

УДК 519.86:620.9

Г.Н.Петров, Х.Х.Халиков*

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ

(Представлено академиком АН Республики Таджикистан З.Д.Усмановым 21.03.2007 г.)

Развитие энергосистемы при сохранении ее в национальной собственности, неважно в какой форме – государственной, акционерной, частной – возможно только за счет собственной прибыли.

Использование для этого заемных средств - кредитов, ничего принципиально не меняет. В этом случае для достижения такого же энергетического эффекта, что и при использовании собственной прибыли, просто требуется больший объем затрат, с учетом возврата и обслуживания кредита. Учесть в расчетах это можно включением таких дополнительных затрат в себестоимость электроэнергии, поэтому и в этом случае все затраты, в конечном счете, осуществляются за счет собственной деятельности.

Рассмотрим, каким условиям должно удовлетворять развитие энергосистемы за счет собственной прибыли для того, чтобы это развитие было экономически эффективно.

Экономическая эффективность любого проекта достигается, если прибыль "П" больше или равна затратам на его реализацию "З" [1]:

$$П - З \geq 0 \quad (1)$$

В дальнейшем для большей определенности будем рассматривать предельный случай равенства уравнения (1) нулю.

Развитие энергосистемы – это строительство новых электростанций. Жизненный цикл таких проектов строительства электростанций 50 и более лет. В этих случаях для приведения стоимостных показателей разных лет к сопоставимому виду, при оценке экономической эффективности используются не текущие, а приведенные стоимости, рассчитываемые путем дисконтирования по формуле [2]:

$$P_t = P_0 \times q^t, \quad (2)$$

где: P_t – приведенная стоимость будущих затрат для года t ,

P_0 – текущая стоимость затрат в году t ,

q – коэффициент дисконтирования ($q < 1$).

Принципиальная схема финансовых потоков проекта новой электростанции приведена в табл. 1.

Таблица 1

Финансовые потоки проекта строительства электростанции

Финансовые потоки	Годы								
	строительства				эксплуатации				
	0	1		t_2	t_2+1	t_2+2		t_1-1	t_1
Затраты на строительство	$P_{\text{год}}$	$P_{\text{год}}$	$P_{\text{год}}$	$P_{\text{год}}$	-	-	-	-	-
Прибыль от производства электроэнергии	-	-	-	-	$\mathcal{E}_{\text{год}}$	$\mathcal{E}_{\text{год}}$	$\mathcal{E}_{\text{год}}$	$\mathcal{E}_{\text{год}}$	$\mathcal{E}_{\text{год}}$

С учетом (2), общее критериальное уравнение (1) будет иметь вид:

$$P_{\text{год}} \times \frac{1-q^{t_2}}{1-q} = \mathcal{E}_{\text{год}} \times \frac{q^{t_2} - q^{t_1}}{1-q}$$

или после сокращения:

$$P_{\text{год}} \times (1-q^{t_2}) = \mathcal{E}_{\text{год}} \times (q^{t_2} - q^{t_1}), \quad (3)$$

где: $P_{\text{год}}$ – ежегодные затраты на строительство электростанций:

$$P_{\text{год}} = \frac{P_{\text{общ}}}{t_2} = \frac{S \times N_{\text{э.с.}}}{t_2},$$

$P_{\text{общ}}$ – общая сметная стоимость строительства электростанций,

S – удельная стоимость строительства электростанций (стоимость одного киловатта вновь вводимой мощности),

$N_{\text{э.с.}}$ – мощность строящихся электростанций,

t_2 – общий срок строительства электростанций,

t_1 – общий срок службы строительства и эксплуатации электростанций (жизненный цикл проекта),

$\mathcal{E}_{\text{год}}$ – ежегодная прибыль вновь построенных электростанций:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = W_{\text{э.с.}} \times (\text{ц} - \text{с}) = N_{\text{э.с.}} \times \text{Ч} \times (\text{ц} - \text{с})$$

$W_{\text{э.с.}}$ – годовая выработка электроэнергии электростанций,

ц – тариф на электроэнергию,

с – себестоимость электроэнергии,

Ч – число часов использования установленной мощности электростанций в год.

Подставив в (3) полученные выше значения $P_{\text{год}}$ и $\mathcal{E}_{\text{год}}$, после некоторых преобразований будем иметь:

$$\frac{u - c}{S} = \frac{1 - q^{t_2}}{C t_2 q^{t_2} - q^{t_1}}. \quad (4)$$

Откуда, умножая обе части уравнения (4) на общую годовую выработку всей энергосистемы ($W_{\text{сист}}$) за счет прибыли которой осуществляется строительство новых электростанций, и учитывая, что:

$$\frac{W_{\text{сист}} \times (u - c)}{S} = N_{\text{э.с.}}^{\text{год}},$$

$$\frac{W_{\text{сист}}}{C} = N_{\text{сист}},$$

где: $N_{\text{э.с.}}^{\text{год}}$ - максимальная мощность электростанций, которую можно строить ежегодно за счет собственной прибыли энергосистемы, $N_{\text{сист}}$ - общая мощность всей существующей энергосистемы, из уравнения (4) окончательно получим:

$$\frac{N_{\text{э.с.}}^{\text{год}}}{N_{\text{сист}}} = \frac{(1 - q^{t_2})}{t_2 (q^{t_2} - q^{t_1})}. \quad (5)$$

Из последнего уравнения видно, что максимальная годовая мощность вновь вводимых электростанций (в долях от мощности самой существующей энергосистемы), сооружаемых за счет собственной прибыли общей энергосистемы, зависит всего от трех параметров - срока строительства, жизненного цикла электростанций и коэффициента дисконтирования.

Результаты расчетов относительных значений (по отношению к общей мощности всей энергосистемы) годовых мощностей вновь вводимых электростанций по уравнению (5), для двух значений их полного жизненного цикла – 50 и 100 лет, приведены в таблицах 2 и 3. Как показывает сравнительная оценка этих двух вариантов, они отличаются друг от друга очень незначительно: для значений коэффициента дисконтирования $q = 0.85 \div 0.90$ и сроков строительства электростанций t_2 до 10 лет всего на 1%, и только при больших значениях этих показателей – на 10÷15%. Так как сегодня для Таджикистана и других развивающихся стран реальный коэффициент дисконтирования равен и меньше 0.90 [3], то можно принять, что в этих условиях предельная годовая мощность нового строительства электростанций не зависит от их реального жизненного цикла.

Таблица 2

Максимальная годовая мощность вновь вводимых электростанций (в долях от мощности самой существующей энергосистемы), при жизненном цикле электростанций $t_1 = 50$ лет

$q \backslash t_2$	1	2	3	4	5	6	7	10	15
0.95	0.044	0.040	0.037	0.034	0.031	0.029	0.027	0.021	0.014
0.90	0.089	0.076	0.065	0.056	0.048	0.041	0.035	0.022	0.011
0.85	0.127	0.100	0.079	0.062	0.049	0.039	0.031	0.016	0.005

Таблица 3

Максимальная годовая мощность вновь вводимых электростанций (в долях от мощности самой существующей энергосистемы), при жизненном цикле электростанций $t_1 = 100$ лет

$q \backslash t_2$	1	2	3	4	5	6	7	10	15
0.95	0.047	0.044	0.040	0.037	0.035	0.032	0.030	0.024	0.016
0.90	0.090	0.077	0.066	0.056	0.048	0.041	0.036	0.023	0.011
0.85	0.127	0.100	0.079	0.062	0.049	0.039	0.031	0.016	0.005

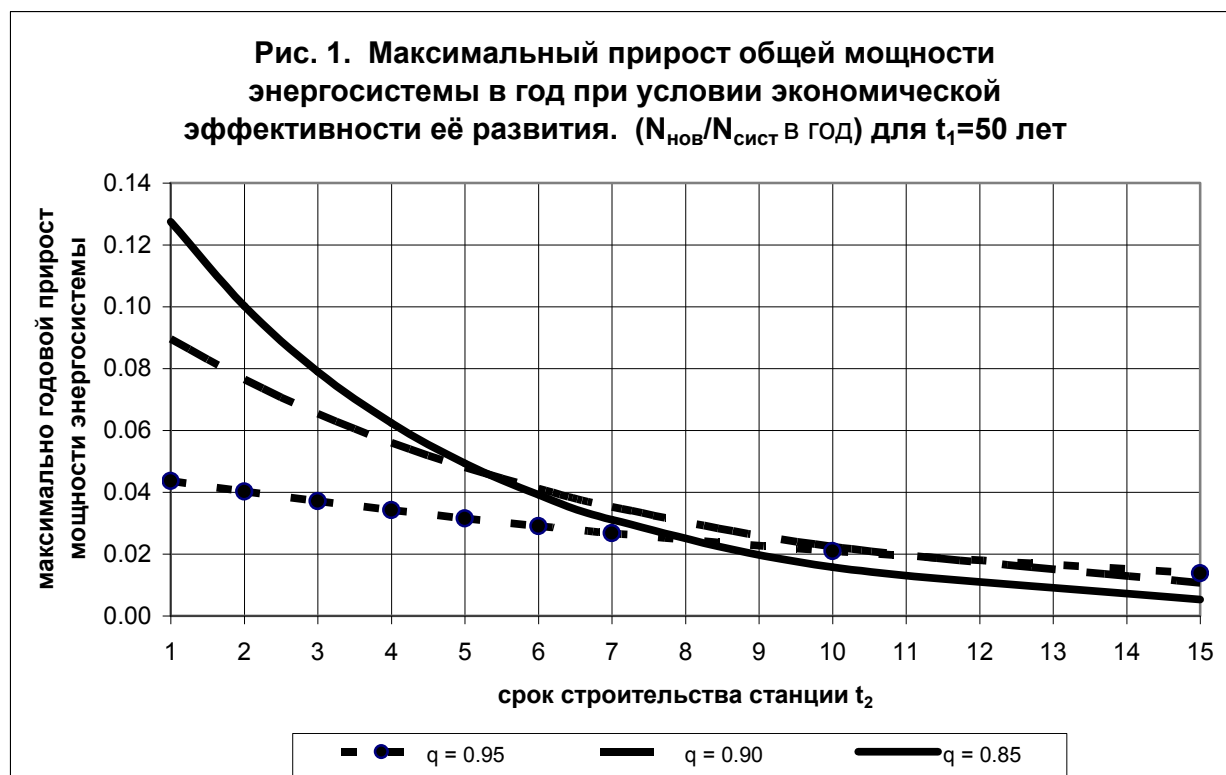
Поэтому на рис. 1 показаны соответствующие графики предельного годового ввода новых мощностей электростанций только для жизненного цикла 50 лет.

Хотя рассчитанные значения $N_{э.с}^{год}$ несколько условны, так как строящиеся электростанции вводятся в строй целиком, а не частями, рис. 1 показывает, что максимальные годовые вводы новых мощностей возможны только при небольших сроках строительства.

Таблица 4

Отношение расчетов максимальной годовой мощности вновь вводимых электростанций для $t_1 = 100$ лет, по отношению к $t_1 = 50$ лет

$q \backslash t_2$	1	2	3	4	5	6	7	10	15
0.95	1.081	1.086	1.091	1.096	1.102	1.108	1.114	1.136	1.184
0.90	1.006	1.006	1.007	1.008	1.009	1.010	1.011	1.015	1.026
0.85	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001	1.002	1.003



Например, для Таджикистана, где общая мощность всех ГЭС сегодня ≈ 4000 МВт, максимальный ввод новых мощностей в год возможен только при общем сроке строительства станций 1÷2 года и составляет при действующем сегодня коэффициенте дисконтирования 8÷9%, 300÷400 МВт в год. Учитывая, что в настоящих условиях в республике за такой короткий период невозможно построить одну станцию такой мощности, это показывает, что максимальное развитие энергосистемы Таджикистана сегодня можно осуществить только строительством нескольких электростанций средней и малой мощности, порядка 50÷100 МВт [3].

Что касается предельно допустимой мощности одной крупной электростанции, то она может быть рассчитана следующим образом. Учитывая, что:

$$N_{\text{э.с.}}^{\text{год}} \times t_2 = N_{\text{э.с.}}^{\text{общ.}}$$

где: $N_{\text{э.с.}}^{\text{общ.}}$ - общая мощность электростанций, которую можно строить за счет собственной прибыли всей энергосистемы, из уравнения (5) можно получить безразмерный критерий, определяющий максимальную общую мощность электростанций, которые могут быть построены за счет собственной прибыли энергосистемы и которые будут при этом экономически эффективны:

$$\frac{N_{\text{э.с.}}^{\text{общ.}}}{N_{\text{сист}}} = \frac{(1 - q^{t_2})}{(q^{t_2} - q^{t_1})}. \quad (6)$$

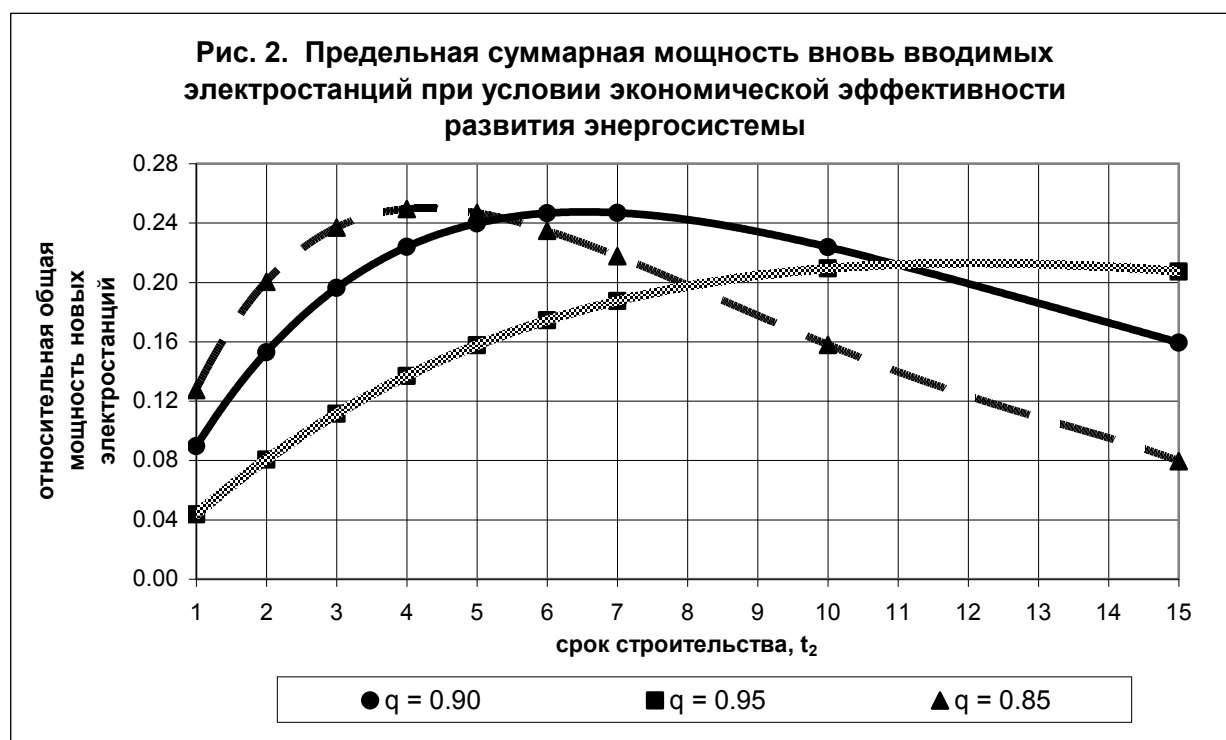
Расчеты максимальной мощности электростанций по формуле (6) приведены в табл. 5 и показаны на рис. 2. Как и ранее, они выполнены для значения жизненного цикла электро-

станций $t_1 = 50$ лет. Эти данные показывают, что максимальные мощности новых электростанций, которые можно построить за счет собственных прибылей существующей энергосистемы и которые будут экономически эффективны, для всех значений коэффициентов дисконтирования довольно близки и находятся в диапазоне $0.21 \div 0.25$ от мощности самой существующей энергосистемы. Например, для Таджикистана общая мощность всей энергосистемы которого, как уже отмечалось выше, равна 4000 МВт, максимальная мощность новых электростанций будет составлять $800 \div 1000$ МВт. Это мощность одной Шуробской ГЭС на реке Вахш или мощность нескольких гидроэлектростанций на реке Зеравшан.

Таблица 5

Общая мощность вновь вводимых электростанций (в долях от мощности самой существующей энергосистемы), при жизненном цикле электростанций, $t_1 = 50$ лет

$q \backslash t_2$	1	2	3	4	5	6	7	10	15
0.95	0.044	0.080	0.111	0.137	0.158	0.174	0.187	0.209	0.207
0.90	0.089	0.153	0.196	0.224	0.240	0.247	0.247	0.224	0.159
0.85	0.127	0.200	0.237	0.249	0.247	0.235	0.218	0.158	0.079



При этом нужно отметить, что все кривые на рис. 2 имеют максимумы, поэтому экономическая эффективность таких новых крупных электростанций будет обеспечиваться только при соответствующих сроках их строительства. Например, при коэффициенте дискон-

тирования $q = 0.85$ такой оптимальный срок строительства равен 4 годам, при $q = 0.90$ - $6 \div 7$ года и при $q = 0.95$ составит $11 \div 13$ лет.

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

Поступило 21.03.2007 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарп У., Александер Г., Вейли Дж. ИНВЕСТИЦИИ. М.: ИНФРА-М, 1999, с. 1027.
2. Эрик Хелферт. Техника финансового анализа. М.: «Аудит», «ЮНИТИ», 1966, с. 663.
3. Петров Г.Н. Некоторые вопросы оценки эффективности энергетического комплекса. - Экономика Таджикистана: стратегия развития. Душанбе, 1999, №2, с. 32-39.

Г.Н.Петров, Х.Х.Халиков

МЕЪЁРҲОИ МАТЕМАТИКӢИ САМАРАНОКӢИ ИҚТИСОДИИ РУШДИ СИСТЕМАИ ЭНЕРГЕТИКӢ

Дар мақола меъёрҳои математикӣ (риёзӣ) барои муайян намудани ҳадди тавоногии неругоҳҳои барқӣ сохташаванда, ки самаранокии иқтисодии онҳоро дар доираи системаи энергетикӣ амалкунанда таъмин менамояд, дода шудааст.

G.N.Petrov, K.K.Khalikov

MATHEMATICAL CRITERIA OF ECONOMIC EFFECTIVENESS OF DEVELOPING ENERGY SYSTEMS

The article covers issues of economic effectiveness of developing energy systems and suggested dependence for ceiling value of capacity of the new power stations, as well as relevant terms of construction.