

Лавров Н.П., Торопов М.К., Давлеталиев Р.А.

БАЛАНС НАПОРА И МОЩНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ИССЫК-АТИНСКОЙ ДЕРИВАЦИОННОЙ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

N.P. Lavrov, M.K. Toropov, R.A. Davletaliev

ISSIC-ATA POWER STATION'S HEAD AND POWER BALANCE

УДК :: 621.311.21

В статье на основе предложенных ранее уравнений баланса расходов для водозаборного сооружения деривационной ГЭС Иссык-Ата получены уравнения балансов напора и мощности малой ГЭС.

According to the equations of the runoff balance for the intake headwork of the Issik- Ata diversion power station we have purposed before, the equations of the head and power balance were derived.

Ранее нами был составлен /1/ баланс расходов воды верхнего и нижнего бьефов водозаборного сооружения деривационной ГЭС для четырех эксплуатационных режимов. При этом предлагались уравнения для следующих режимов эксплуатации малой ГЭС: а) в весенний и осенний меженный период б) в зимний меженный период в) в летний период при пропуске среднегодовых расходов г) в летний период при пропуске паводков.

Общим балансовым уравнением расхода воды для всех режимов эксплуатации водозаборного сооружения для деривационной ГЭС /2/ без учета фильтрационных и других потерь в створе водозабора можно считать уравнение вида:

$$Q_p = Q_\delta + Q_{x.c\delta p}, \tag{1}$$

где

Q_p - расход воды в реке для верхнего бьефа водозаборного сооружения;

Q_δ - расход деривации, определяемый режимом эксплуатации малой ГЭС согласно графиков энергопотребления. Устанавливается путем изменения открытия (уставки) стабилизатора расхода a_{cm} в голове отводящего деривационного канала. В соот-

ветствии с известной зависимости Я.В.Бочкарева и А.И.Рохмана:

$$Q_\delta = Q_{cm} = c \cdot a_{cm} \cdot v_{cm}, \tag{2}$$

где

Q_{cm} - расход истечения стабилизатора;

v_{cm} - ширина донного отверстия стабилизатора ;

c - постоянная стабилизатора расхода, определенная опытным путем;

$Q_{x.c\delta p}$ в уравнении (1) – расход холостого сброса через речной пролет и катастрофические водосливы, определяется в соответствии с гидравлическими формулами, приведенными в /1/.

В случае, когда фактический расход реки Q_p больше требуемого расхода деривации Q_δ , график энергопотребления обеспечивается. Требуемый расход деривации Q_δ в данном случае в связи с интенсивным боковым притоком в деривацию грунтовых вод, можно принять равным суммарному проектному расходу ГЭС $Q_{ГЭС} = 2Q_{ai}$, где расход агрегатов Q_{ai} определяется по паспортным характеристикам. Если $Q_p < Q_\delta$, необходима его корректировка вплоть до остановки одного или обоих агрегатов.

Для рационального использования энергоемкости воды и составления баланса мощности данной ГЭС, необходимо прежде всего проанализировать баланс напора для рассматриваемых эксплуатационных режимов Иссык-Атинской ГЭС.

За основу принимаем общее уравнение баланса, полученное Н.К.Малининым /3/ из уравнения Бернулли для деривационной ГЭС с небольшим водохранилищем:

$$H_{Ti} = H_{z.y.} - \Delta H_{дер} - \Delta H_{води} = Z_{z.y.} - Z_{н.б.} - \Delta H_{дер} - \Delta H_{води} - \Delta H_{сус}, \tag{3}$$

где

H_{Ti} - рабочий напор турбин, напор агрегата $H_{ai} = H_{Ti}$ или напор нетто $H_{ai} = H_{нетто}$;

$\Delta H_{дер}$ - потери напора в деривации;

$\Delta H_{води}$ - потери воды в турбинном водоводе;

$Z_{z.y.} = Z_{н.б.}$ - уровень свободной поверхности водохранилища в верхнем бьефе водозаборного сооружения;

$Z_{н.б.}$ - отметка нижнего бьефа ГЭС;

$\Delta H_{сус}$ - потери напора на сороудерживающих сооружениях.

Рассмотрим уравнение баланса мощности, адаптированные к нашему варианту конструкции и компоновки водопропускных сооружений для каждого их четырех эксплуатационно – гидрологических режимов.

С этой целью представим схему баланса напоров Иссык-Атинской ГЭС в виде рисунка 1.

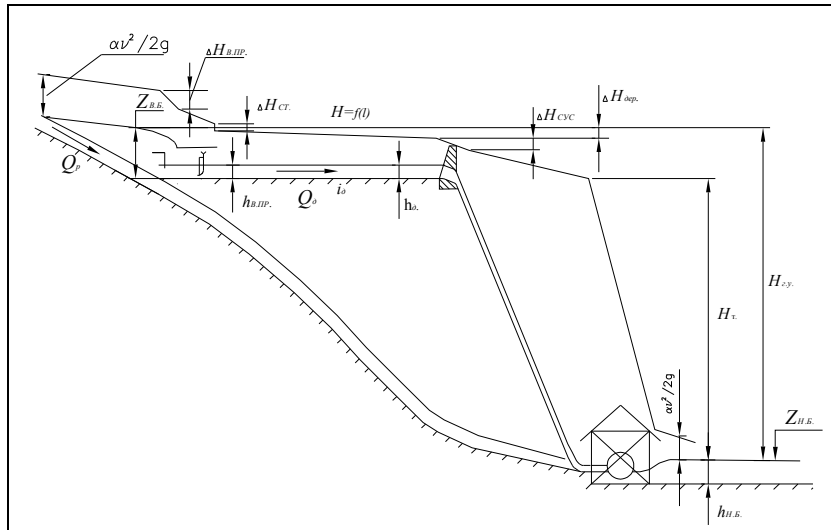


Рисунок 1 – Схема баланса напоров Исык-Атинской ГЭС

Рассмотрим с помощью этой интерпретации составляющие уравнения напоров (3) применительно к Исык-Атинской ГЭС, когда водозаборное сооружение работает в режимах а, в и г. При этих трех режимах поступление воды к агрегатам происходит по одинаковой схеме (см. рис.1). Напор гидроэнергетической установки $H_{г.у.}$ в данном случае можно в соответствии с рекомендациями [3] можно считать равным $H_{г.у.} = Z_{в.б.} - Z_{н.б.}$.

Разностью скоростных напоров $\frac{\alpha v^2}{2g}$ в реке и в отводящем канале можно пренебречь.

В данном случае, когда ГЭС работает по водотоку, водохранилища для регулирования стока нет и уровень свободной поверхности в верхнем бьефе $Z_{в.б.}$ следует принять равным отметке поверхности воды в подводящем зарегулированном русле перед наносотбойным порогом водозаборного сооружения типа ВСДГ. Этот уровень поддерживается постоянным благодаря действия авторегулятора уровня верхнего бьефа, установленного на речном пролете ВСДГ, т.е. можно считать, что $Z_{г.у.} = const$.

Под уровнем нижнего бьефа $Z_{н.б.}$ в данном случае, следуя рекомендациям [4], понимается отметка свободной поверхности воды в начале отводящего канала за агрегатами ГЭС. К потерям напора в деривационном канале $\Delta H_{дер.}$, которые можно определить как разность отметок свободной поверхности в начале и конце открытой деривации, в рассмотренном случае добавляются потери напора в водоприемнике ВСДГ. $\Delta H_{в.пр.}$, которые также равны разности глубин в подводящем русле и водоприемной камере ВСДГ, т.е. $\Delta H_{в.пр.} = h_{в.б.} - h_{в.пр.}$. Глубины $h_{в.б.}$ и $h_{в.пр.}$ определяются гидравлическим расчетом затвора-автомата уровня и стабилизатора расхода [5]. При равномерном движении воды в деривации глубина потока h_0 будет неизменной и потери напора определяются из формулы:

$$\Delta H_{дер.} = \sum i_{д.и.} \cdot l_{д.и.}, \quad (5)$$

где

$i_{д.и.}$ и $l_{д.и.}$ - уклон дна и длина участков деривационного канала.

Кроме того, имеются местные потери напора при истечении через донное отверстие и секции стабилизатора расхода $\Delta H_{ст.}$. Величину этих потерь можно приблизительно определить по формуле Вейсбаха:

$$\Delta H_{ст.} = \xi_{ст.} \frac{v_{сж.с.}^2}{2g}, \quad (6)$$

где

$\xi_{ст.}$ - коэффициент местных сопротивлений стабилизатора расхода при истечении через большое донное отверстие, определяется по гидравлическим справочникам;

$v_{сж.с.}$ - скорость в сжатом сечении за стабилизатором расхода.

Более точное значение местных потерь для стабилизатора расхода типа ССКЩ можно принять в соответствии с экспериментальными исследованиями авторов этой конструкции [4].

Потери напора на сороудерживающем сооружении, имеющим форму наклонной решетки и расположенном в напорном бассейне на входе в турбинные трубопроводы, также определяются по

формуле Вейсбаха как $\Delta H_{сж.с.} = \xi_{реш.} \frac{v_{вод.и.}^2}{2g}$. Коэф-

фициент местных потерь для решетки из наклонных прутьев $\xi_{реш.}$ можно определить по гидравлическим справочникам, а среднюю скорость воды в турбинном водоводе – их уравнения неразрывности

$$v_{вод.и.} = \frac{Q_{m.и.}}{\omega_{вод.и.}}$$

Потери напора в двух турбинных трубопроводах при известном диаметре $d_{вод}$ и длине водовода $l_{вод}$ определяются по формуле Вейсбаха- Дарси:

$$\Delta H_{вод.i} = \lambda \frac{l_{вод.i}}{d_{вод.i}} \cdot \frac{V_{вод.i}^2}{2g}, \quad (7)$$

где

λ - коэффициент гидравлического трения, определяется по известным гидравлическим зависимостям /5/, в зависимости от режима движения жидкости и области гидравлических сопротивлений.

Таким образом, уравнение для определения рабочего напора турбин Иссык-Атинской деривационной ГЭС для всех сезонов работы, кроме зимнего, можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{\dot{o}.i} &= H_{\dot{a}.o.} - \Delta \dot{I}_{\dot{a}.i\dot{o}.} - \Delta \dot{I}_{\dot{n}\dot{o}.} - \Delta \dot{I}_{\dot{a}\dot{a}\dot{o}.} - \Delta \dot{I}_{\dot{n}\dot{o}\dot{n}.} - \Delta \dot{I}_{\dot{a}\dot{i}\dot{i}.i} = \\ &= Z_{\dot{a}.a.} - Z_{i.\dot{a}.} - h_{\dot{a}.a.} - h_{\dot{a}.i\dot{o}.} - \\ &- \Sigma i_{\dot{o}.i} \cdot h_{\dot{o}.i} - \xi_{cm} \frac{V_{сж}^2}{2g} - \xi_{peu} \frac{V_{вод.i}^2}{2g} - \lambda \frac{l_{вод.i}}{d_{вод.i}} \cdot \frac{V_{вод.i}^2}{2g} \end{aligned} \quad (8)$$

Осенний режим работы (октябрь 2007г.) нового типа водозаборного сооружения Иссык-Атинской ГЭС показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Осенний режим работы водозаборного сооружения на модели деривационной ГЭС на р. Иссык-Ата

Для зимнего режима эксплуатации уравнение баланса напоров /8/ Иссык-Атинской ГЭС изменится незначительно.

За счет установки шандоров по периметру наносозащитного порога прекращается поступление воды в водоприемник через гребень этого порога. Зимняя водоподача осуществляется через донное отверстие зимнего водозабора, устроенное в наносозащитном пороге /2/ и прикрываемого плоским затвором.

Уровень верхнего бьефа $Z_{в.б.}$ при этом остается неизменным по сравнению с другими режимами эксплуатации, т.к. поддерживается авторегулятором уровня.

Вместо потерь напора в водоприемнике $\Delta H_{в.пр.}$ в уравнении (8) будут проявляться потери

при истечении через отверстие зимнего водозабора. Следовательно, рабочий напор турбин Иссык-Атинской ГЭС в зимний режим работы может быть определен по формуле:

$$H_{т.и} = H_{з.у.} - \Delta H_{от.з.в.} - \Delta H_{cm} - \Delta H_{деp} - \Delta H_{сус} - \Delta H_{вод.i}, \quad (9)$$

где местные потери напора для отверстия зимнего водозабора определяют как для большого донного отверстия, т.е.:

$$\Delta H_{от.з.в.} = \xi_{б.отв.} \cdot \frac{V_{сж}^2}{2g} \quad (10)$$

Здесь $\xi_{б.отв.}$ - коэффициент местных сопротивлений для придонного большого отверстия определяется по справочнику /6/;

$V_{сж}$ - скорость воды в сжатом сечении за затвором зимнего водозабора;

Остальные потери напора в уравнении (9) определяются на данной стадии аналогично уравнению (8). В дальнейшем необходимо экспериментальное уточнение коэффициентов местных гидравлических потерь ξ в выражениях (8) и (9), так как на их величину могут повлиять гидрологические и климатические характеристики сезонных режимов эксплуатации ВСДГ.

Уравнения баланса расходов (1), (2) и баланса напоров (7) - (9) позволяют оценить энергетические показатели, т.е. составить баланс мощности деривационной ГЭС Иссык-Ата.

Баланс мощности будем рассматривать без учета таких составляющих, как расход водохранилища $Q_{вод}$, расход льдообразования Q_l , расход водохозяйственной системы $Q_{вхс}$ и потери напора за счет динамического объема, т.е. сработки водохранилища $\Delta H_{дин.}$, т.к. они незначительны для деривационной ГЭС без водохранилища.

Опустим также обычный процесс определения подведенной мощности на различных этапах преобразования водной энергии для деривационной ГЭС, подробно описанный в книге Н.К.Малинина /3/.

Запишем вначале уравнение для вырабатываемой мощности ГЭС для режимов а, в, г, пользуясь исходным уравнением, полученным в /3/ для деривационного способа концентрации напора реки:

$$N_{ГЭС} = N_p^{nop} - \Delta N_{в.пр.} - \Delta N_{cm} - \Delta N_{деp} - \Delta N_{сус} - \Delta N_{вод} - \Delta N_{хсбp} - \Delta N_{н.б.} - \Delta N_a, \quad (11)$$

где

N_p^{nop} - подведенная мощность реки Иссык-Ата, равная (в кВт), $N_p^{nop} = 9,81 \cdot Q_p \cdot H_{з.у.}$, здесь Q_p - расход реки в верхнем бьефе водозаборного сооружения. Для определения этого расхода Q_p используются гидрологические расчеты и данные анализа баланса расходов для ВСДГ /1/;

$\Delta N_{в.пр.}$ - потери мощности в водоприемнике;

$$\Delta N_{cm} = 9,81 \cdot Q_o \cdot \Delta H_{cm};$$

ΔN_{cm} - потери мощности в деривационном канале, $\Delta N_{дер} = 9,81 \cdot Q_{\delta} \cdot H_{дер}$;

$\Delta N_{сус}$ - потери мощности в сороудерживающей решетке, $\Delta N_{сус} = 9,81 \cdot Q_{\delta} \cdot H_{сус}$;

$\Delta N_{вод}$ - потери мощности в 2-х турбинных водоводах, $\Delta N_{вод} = 2 \cdot Q_{ai} \cdot H_{вод.i}$;

$\Delta N_{х.сбр}$ - потери напора при холостом сбросе воды в нижний бьеф ВСДГ, $\Delta N_{х.сбр} = 9,81 \cdot Q_{х.сбр} \cdot H_{х.сбр}$;

$\Delta N_{н.б.}$ - потери мощности за счет повышения уровня нижнего бьефа электростанции.

В рассматриваемом случае, когда отводящий канал Иссык-Атинской ГЭС не впадает назад в реку, а подключается к Иссык-Атинскому подпитывающему каналу, повышения уровня нижнего бьефа с изменения гидрологического режима реки, даже при паводке не происходит. Следовательно, можно принять $\Delta N_{н.б.} = 0$.

ΔN_a - потери мощности в агрегатах ГЭС, которые могут быть оценены через КПД РО турбин $\eta_{тур}$ и синхронных генераторов $\eta_{ген}$, приведенных в их паспортах. В частности, вырабатываемая полезная мощность на зажимах генератора каждого агрегата будет равна:

$$\Delta N_{ai} = \eta_{тур} \cdot \eta_{ген} \cdot N_{ai}^{nod} = (1 - \eta_{агр} \cdot N_{ai}^{nod}) \quad (12)$$

где

N_{ai}^{nod} - подведенная мощность агрегата, равная

$$N_{ai}^{nod} = 0,5(N_p^{nod} - N_{ГЭС});$$

$\eta_{агр}$ - КПД агрегата, равный

$$\eta_{агр} = \eta_{тур} \cdot \eta_{ген}.$$

Потери мощности обоих агрегатов Иссык-Атинской ГЭС равен $\Delta N_a = 2 \cdot \Delta N_{ai}$.

Уравнение (10) в нашем случае удобнее записать не через подведенную мощность реки N_p^{nod} и потери мощности при холостых сбросах $\Delta N_{х.сбр}$, которые трудноопределимы, а через подведенную мощность N_{δ}^{nod} и расход деривации Q_{δ} . Благодаря наличию стабилизатора расхода в голове деривационного канала этот расход (а, следовательно, и подведенная мощность деривации $N_{\delta}^{nod} = 9,81 \cdot Q_{\delta} \cdot H_{\delta}$) легко определяется по формуле (2).

Для режимов а, в, г водозаборного сооружения полезную мощность ГЭС можно выразить как:

$$N_{ГЭС} = N_{з.у.}^{nod} - \Delta N_{в.пр} - \Delta N_{cm} - \Delta N_{дер} - \Delta N_{сус} - \Delta N_{вод} - \Delta N_{агр} \quad (13)$$

где

$N_{з.у.}^{nod}$ - подведенная мощность гидроэнергетической установки, равна:

$$N_{з.у.}^{nod} = 9,81 \cdot Q_{\delta} \cdot H_{\delta} = 9,81 \cdot Q_{\delta} (Z_{в.б.} - Z_{н.б.}), \quad (14)$$

Для зимнего режима б формулу полезной мощности можно записать в виде:

$$N_{ГЭС} = N_{\delta}^{nod} - \Delta N_{от.з.в.} - \Delta N_{cm} - \Delta N_{дер} - \Delta N_{сус} - \Delta N_{вод} - \Delta N_{агр} \quad (15)$$

где $\Delta N_{от.з.в.}$ - потери мощности при истечении через отверстие зимнего водозабора,

$$\Delta N_{от.з.в.} = 9,81 \cdot Q_{\delta} \cdot H_{от.з.в.}$$

В общем случае каждая составляющая баланса мощностей деривационной ГЭС определяется многими параметрами режима ГЭС в целом /3/. Но поскольку составляющие потерь мощности связаны с одним общим параметром – расходом ГЭС (в нашем случае $Q_{ГЭС} \approx Q_a$), а этот расход благодаря установке стабилизатора является величиной постоянной при длительной дискрете времени, анализ режима эксплуатации ГЭС несколько упрощается.

Тем не менее, для оптимизации режима производства электроэнергии на Иссык-Атинской ГЭС, повышение КПД электростанции, необходимы дальнейшие исследования (в т.ч. натурные), во-первых, потерь напора и мощности на гидроузле, во-вторых, составления уточненного баланса энергии с учетом фактической выработки малой ГЭС в процессе эксплуатации.

Литература:

1. Лавров Н.П., Биленко В.А., Логинов Г.И., Торопов М.К. Теоретическое описание пропускной способности элементов водозаборного сооружения для деривационной гидроэлектростанции // Единое образовательное пространство XXI века.- Бишкек: КРСУ, 2003. с.201-211
2. Водозаборное сооружение для деривационной ГЭС. Патент КР №607, МКП E02B 13/00, бюл. №11, Бишкек: 2003. Авторы Лавров Н.П., Логинов Г.И., Торопов М.К.
3. Малинин Н.К. Теоретические основы гидроэнергетики.- М.: Энергоатомиздат, 1985-312с.
4. Беглярова Э.С., Козлов Д.В. и др. Водноэнергетические расчеты и определение основных параметров гидроэлектрических станций. - М.: МГУП, 2006.- 121с.
5. Мельников А.И., Рохман А.И., Гутник В.Г. Усовершенствованный стабилизатор расхода типа «секционный коробчатый щит» // Пути совершенствования средств автоматизации в мелиорации.- Бишкек: Кирг. СХИ, 1995.- с.83-87.
6. Справочник по гидравлическим расчетам. / Под ред. П.Г. Киселева.- М.: Энергия, 1974.- 313с.