

УДК 532.5+627.8

А. П. ГУРЬЕВ, Д. В. КОЗЛОВ, Н. В. ХАНОВ, К. С. ЕРШОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

РАСЧЕТ ВОДОСЛИВОВ С ПЕРЕМЕННОЙ ШИРИНОЙ ПРОЛЕТОВ В ПЛАНЕ

Рассмотрены проблемы гидравлического расчета водосброса 2 Богучанской ГЭС строительного периода. Предложен способ расчета безнапорных водопропускных трактов аналогично расчету напорных водоводов методом сбора коэффициентов сопротивлений с учетом негидростатичности распределения давления по вертикали.

Гидравлический расчет, водосбор, Богучанская ГЭС, водослив, эксплуатация гидроузла, коэффициенты сопротивления входа, пазов затворов, плавного расширения.

There are considered hydraulic estimation problems of spillway № 2 of the Boguchanskaya HEPS during the building period. The method is proposed for estimation of free-flow waterways similarly to the estimation of pressurized waterways by means of collection of coefficients of resistances taking into account unhydrostatics of pressure distribution on vertical.

Hydraulic estimation, catch basin, Boguchanskaya HEPS, spillway, operation of the hydraulic works, coefficients of inlet resistance, gate grooves, smooth widening etc.

При возобновлении в 2005 году строительства гидроузла Богучанской ГЭС возникла необходимость проектирования и строительства дополнительного, помимо донного с десятью глубинными отверстиями, поверхностного водосброса 2. Конструктивно он представляет собой пятипролетную водосливную плотину безвакуумного профиля, гребень оголовка которого располагается на отметке 199,0 м и имеет прямолинейную вставку длиной 1,69 м. Основные конструктивные особенности водосброса 2 заключаются в следующем:

водосливные пролеты водосброса 2 с шириной $b = 10$ м образованы чередующимися быками, толщина которых 6,0 и 4,0 м. В плане разделительные бычки, начиная с их середины, выполнены симметрично сужающимся вдоль по течению. Торцевая грань быков, имеющих толщину 6,0 м, сужается до 4,0 м, а имеющих 4,0 м – до 3,0 м. Такая плановая геометрия быков предопределяет несимметричную работу пролетов, начиная со створа входного сечения;

к торцевым низовым сечениям быков примыкают разделительные стенки толщиной 3,0 и 2,0 м, явля-

ющиеся продолжением быков, имеющих толщину 6,0 и 4,0 м соответственно. В результате в створе торцевых граней быков образуются уступы высотой 0,5 м;

левая боковая стенка водосброса 2 от конца быка направлена внутрь первого пролета и, несмотря на наличие расширения первого пролета за счет изменения толщины быка и уступа за ним, уменьшает ширину отверстия на 5 %. Правая боковая стенка, направленная от водосброса 2 наружу, увеличивает ширину пятого пролета на 25 %. В средних пролетах ширина также увеличивается на 25 % за счет уменьшения толщины быков и образования уступов за ними.

Пропуск строительных расходов было решено осуществлять через недостроенный водосброс 2 с горизонтальным порогом длиной 33,5 м на отметке 179,0 м. В целом пролеты водосброса имеют плавное и внезапное расширения в плане.

План и поперечный разрез водосброса 2 представлен на рис. 1, 2.

С учетом диапазона действующих напоров (6...9 м) и длины порога порядка 33,5 м относительная длина порога $s/H = 5,58...3,72$, что по

классификации [1] соответствует работе водослива по схеме водослива с широким порогом.

Расход через водослив при этом определяется по формуле

$$Q = \varphi b h \sqrt{2g(H_0 - h)}, \quad (1)$$

где H_0 – напор с учетом скорости подхода; $\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \zeta}}$ – коэффициент скорости; h – глубина на гребне водослива в сечении с плавно изменяющимся движением.

После преобразования, с учетом того, что в рассматриваемой конструк-

ции $H = H_0$, получим:

$$Q = mb\sqrt{2gH^{3/2}}, \quad (2)$$

где $m = \varphi k \sqrt{1 - k}$ – коэффициент расхода; $k = h/H$ – относительная глубина на пороге.

На данном этапе расчетов возникает вопрос определения коэффициента расхода водослива с учетом его особенностей, указанных выше.

Один расчет был проведен по формуле А. Р. Березинского [2]:

$$K = 1 - \frac{a}{\sqrt[3]{0,2 + p/H}} \cdot \sqrt[4]{l/B}(1 - l/B) - \text{коэф-}$$

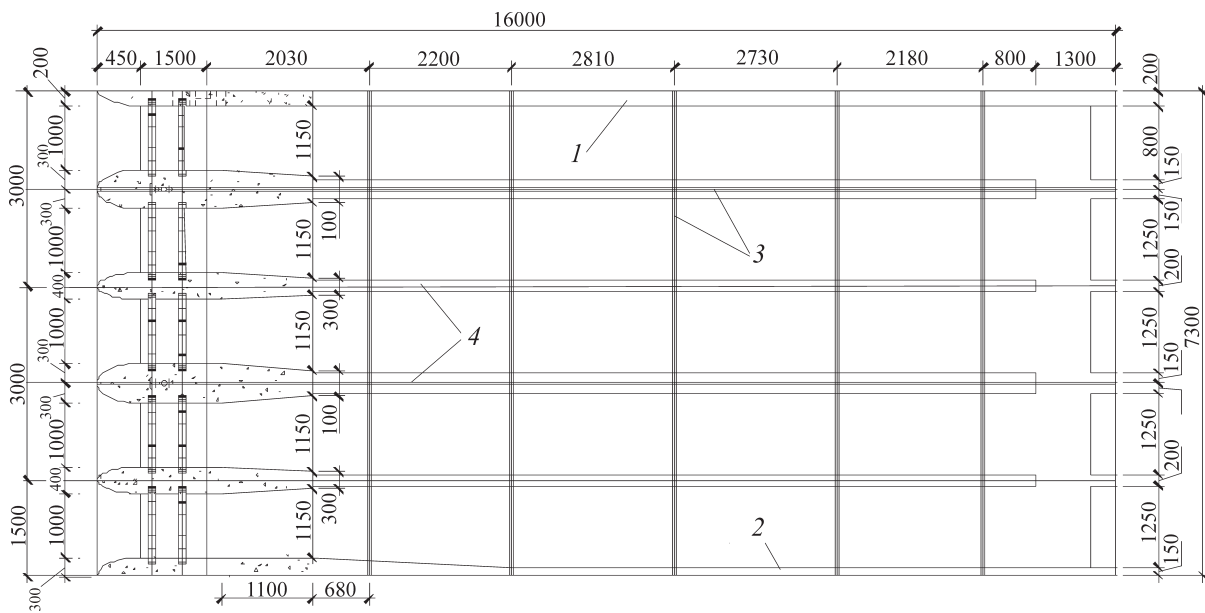


Рис. 1. План проектного варианта водосброса 2: 1 – левобережная сопрягающая стенка; 2 – правобережная сопрягающая стенка; 3 – деформационные швы; 4 – разделительные стенки между пролетами

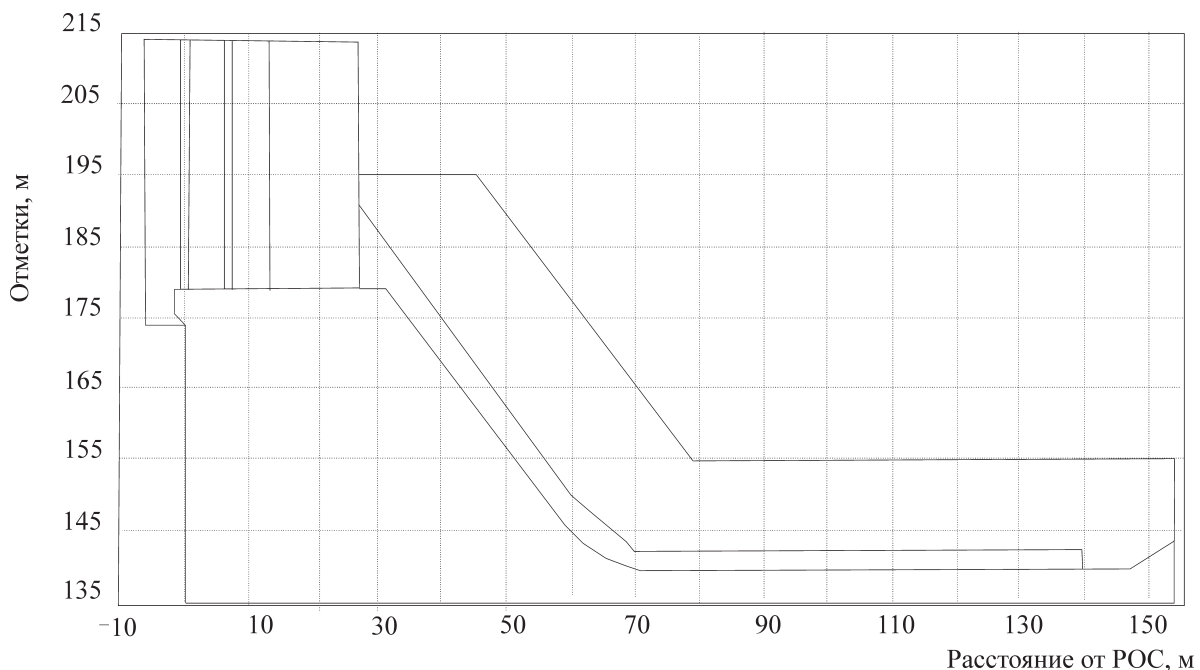


Рис. 2. Проектный профиль водосброса 2 на период временной эксплуатации гидроузла

фициент бокового сжатия; (3)

$$m_{пл} = 0,32 + 0,01 \frac{3 - p/H}{0,46 + 0,75 p/H} - \text{коэф-}$$

фициент расхода без бокового сжатия; (4)

$$\varphi = 1 - \frac{0,385 - m}{1/m - 1,8} - \text{коэффициент скорости; (5)}$$

$$k = \frac{2}{3} - \frac{0,385 - m}{0,95 - 2m} - \text{относительная глубина}$$

на пороге. (6)

Были получены следующие результаты:

для крайних пролетов –
 $m = K \cdot m_{пл} = 0,308; K = 0,963;$
 $\varphi = 0,946; k = h/H = 0,436;$

для средних пролетов –
 $m = K \cdot m_{пл} = 0,313; K = 0,979;$
 $\varphi = 0,946; k = h/H = 0,444.$

Другой расчет проведен по формулам из «Рекомендаций по гидравлическому расчету водосливов» [1]:

$$\varepsilon = 1 - \frac{K_{b/B_B} \cdot K_{L/H}}{1 + c_B/H} \cdot (K_{r/H} c_b/b + K_{r/b}), \quad (7)$$

где B'_B – расчетная ширина верхнего бьефа; K_{b/B_B} – коэффициент, учитывающий плановое сжатие потока; $K_{r/H}$ и $K_{r/b}$ – коэффициенты, учитывающие скругление вертикальных ребер устоев или бычков соответственно; $K_{L/H}$ – коэффициент, учитывающий выдвигание в верхний бьеф верховой грани устоев или бычков.

Были получены следующие значения коэффициента расхода с учетом бокового сжатия:

для крайних пролетов –
 $\varepsilon = 0,954; m = \varepsilon m_{пл} = 0,954 \cdot 0,326 =$
 $= 0,311$ при $H = 8$ м;

для средних пролетов –
 $\varepsilon = 0,981; m = \varepsilon m_{пл} = 0,981 \cdot 0,326 =$
 $= 0,319$ при $H = 8$ м.

Коэффициент расхода может быть определен также по (2): путем суммирования соответствующих коэффициентов сопротивления на участке от верхнего бьефа до рассматриваемого сечения на пороге водослива рассчитывают коэффициент скорости φ (аналогично расчету напорных водоводов методом сбора коэффициентов сопротивлений).

Для суммарного коэффициента сопротивления было получено следующее выражение:

$$\sum \zeta = \zeta_{вх} \left(\frac{\omega_{вых}}{\omega_{вх}} \right)^2 + \zeta_{паз} \left(\frac{\omega_{вых}}{\omega_{паз}} \right)^2 + \zeta_{п.р.} \left(\frac{\omega_{вых}}{\omega_{п.р.}} \right)^2 + \zeta_{в.р.} \left(\frac{\omega_{вых}}{\omega_{в.р.}} \right)^2 + \zeta_{пор} \left(\frac{\omega_{вых}}{\omega_{пор}} \right)^2, \quad (8)$$

где $\zeta_{вх}$ – коэффициент сопротивления входа; $\zeta_{паз}$ – коэффициент сопротивления пазов затворов; $\zeta_{п.р.}$ – коэффициент сопротивления плавного расширения; $\zeta_{в.р.}$ – коэффициент сопротивления внезапного расширения; $\zeta_{пор}$ – коэффициент сопротивления, учитывающий потери по длине водосброса.

При использовании данного метода коэффициент Кориолиса принят равным $\alpha = 1,02$.

На пороге водослива с широким порогом формируется кривая свободной поверхности с переменной кривизной, которая приводит к появлению негидростатичности распределения давления по вертикали. Негидростатичность распределения давления по вертикали может быть учтена с помощью коэффициента $\beta = \frac{p_{ср}}{h} + 0,5$, где $p_{ср}$ – величина среднего значения гидродинамического давления в рассматриваемом сечении.

С учетом негидростатичности распределения давления по вертикали имеем:

для $H = 4$ м $\sum \zeta = 0,109,$
 $\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \zeta}} = 0,941, m = \varphi k \sqrt{1 - \beta k} = 0,345;$

для $H = 8$ м $\sum \zeta = 0,086,$
 $\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \zeta}} = 0,950, m = \varphi k \sqrt{1 - \beta k} = 0,352;$

для $H = 12$ м $\sum \zeta = 0,077,$
 $\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \zeta}} = 0,963, m = \varphi k \sqrt{1 - \beta k} = 0,360;$

для $H = 16$ м $\sum \zeta = 0,073,$
 $\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \zeta}} = 0,965, m = \varphi k \sqrt{1 - \beta k} = 0,365.$

Проведенные модельные исследования водосброса дали следующие значения коэффициентов расхода: для напора $H = 4$ м $m = 0,357$, для $H = 8$ м $m = 0,376$. Как видно, полученные с помощью метода интегрирования потерь значения m неплохо совпадают с результатами модельных исследований водосброса. Однако данный метод требует более подробного изучения.

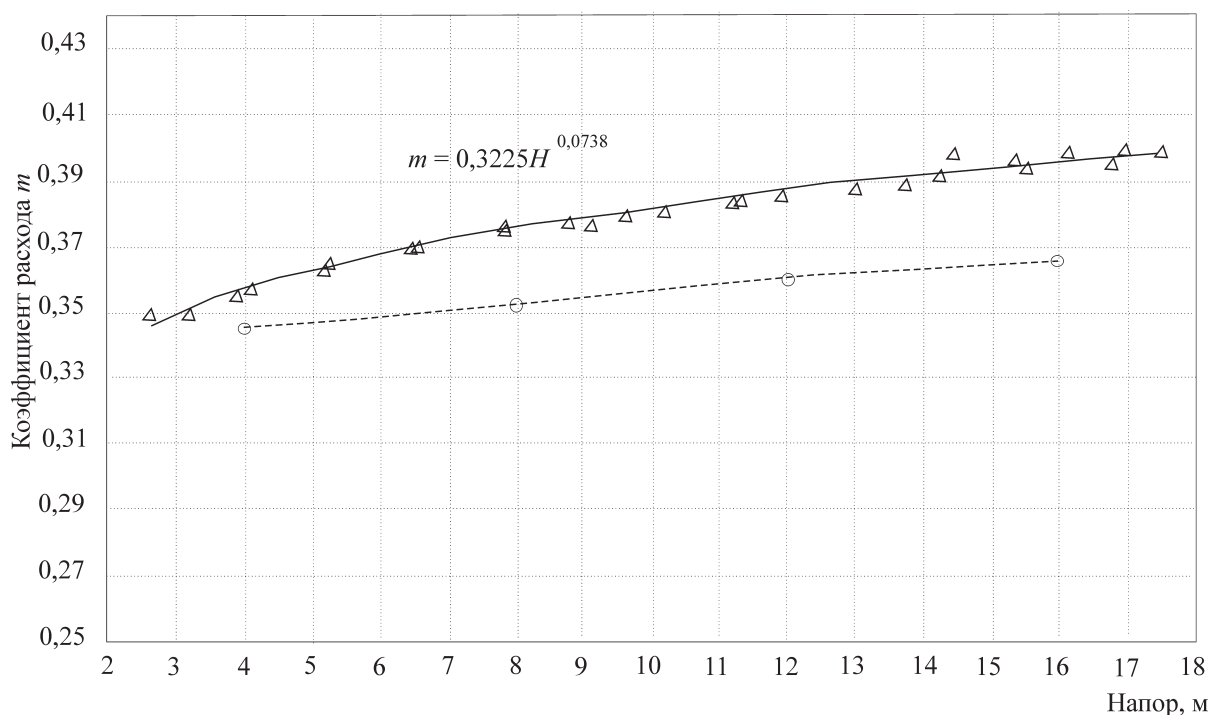


Рис. 3. Зависимость коэффициента расхода m водосбора 2 Богучанской ГЭС с отметкой порога 179,0 м от напора: Δ экспериментальные значения; \circ по предложенной методике; — аппроксимирующая кривая (экспериментальные значения)

Результаты расчета коэффициента расхода m предложенным методом сбора коэффициентов сопротивлений. Результаты модельных испытаний представлены на рис. 3.

Выводы

Имеющиеся рекомендации по гидравлическим расчетам водосливов с широким порогом не охватывают всего диапазона возможных конструкций, в связи с чем при конкретном проектировании возникают значительные трудности в гидравлических расчетах.

Предложен способ расчета безнапорных водопропускных трактов аналогично расчету напорных водоводов методом сбора коэффициентов сопротивлений с учетом негидростатичности распределения давления по вертикали.

Расчетные значения коэффициентов расхода по предложенной методике оказались близкими к экспериментальным значениям.

Для развития этого способа расчета необходимо экспериментальное обоснование кинематических характе-

ристиков потока с негидростатичным распределением давления.

1. Рекомендации по гидравлическому расчету водосливов. Прямые водосливы. — Л.: Энергия, Ленинградское отделение. — 1974. — 58 с.

2. Березинский А. Р. Пропускная способность водослива с широким порогом. — М.: ВОДГЕО. — 1950. — 186 с.

3. Агроскин И. И., Дмитриев Г. Т., Пикалов Ф. И. Гидравлика / Под общей ред. И. И. Агроскина. — М.: Госэнергоиздат, 1964. — 352 с.

Материал поступил в редакцию 13.04.10.
Гурьев Алим Петрович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Комплексное использование водных ресурсов»

Козлов Дмитрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор, ректор

Ханов Нартмир Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Гидравлика»

Ершов Константин Сергеевич, аспирант

Тел. (495)976-00-19

Факс: (495)976-10-46

E-mail: mailbox@msuee.ru