффективной рекой, с точки зрения гидроэнергетики, в Таджикистане является р. Вахш, которая сегодня уже практически на всем своем протяжении используется: построены Нурекская, Байпазинская, Сангтудинская-1 гидроэлектростанции и каскад Вахшских ГЭС (Головная, Перепадная и Центральная ГЭС), строятся Рогунская и Сангтудинская-2, ведутся переговоры с Исламской Республикой Иран о строительстве последней станции на реке – Шуробской.

Таблица 1.

## Энергоэффективность крупных рек Таджикистана

| Вахш  |       | Обихингоу |       | Сурхоб |       | Кафирниган |       |
|-------|-------|-----------|-------|--------|-------|------------|-------|
| L, км | dN/dL | L, км     | dN/dL | L, км  | dN/dL | L, км      | dN/dL |
| 0     | 35.80 | 0         | 2.63  | 0      | 0.00  | 0          | 5.79  |
| 20    | 32.47 | 10        | 3.19  | 20     | 1.06  | 20         | 5.79  |
| 40    | 29.33 | 20        | 3.99  | 40     | 3.53  | 40         | 5.79  |
| 60    | 26.36 | 30        | 4.91  | 60     | 5.73  | 60         | 5.79  |
| 80    | 23.56 | 40        | 5.85  | 80     | 7.67  | 80         | 5.79  |
| 100   | 20.94 | 50        | 6.72  | 100    | 9.35  | 100        | 5.79  |
| 120   | 18.50 | 60        | 7.47  | 120    | 10.77 | 120        | 5.79  |
| 140   | 16.23 | 70        | 8.07  | 140    | 11.92 | 140        | 5.79  |
| 160   | 14.13 | 80        | 8.50  | 160    | 12.81 | 160        | 5.79  |
| 180   | 12.21 | 90        | 8.78  | 180    | 13.44 | 180        | 2.57  |
| 200   | 10.47 | 100       | 8.93  | 200    | 13.81 | 200        | 2.57  |
| 220   | 8.90  | 110       | 9.03  | 220    | 13.91 | 220        | 2.57  |
| 240   | 7.51  | 120       | 9.13  | 240    | 13.75 | 240        | 2.57  |
| 260   | 6.29  | 130       | 9.36  | 260    | 13.33 | 260        | 2.57  |
| 280   | 5.24  | 140       | 9.82  | 280    | 12.64 | 280        | 2.57  |
| 300   | 4.37  | 150       | 10.66 | 300    | 11.70 | 300        | 2.57  |
| 320   | 3.68  | 160       | 12.05 | 320    | 10.49 | 320        | 2.57  |
| 340   | 3.16  | 170       | 14.19 | 330    | 9.78  | 340        | 2.57  |
| 360   | 2.82  | 180       | 17.28 |        |       | 360        | 2.57  |
|       |       | 190       | 21.57 |        |       | 380        | 2.57  |
|       |       | 200       | 27.30 |        |       | 390        | 2.57  |

| Зеравшан |       | Ягноб |       | Фан-Дарья |       | Искандер-Дарья |       |
|----------|-------|-------|-------|-----------|-------|----------------|-------|
| L, км    | dN/dL | L, км | dN/dL | L, км     | dN/dL | L, км          | dN/dL |
| 0        | 0.20  | 0     | 0.94  | 0         | 6.34  | 0              | 5.19  |
| 20       | 1.30  | 10    | 0.89  | 5         | 6.33  | 22             | 5.19  |
| 40       | 2.29  | 20    | 0.97  | 10        | 6.31  |                |       |
| 60       | 3.15  | 30    | 1.17  | 15        | 6.29  |                |       |
| 80       | 3.89  | 40    | 1.51  | 20        | 6.28  |                |       |
| 100      | 4.52  | 50    | 1.97  | 25        | 6.26  |                |       |
| 120      | 5.02  | 60    | 2.57  |           |       |                |       |
| 140      | 5.40  | 70    | 3.29  |           |       |                |       |
| 160      | 5.66  | 80    | 4.14  |           |       |                |       |
| 180      | 5.81  | 90    | 5.12  |           |       |                |       |
| 200      | 5.83  | 100   | 6.22  |           |       |                |       |

| Зеравшан |       | Ягноб |       | Фан-Дарья |       | Искандер-Дарья |       |
|----------|-------|-------|-------|-----------|-------|----------------|-------|
| L, км    | dN/dL | L, км | dN/dL | L, км     | dN/dL | L, км          | dN/dL |
| 220      | 5.73  | 110   | 7.46  |           |       |                |       |
| 240      | 5.51  |       |       |           |       |                |       |
| 260      | 5.17  |       |       |           |       |                |       |
| 280      | 4.71  |       |       |           |       |                |       |
| 300      | 4.13  |       |       |           |       |                |       |
| 310      | 3.80  |       |       |           |       |                |       |

Таблица 2.

## Средняя энергоэффективность крупных рек Таджикистана

| река          | Вахш  | Обихингоу | Сурхоб | Фан-Дарья | Искандер-Дарья | Зеравшан | Кафирниган | Ягноб |
|---------------|-------|-----------|--------|-----------|----------------|----------|------------|-------|
| dN/dL, МВт/км | 14.71 | 9.97      | 9.89   | 6.30      | 5.19           | 4.33     | 3.93       | 3.02  |

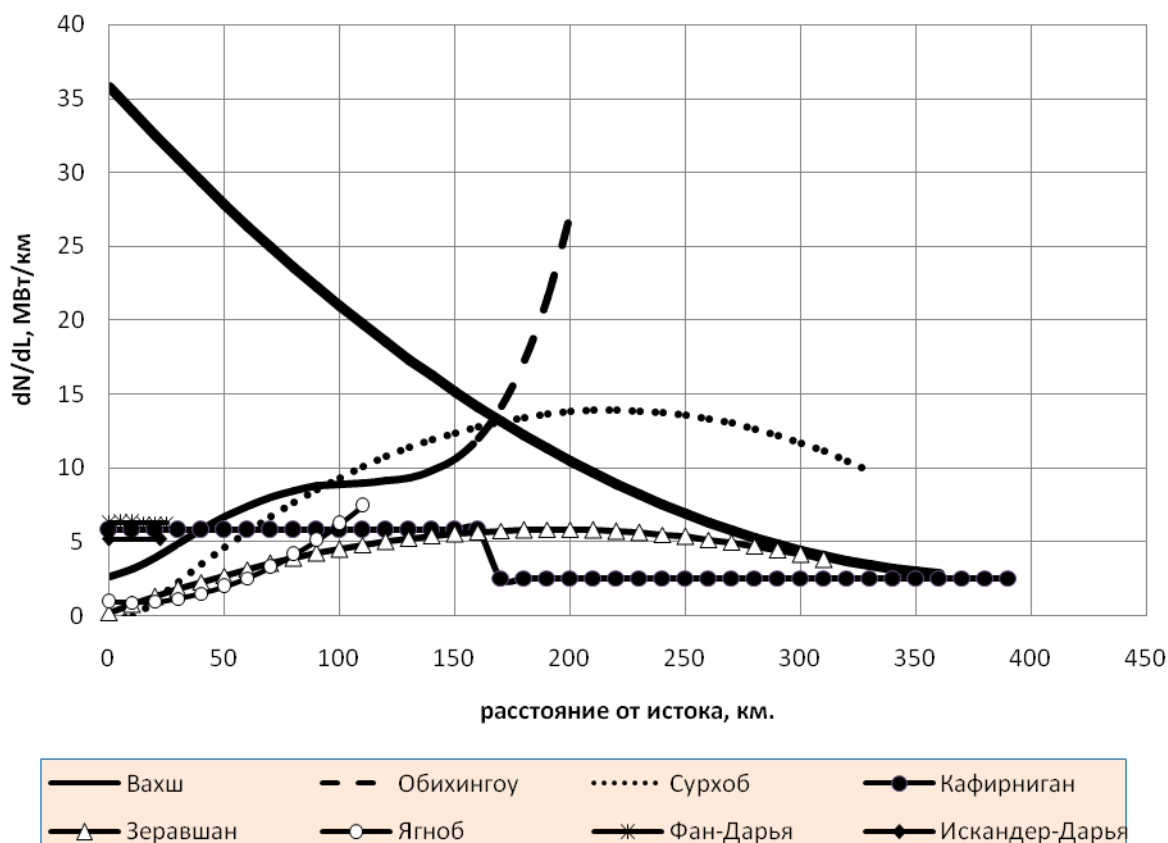


Рис. Энергоэффективность крупных рек Таджикистана, dN/dL, МВт/км

Следующей по энергоэффективности из рассматриваемых рек является Обихингоу, затем, по порядку, Сурхоб, Фан-Дарья, Искандер-Дарья, Зеравшан, Кафирниган, Ягноб.

При этом у этих рек наибольшая энергоэффективность достигается на разных участках. Если у Вахша она наибольшая у истока и плавно уменьшается к устью, то у Обихингоу и Ягноба наибольшую энергоэффективность имеет самое нижнее течение реки, у Сурхоба – его нижняя половина, у Зеравшана – среднее течение, у Кафирнигана – верхнее течение.

Именно на этих участках можно достичь наибольшего эффекта при строительстве ГЭС. Это объясняется тем, что при одних и тех же параметрах деривационных ГЭС, наиболее предпочтительных в сегодняшних условиях, как с точки зрения гидроэнергетики, так и экологии, на этих участках, при одних и тех же технических решениях, будут достигаться наибольшие мощность и выработка электроэнергии ГЭС.

Соответственно, стоимость ГЭС будет обратно пропорциональна ее энергоэффективности, если под последней понимать удельную мощность на единицу длины реки.

Что касается приплотинных ГЭС, то, на первый взгляд, удельная мощность на единицу длины реки не связана напрямую ни с мощностью ГЭС, ни с ее стоимостью. Но если учесть, что длина участка затопления реки обратно пропорциональна энергоэффективности реки, а площадь водохранилища и, соответственно, зоны затопления обратно пропорциональна квадрату энергоэффективности реки, то картина будет той же самой, что и в случае деривационных ГЭС.

Как уже отмечалось выше, энергоэффективность реки или ее участка, в конечном счете, заключается в возможности при одних и тех же технических решениях и типоразмерах ГЭС получить соответствующую мощность станции, то есть прямо определяет затраты на строительство и экономическую эффективность проектов ГЭС.

Рассмотрим ГЭС-1 и ГЭС-2, построенные на двух участках рек с разными энергоэффективностями –  $\mathcal{E}_1$  и  $\mathcal{E}_2$ . Пусть  $\mathcal{E}_1 = \kappa \mathcal{E}_2$ .

Если при этом длины этих двух участков рек, энергопотенциалы которых осваиваются обеими ГЭС, будут равны то затраты на строительно-монтажные работы (СМР) у них будут одни и те же, а мощности этих ГЭС и стоимость их оборудования будут прямо пропорциональны их энергоэффективности

$$N_1 = \kappa N_2$$

$$P_1^{\text{оборуд}} = \kappa P_2^{\text{оборуд}}.$$

Общая стоимость строительства ГЭС равна затратам на оборудование и СМР:

$$P_1 = P_1^{\text{оборуд}} + P_1^{\text{СМР}}, \quad (1)$$

где  $P_1$ ,  $P_1^{\text{оборуд}}$ ,  $P_1^{\text{СМР}}$  – общая стоимость, затраты на оборудование и СМР для ГЭС-1.

Можно принять, что для любой ГЭС, так же, как для уже построенных и строящихся ГЭС на р. Вахш, затраты на оборудование составляют 30, а на СМР – 70% от общей стоимости ГЭС, то есть:

$$P_1^{оборуд} = \frac{0.3}{0.7} P_1^{СМР} = 0.429 P_1^{СМР} \quad (2)$$

Для ГЭС №2 аналогично будем иметь

$$P_2 = P_2^{оборуд} + P_2^{СМР} = \frac{P_1^{оборуд}}{\kappa} + P_1^{СМР}. \quad (3)$$

Подставляя в формулы (1) и (3) значения  $P_1^{оборуд}$  из формулы (2), получим

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{1.429}{1 + \frac{0.429}{\kappa}}.$$

То есть общая стоимость ГЭС № 1 будет в  $\frac{1.429}{1 + \frac{0.429}{\kappa}}$  раз больше общей стоимости ГЭС № 2.

Но общая стоимость ГЭС равна ее удельной стоимости, умноженной на мощность

$$P_i = p_i N_i,$$

где  $p_i$  – удельная стоимость строительства ГЭС мощностью  $N_i$ .

С учетом этого для удельных стоимостей ГЭС будем иметь

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{1.429}{(\kappa + 0.429)}. \quad (4)$$

Используя эту последнюю зависимость (4), в табл. 3 с учетом результатов табл. 2 приведены расчеты среднего для всей реки удорожания строительства однотипных ГЭС на разных реках по отношению к ГЭС на р. Вахш.

Таблица 3

Среднее удорожание строительства ГЭС на крупных реках Таджикистана  
по сравнению с р. Вахш

| Река           | Вахш | Обихингоу | Сурхоб | Фан-Дарья | Искандер-Дарья | Зеравшан | Кафирниган | Ягноб |
|----------------|------|-----------|--------|-----------|----------------|----------|------------|-------|
| $\kappa$       | 1.00 | 0.68      | 0.67   | 0.43      | 0.35           | 0.29     | 0.27       | 0.21  |
| $p_i/p_{Вахш}$ | 1.00 | 1.29      | 1.30   | 1.67      | 1.83           | 1.98     | 2.05       | 2.25  |

### В ы в о д ы

При освоении гидроресурсов большое значение имеет правильный выбор для строительства первоочередных приоритетных ГЭС, обеспечивающих наибольший эффект, тем более что в Таджикистане есть для этого огромные возможности – только уже обследованных створов для строительства крупных ГЭС в республике имеется более 80-ти. Критерием такого выбора может быть энергоэффективность речных гидроэнергетических ресурсов – удельная мощность на единицу длины реки.

Территориальное расположение их в разных регионах республики не играет какой-либо существенной роли – где бы не была построена ГЭС, ее энергия может быть использована в любом другом районе. Это возможно как уже сегодня, с использованием имеющихся в республике ЛЭП, так и в ближайшей перспективе, после завершения строительства ЛЭП-500 «Юг-Север» и особенно после строительства намечаемой ЛЭП CASA-1000.

Анализ всех наиболее крупных рек Таджикистана показывает, что по энергоэффективности на первом месте находится р. Вахш, удельная мощность которой на единицу длины в два с лишним раза превышает этот показатель других рек. Следующими по энергоэффективности после Вахша идут реки Обихингоу, Сурхоб, Фан-Дарья, Искандер-Дарья, Зеравшан, Кафирниган, Ягноб. При этом в каждой из всех этих рек есть участки, энергоэффективность которых в несколько раз превышает средние значения по всей реке в целом. Именно они являются наиболее привлекательными в качестве приоритетных объектов для строительства ГЭС.

*Институт водных проблем, гидроэнергетики  
и экологии АН Республики Таджикистан,  
\*Анзобский Горно-обогатительный комбинат*

*Поступило 12.05.2009 г.*

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Petrov G. – Tajikistan's Energy Projects: Past, Present, and Future, Central Asia and the Caucasus. Journal of social and Political Studies. Sweden, №5(29), 2004, p.93-103.
2. Гидроэнергетические ресурсы Таджикской ССР. – Л.: Недра, 1965, 658 с.

**Г.Н.Петров, Х.Х.Халиков**

### **САМАРОНОКИИ ЭНЕРГЕТИКИИ ДАРЁҲОИ КАЛОНИ ТОҶИКИСТОН**

Тоҷикистон дорои захираҳои бойи барқию обӣ буда, аз ин ҳамагӣ 5 ғоиз истифода мешавад.

Дар ин шароит интихоб намудани лоихаҳои авалин дараҷаи стансияҳои барқию обӣ хеле актуалӣ мебошад, ва ин пешрафт ва самаранокии хеле зиёди тараққиёти гидроэнергетикаро таъмин мекунад.

Критерияи самаранокӣ дар ин ҳолат вобаста аз рӯи иқтидори хоси дарё ба воҳиди дарозии он мебошад.

Аз рӯи таклифи муаллифон имконияти мувофиқаи ғоиданокии дарёҳои калон ва қитъаҳои хурди онҳоро, аз рӯи самаранокии энергетикашон баҳо дода мешавад.

Ин, дар навбати худ, метавонад аз рӯи сифат интихоби навбати авали сохтмони иншоотҳои обию барқие, ки натиҷаҳои беҳтарини нишондиҳандаҳои техникӣ ва арзиши камтарин доранд, таъмин намояд.

**G.N.Petrov, K.Khalikov**

### **POWER EFFICIENCY OF THE LARGE RIVERS OF TAJIKISTAN**

Criterion of efficiency of hydroresources is specific capacity the rivers on unit of its length. The method developed by authors gives a cart- capacity of a comparative estimation of the large rivers and sites of the rivers by their power-efficiency. It provides a choice as prime object go buildings of the hydroelectric power stations having the best technical characteristics and the least cost.