

Алыбаев Н. К. e mail: atomkg@mail.ru

ОАО “Жалалабатэлектро”, г Жалал-Абад, Кыргызстан.

СОСТАВЛЕНИЕ ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА И ЕГО ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Приведен анализ притока воды в Токтогульское водохранилище. Отмечено, что не наблюдается закономерности притока. Следовательно, для прогнозирования выработки электроэнергии на предстоящие периоды недостаточно имеющейся информации. Предпринята попытка составления уравнения водно-энергетического баланса, приведены таблицы выработки электроэнергии каскадами Токтогульских ГЭС.

Ключевые слова: объем притока, прогнозирование, водно-энергетический баланс, средние значения, потребление электроэнергии.

Для полного понимания водно-энергетического баланса и прогнозирования выработки электроэнергии необходимо рассмотреть месторасположение каскада гидроэлектростанций (ГЭС) в Кыргызстане, которые построены на реке Нарын. Схема расположения ГЭС приведена на рис.1.

Естественно, электроэнергетическая безопасность Кыргызстана напрямую связана с объемом воды в Токтогульском водохранилище, зависящем от соотношения двух параметров: объема естественного притока воды в водохранилище и объема воды, используемой на выработку электроэнергии на Токтогульской ГЭС.

Согласно проектным гидрологическим исследованиям, питание реки Нарын снегово-ледниковое, поэтому объем притока воды в Токтогульское водохранилище полностью зависит от количества осадков (снег, ледники), накопившихся в водосборном бассейне реки Нарын в течение зимнего периода. Площадь водосбора реки Нарын в створе Токтогульской ГЭС составляет 52 500 км², а среднемноголетний годовой объем стока воды в Токтогульское водохранилище равен 12,48 млрд.м³, что составляет 30% от стока реки Сырдарья. Период половодья реки Нарын проходит с апреля по сентябрь, и на него приходится 3/4 годового стока воды.[1]

При рассмотрении объема притока воды в Токтогульское водохранилище с 1988 года по 2014 годы общая закономерность не проявляется, то есть имеющаяся информация недостаточна для прогнозирования накопления воды на предстоящий период.[2]

На рис.2. представлен график изменения объема воды в Токтогульском водохранилище за период с 1988 по 2014 год.

При прогнозировании водно-энергетического баланса на предстоящий период энергетики исходят из средних значений либо значений предыдущего периода, что приводит к неточным результатам и к принятию нерезультативных мер на долгосрочные периоды.

Например, можно рассмотреть фактический водно-энергетический баланс с 2010 года по 2014 год, когда 2010 год был аномально многоводным и годовой объем притока воды в Токтогульское водохранилище составил 19,0 млрд. м³(153% от нормы).



Рис. 1. Схема расположения каскада ГЭС на р. Нарын.

Следовательно, во избежание аварийного переполнения и холостых сбросов воды Токтогульского водохранилища необходимо учитывать минимальное внутреннее потребление электроэнергии в вегетационный период (в апреле-сентябре составляет 1/3 от годового потребления), и осуществлять экспорт электроэнергии.

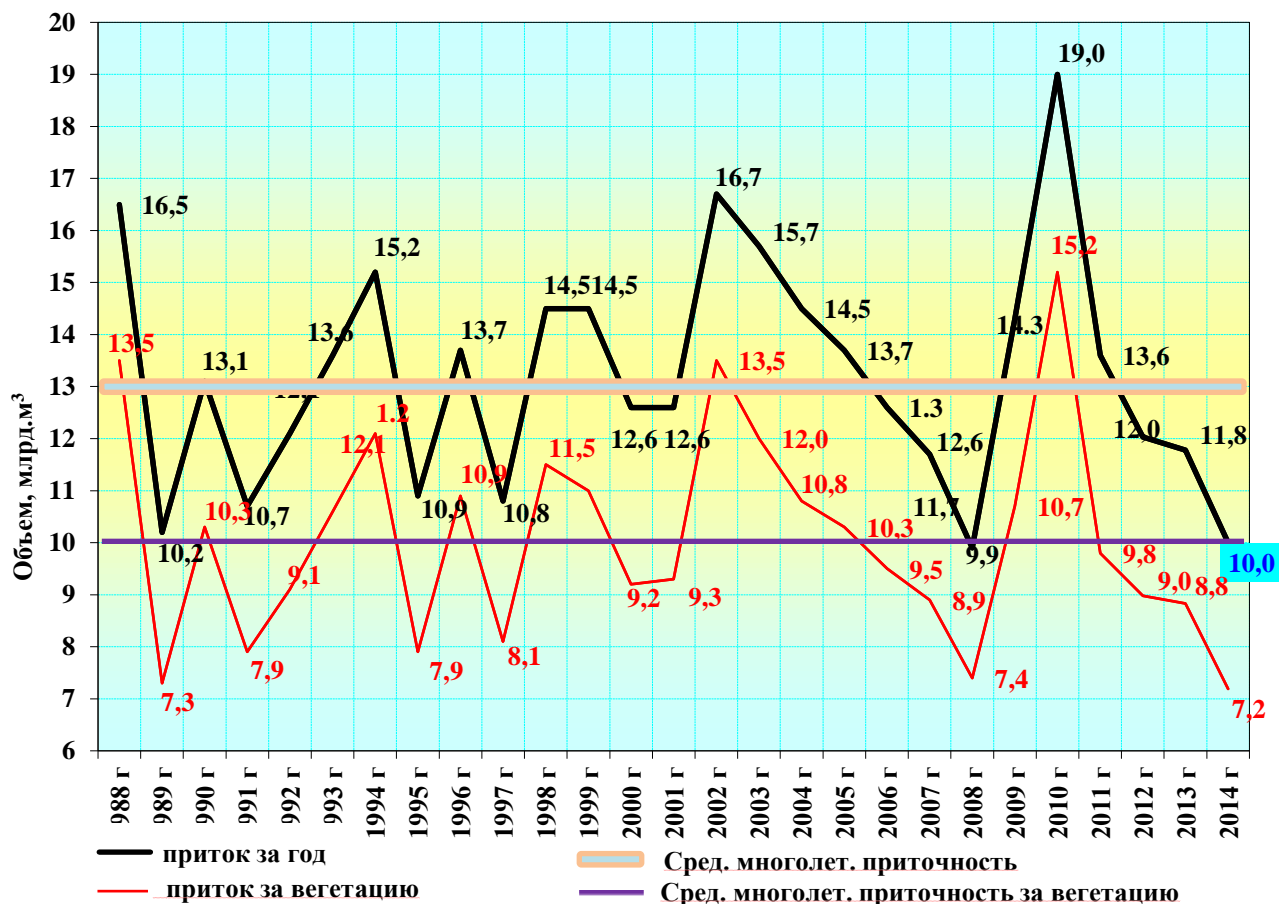


Рис.2. График изменения объема воды в Токтогульском водохранилище за период с 1988 по 2014 год.

На 1 января 2011 года объем воды в Токтогульском водохранилище составил 18,2 млрд. м³, так что был произведен экспорт электроэнергии в объеме 2,634 млрд. кВтч, что позволило к началу октября 2011 года довести объем воды в Токтогульском водохранилище до 19,546 млрд. м³, максимально возможного уровня, то есть объем воды в водохранилище был предельным к началу осенне-зимнего отопительного периода (ОЗП). Средства на приобретение топлива для ТЭЦ г. Бишкек на ОЗП 2012/2013 гг. решено было получить от экспорта электроэнергии Токтогульской ГЭС.

На начало 2012 года объем воды в Токтогульском водохранилище составил 17,3 млрд. м³. В расчетах для удержания объема воды были приняты значения притока воды и внутреннее потребление электроэнергии на уровне 2011 года, однако фактический приток составил 12,0 млрд. м³, а внутреннее потребление электроэнергии повысилось на 1 178,5 млн. кВтч. Это потребовало увеличения попусков воды на выработку электроэнергии больше, чем планировалось, но объем воды на начало октября составил 17,5 млрд. м³, что явилось достаточным для прохождения ОЗП 2012/2013г.

В 2013 году, учитывая опыт прежних лет, объем экспорта электроэнергии был уменьшен до 375 млн. кВтч, что в 4 раза меньше объема 2012 года. При этом, к началу ОЗП 2013/2014 г.г., то есть на начало октября, объем воды в Токтогульском водохранилище составил 16,0 млрд. м³.

В 2014 году приточность составила 10,0 млрд. м³, и была самой низкой за последние 26 лет. Внутреннее потребление в 2014 году по сравнению с 2013 годом выросло на 1,2 млрд кВтч. В результате по завершении ОЗП 2013/2014г. объем воды в Токтогульском водохранилище составил 9,0 млрд. м³, а к началу ОЗП 2014/2015гг. составил 11,9 млрд. м³.

В таблице 1 представлен водный баланс по годам с 2010 по 2014 года [3].

Таблица 1. Водный баланс Токтогульского водохранилища за период с 2010 по 2014г.г.

Годы	Объем на 1 января, млрд. м ³	Приток за год, млрд. м ³	Расход за год, млрд. м ³	Объем на 1 января следующего года, млрд. м ³	Внутреннее потребление, млн. кВтч	Экспорт, млн. кВтч	Импорт, млн. кВтч
2010	11,677	19,038	12,522	18,193	8827,5	1469	0
2011	18,193	13,524	14,466	17,251	10501,5	2634	0
2012	17,251	12,035	14,334	14,952	11680,0	1502	0
2013	14,952	11,783	13,304	13,431	11948,4	375	0
2014	13,431	10,0	14,2	9,255	14690,0	128 (обмен)	333,6

Как видно из приведенного водного баланса, приток воды в Токтогульское водохранилище с каждым годом уменьшался, при этом рост внутреннего потребления ежегодно увеличивался: внутреннее потребление 2014 года выросло в 1,5 раза по сравнению с 2010 годом. Следствием этого явилось снижение уровня воды в Токтогульском водохранилище. Необходимо отметить, что прогнозировать вероятный приток воды на предстоящий период очень сложно, и в расчетах применяются значения от среднемноголетнего притока воды, а прогноз объема внутреннего потребления за предстоящий период берется от фактического потребления предыдущего года с 5% ростом потребления.

Однако, запланированные значения имели большую разницу с фактическими. Это позволило сделать вывод о том, что запас воды в Токтогульском водохранилище уменьшился в зависимости от следующих основных двух факторов[3]:

- низкого притока воды в Токтогульском водохранилище;
- значительного увеличения фактического внутреннего потребления электроэнергии.

Эти два фактора, влияющие на водно-энергетический баланс, являются объектом для дальнейшего исследования.

Водно-энергетический баланс на прогнозируемый период (среднемесячный, среднегодовой) представим следующим уравнением:

$$W_{в.п.} = W_{\Sigma в.эл.эн.} - W_{\Sigma х.н. «ЭС»} - W_{\Sigma потери «НЭСК»} + W_{\Sigma импорт} - W_{\Sigma экспорт}, \quad (1)$$

где $W_{в.п.}$ – ожидаемое потребление электроэнергии распределительными компаниями (РЭКи), крупными промышленными предприятиями (КПП), оптовыми покупателями-перепродавцами (ОПП), потребителями-перепродавцами (ПП) и прочими потребителями электроэнергии на границе ОАО «Национальные электрические сети Кыргызстана»;

$W_{\Sigma в.эл.эн.}$ – суммарная выработанная электроэнергия;

$W_{\Sigma х.н. «ЭС»}$ – суммарное потребление электроэнергии на хозяйственные нужды ОАО «Электрические станции» (вырабатываемые станциями);

$W_{\Sigma потери «НЭСК»}$ – суммарные потери электроэнергии при передаче через сети ОАО «Национальные электрические сети Кыргызстана»;

$W_{\Sigma импорт}$ – импорт электроэнергии;

$W_{\Sigma экспорт}$ – экспорт электроэнергии;

Суммарная выработанная электроэнергия

$$W_{\Sigma в.эл.эн.} = W_{\Sigma КТГЭС} + W_{\Sigma прочие ГЭС} + W_{\Sigma БТЭЦ}, \quad (2)$$

где $W_{\Sigma КТГЭС}$ – суммарная выработанная электроэнергия в Каскаде Токтогульских ГЭС;

$W_{\Sigma прочие ГЭС}$ – суммарная выработанная электроэнергия в прочих ГЭС (Ат-Башинская ГЭС, Камбар-Ата 1-2);

$W_{\Sigma БТЭЦ}$ – суммарная выработанная электроэнергия Бишкекской ТЭЦ.

Структура выработки электроэнергии по указанным станциям представлена в таблице 2.

Суммарную выработанную электроэнергию Каскада Токтогульских ГЭС представим в виде:

$$W_{\Sigma КТГЭС} = W_{ТГЭС} + W_{КГЭС} + W_{ТКГЭС} + W_{ШСГЭС} + W_{УКГЭС}, \quad (3)$$

где $W_{ТГЭС}$ – выработанная электроэнергия Токтогульской ГЭС;

$$W_{ТГЭС} = Q_{ТГЭС} / q_{ср.уд} = Q_{вырТГЭС} \cdot t / 1000000 / q_{ср.удТГЭС}; \quad (4)$$

$W_{КГЭС}$ – выработанная электроэнергия Курпсайской ГЭС;

$W_{ТКГЭС}$ – выработанная электроэнергия Таш-Кумырской ГЭС;

$W_{ШСГЭС}$ – выработанная электроэнергия Шамалды-Сайской ГЭС;

$W_{УКГЭС}$ – выработанная электроэнергия Уч-Курганской ГЭС;

$Q_{вырТГЭС}$ – расход воды на выработку электроэнергии, м³/сек;

t – продолжительность работы гидроагрегата (гидроагрегатов), сек.;

Суммарная выработанная электроэнергия Каскадом Токтогульских ГЭС зависит от расхода воды на выработку электроэнергии Токтогульской ГЭС – $Q_{ТГЭС}$ (млн.м³) и среднего удельного расхода воды $q_{ср.удТГЭС}$ (м³/кВтч).

Таблица 2. Структура выработки электроэнергии каскадом ГЭС в 2014 г.

месяц	Выработка, млн.кВтч	Мощность, МВт
январь	81,84	110,0
февраль	73,92	110,0
март	85,56	115,0
апрель	93,60	130,0
май	96,72	130,0
июнь	93,60	130,0
июль	96,72	130,0
август	96,72	130,0
сентябрь	93,60	130,0
октябрь	89,28	120,0
ноябрь	73,44	102,0
декабрь	61,01	82,0

Далее выработку электроэнергии по ГЭС можно вычислить по следующим формулам:

$$W_{\text{КГЭС}} = (Q_{\text{выр.ТГЭС}} + Q_{\text{вын.сбросТГЭС}} + Q_{\text{пр.рек}}) \cdot t / q_{\text{ср.удКГЭС}}, \quad (5)$$

Где $Q_{\text{вын.сбросТГЭС}}$ – вынужденные сбросы воды Токтогульской ГЭС, м³/сек;

$Q_{\text{пр.рек}}$ – приток воды от других рек, м³/сек;

$q_{\text{ср.удКГЭС}} = 4,18 \text{ м}^3/\text{кВтч}$ – удельный расход воды Токтогульской ГЭС –;

$$W_{\text{ТКГЭС}} = (Q_{\text{выр.ТКГЭС}} + Q_{\text{вын.сбросТКГЭС}} + Q_{\text{пр.рек}}) \cdot t / q_{\text{ср.удТКГЭС}}; \quad (6)$$

$q_{\text{ср.удТКГЭС}} = 7,56 \text{ м}^3/\text{кВтч}$ – удельный расход воды Таш-Кумырской ГЭС ;

$$W_{\text{ШСГЭС}} = (Q_{\text{выр.ШСГЭС}} + Q_{\text{вын.сбросШСГЭС}}) \cdot t / q_{\text{ср.удШСГЭС}}; \quad (7)$$

$q_{\text{ср.удШСГЭС}} = 14,76 \text{ м}^3/\text{кВтч}$ – удельный расход воды Шамылды-Сайской ГЭС;

$$W_{\text{УКГЭС}} = (Q_{\text{выр.ШСГЭС}} + Q_{\text{вын.сбросШСГЭС}} - Q_{\text{спуск на БНКилНК}}) \cdot t / q_{\text{ср.удУКГЭС}}; \quad (8)$$

$q_{\text{ср.удУКГЭС}} = 14,4 \text{ м}^3/\text{кВтч}$ – удельный расход воды Уч-Курганской ГЭС;

$Q_{\text{спуск на БНКилНК}}$ – спуск воды в Большой Наманганский канал и Левобережный Наманганский Канал, м³/сек;

Исходя из изложенного, учитывая ожидаемые значения и определяя приточность воды р. Нарын ($Q_{\text{пр.реки Нарын}}$) в Токтогульское водохранилище, можно прогнозировать режимы работы энергосистемы, включающие в себя производственно-экономические затраты и доходы, режим работы ТЭЦ Бишкек, ориентированность на экспорт или импорт электроэнергии, а именно:

- потребление электроэнергии внутренними потребителями – $W_{\text{в.п.}}$;
- объем Токтогульского водохранилища на начало расчетного периода – $V_{\text{н.п.}}$;
- спуск воды в Большой Наманганский канал и Левобережный Наманганский Канал – $Q_{\text{спуск на БНКилНК}}$;
- приток воды от прочих рек – $Q_{\text{пр.рек}}$;

Алгоритм составления предполагаемого водно-энергетического баланса (режим работы энергосистемы) на анализируемый период следующий:

1. Вводимые значения $Q_{\text{пр.реки Нарын}}$ ($\text{м}^3/\text{сек}$), $W_{\text{в.п.}}$ (млн.кВтч), $Q_{\text{спуск на БНКиЛНК}}$ ($\text{м}^3/\text{сек}$), $Q_{\text{пр.рек}}$ ($\text{м}^3/\text{сек}$).

2. Расчет выработанной электроэнергии Токтогульской ГЭС по формуле (4), где $q_{\text{ср.удГЭС}}$ зависит от объема водохранилища ТГЭС на начало и на конец периода $V_{\text{н.п.}}$ и $V_{\text{к.п.}}$, при этом не должно нарушаться условие (1), и необходимо соблюдать ограничения объемов водохранилища $6,0 \text{ млрд.м}^3 \leq V_{\text{н.п.}} \leq 19,5 \text{ млрд. м}^3$ и $6,0 \text{ млрд. м}^3 \leq V_{\text{к.п.}} \leq 19,5 \text{ млрд. м}^3$. Объем воды на конец периода рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{к.п.}} = V_{\text{н.п.}} + Q_{\text{пр.рекиНарын}} * t / 1000000 - Q_{\text{вырТГЭС}} * t / 1000000 - Q_{\text{вын.сбросТГЭС}} * t / 1000000 \quad (9)$$

3. Расчет выработанной электроэнергии на Курпсайкой ГЭС проводится по формуле (5) с учетом предельной пропускной способности ГЭС, равной $928 \text{ м}^3/\text{сек}$

4. По остальным ГЭС расчет выработанной электроэнергии производится по аналогии с пунктом 3, с учетом предельных пропускных способностей ГЭС по формулам (6), (7), (8).

5. На каждый рассчитываемый период выработанная электроэнергия прочих ГЭС рассчитывается в соответствии с таблицей 2.

6. Вырабатываемая мощность на ТЭЦ Бишкек указывается в зависимости от технологических возможностей и дефицита мощности в энергосистеме, не превышая при этом 360 МВт .

7. Импортировать или экспортировать электроэнергию. Естественно, что при $V_{\text{н.п.}} \leq 6,0 \text{ млрд.м}^3$ необходимо импортировать, а при $V_{\text{н.п.}} \geq 19,5 \text{ млрд. м}^3$ – экспортировать электроэнергию.

По этому алгоритму на предполагаемый период получены прогнозные результаты, которые приведены в таблице 3.

Таблица 3. Прогнозные результаты

Наименование	ед. изм	январь
Токтогульская ГЭС		
объем на начало периода	млрд. м ³	9,199
приток воды	м ³ /сек	141
расход воды на выработку эл. эн.	м ³ /сек	588
выработка эл.эн. по расходу воды	млн.кВтч	483,10
объем на конец периода	млрд. м ³	8,00
средний удельный расход воды	м ³ /сек/кВтч	3,26
Курпсайкая ГЭС		
приток воды от ТГЭС	м ³ /сек	588
приток воды от лев. и правобережных рек	м ³ /сек	7
приток воды общий	м ³ /сек	595
предельная пропускная способность	м³/сек	928
расход воды на выработку эл. эн.	м ³ /сек	595
вынужденный сброс воды	м ³ /сек	0,00
выработка эл.эн. по расходу воды	млн.кВтч	381,62
Таш-Кумырская ГЭС		
приток воды от КГЭС	м ³ /сек	595
приток воды от других рек	м ³ /сек	14
приток воды общий	м ³ /сек	609
предельная пропускная способность	м³/сек	945
расход воды на выработку эл. эн.	м ³ /сек	609
вынужденный сброс воды	м ³ /сек	0

выработка эл.эн. по расходу воды	млн.кВтч	215,76
Шамалды-Сайская ГЭС		
приток воды	м ³ /сек	609
предельная пропускная способность	м ³ /сек	984
расход воды на выработку эл. эн.	м ³ /сек	609
вынужденный сброс воды	м ³ /сек	0
выработка эл.эн. по расходу воды	млн.кВтч	110,51
Уч-Курганская ГЭС		
приток воды	м ³ /сек	609,0
предельная пропускная способность	м ³ /сек	700
минимальный спуск на БНК и ЛНК	м ³ /сек	6,0
вынужденный сброс воды	м ³ /сек	0,0
расход воды на выработку эл. эн.	м ³ /сек	603,0
выработка эл.эн. по расходу воды	млн.кВтч	112,16
Общий попуск воды с Уч-Курганского ВДХ	млн. м³	1 631,1
Всего по Каскаду ТГЭС		
выработка эл.эн. по расходу воды	млн.кВтч	1 303,15
Всего: прочие ГЭС		
выработка эл.эн. по расходу воды	млн.кВтч	81,84
вырабатываемая мощность	МВт	110,0
Бишкекская ТЭЦ		
выработка эл.эн.	млн.кВтч	267,84
вырабатываемая мощность	МВт	360,00
Выработано электроэнергии		
Всего выработано электроэнергии	млн.кВтч	1 652,83
Нужды ОАО "ЭС"	млн.кВтч	37,39
Отпущено электроэнергии	млн.кВтч	1 615,44
Импорт электроэнергии	млн.кВтч	199,14
Экспорт электроэнергии	млн.кВтч	
Потери ОАО "НЭСК"	млн.кВтч	132,83
Хоз нужды ОАО "НЭСК"	млн.кВтч	0,78
Отпуск электроэнергии в сети	млн.кВтч	1 681,0
Ожидаемое внутреннее потребление ээ	млн.кВтч	1 681,0

Выводы. Таким образом, предложенный алгоритм составления водно-энергетического баланса каскада Токтогульских ГЭС позволяет оптимизировать режим работы ГЭС каскада, прогнозировать расход воды на выработку электроэнергии и орошение земель, минимизируя вынужденный сброс воды.

Литература

1. Никанорова А.Д. Ландшафтно-геоэкологическое обоснование оптимизации водопользования в орошаемом земледелии Ферганской долины: Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук – Москва, 2015. – 16с http://istina.msu.ru/media/dissertations/dissertation/fd1/03e/10650099/Dissertatsiya_Nikanorova_AD.pdf (дата обращения: 26.11.2015).
2. Официальные материалы коллегии Министерства энергетики и промышленности КР за 2014 год – Бишкек, 2015.
3. Касымова В.М., Эсенгулов М.О. Налаживание межгосударственных интеграционных процессов по рациональному использованию водно-энергетических ресурсов в бассейне р. Нарын-Сырдарья одна из главных задач при вступлении КР в ЕАЭС // <http://energoforum.kg/images/library/352.pdf> (дата обращения: 11.02.2016).