

УДК 502/504:627.83

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

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

ВЛИЯНИЕ ПЛАНОВОГО РАСШИРЕНИЯ ВОДОСЛИВА С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВСТАВКОЙ НА ЕГО ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ

Рассмотрены вопросы влияния планового расширения на пропускную способность водосливов с горизонтальной вставкой. Приведены результаты модельных исследований по данному вопросу.

Пропускная способность, коэффициент расхода, водослив с горизонтальной вставкой, водослив с широким порогом.

There are considered questions of the influence of the planned expansion of spillway with the horizontal insertion on its carrying capacity. The results of model tests on this question are given.

Carrying capacity, flow coefficient, spillway with a horizontal insertion, broad-crested weir.

Иногда в практике гидротехнического строительства встречаются конструкции водосливов, определение типа которых вызывает затруднения. К таким водосливам можно отнести, например, водослив с горизонтальной вставкой.

Рассмотрим конструкцию водосброса № 2 строительного периода Богучанского гидроузла (рис. 1). Как известно, водосливы классифицируются по величине отношения длины порога к действующему напору δ/H . По отношению δ/H данный водослив может быть отнесен к водосливам с широким порогом.

Напомним, что водосливом с широким порогом считается водослив с горизонтальной поверхностью порога и отношением длины порога к напору, находящимся в пределах $2 < \delta/H < 10$. В литературе встречаются оценки верхнего значения δ/H от 8 до 12. При этом предполагается, что стенки водослива параллельны. Однако быки водосброса № 2 строительного периода Богучанского гидроузла имеют быки переменной толщины, что приводит к плановому расширению пролетов водослива. В этом случае водослив по отношению δ/H соответствует водосливу с широким порогом, но имеет переменную

ширину порога в плане. К подобным конструкциям можно отнести, например, водосброс Нижнекамской ГЭС, водосброс гидроузла Табка и т.д.

Изучение истечения через водослив с широким порогом началось с

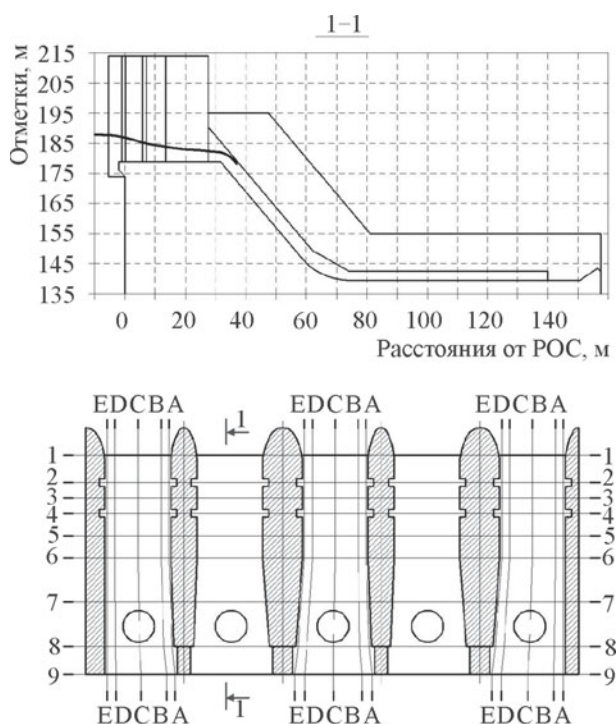


Рис. 1. Продольный профиль и план водосброса № 2 строительного периода Богучанского гидроузла

1828 года, когда Беланже [2] получил решение задачи для водослива с широким порогом, исходя из предложенного им постулата о максимуме расхода: на пороге водослива устанавливается такая глубина, при которой (при прочих равных условиях) через водослив проходит максимальный расход. При этом максимум расхода будет при глубине на пороге $h = 2/3H_0$ и коэффициенте расхода $m = 0,385$.

В 1912 году Бахметьев, исходя из постулата о минимуме энергии, предположил, что на водосливе с широким порогом должна устанавливаться критическая глубина $h = h_{кр}$ в конце водослива, поскольку дальше нет условия для расходования энергии. При этом удельная энергия сечения достигает минимального значения:

$$h = \frac{2\varphi^2}{1 + 2\varphi^2} H_0; \quad m = \left(\frac{\varphi^2}{1 + 2\varphi^2} \right)^{3/2}.$$

Если принять $\varphi = 1$ (идеальный случай отсутствия потерь) и $\alpha = 1$, то получим (аналогично Беланже):

$$h = \frac{2}{3} H_0; \quad m = 0,385.$$

Однако при проведении экспериментальных исследований таких результатов получить не удалось, поскольку в конце неподтопленного водослива глубина может снижаться до $0,7...0,8h_{кр}$. Это дало повод поставить под сомнение справедливость старых теорий.

Благодаря исследованиям водослива с широким порогом, выполненным еще советскими учеными, стало ясно, что на истечение через водослив влияет кривизна свободной поверхности потока. Это объясняется тем, что при искривлении свободной поверхности возникают силы инерции, которые оказывают влияние на распределение давлений по глубине потока и оно становится негидростатическим.

В гидравлической лаборатории кафедры гидротехнических сооружений ФГОУ ВПО МГУП проводились исследования истечения через водосброс

№ 2 строительного периода Богучанского гидроузла. Водосброс пятипролетный, с переменной толщиной бычков, выполнен из оргстекла в масштабе 1:60.

Для исследования распределения давлений и скоростей в потоке была изготовлена трубка Пито, которая закреплялась на подвижной тележке над порогом водослива с помощью шпитценмасштаба. Измерения проводились по пяти продольным и девяти поперечным створам в каждом пролете. Схема расположения измерительных створов представлена на плане водосброса (см. рис. 1).

Как известно, удельная энергия сечения – это удельная энергия в данном живом сечении, определенная относительно горизонтальной плоскости, проходящей через его низшую точку. Выражение для удельной энергии сечения имеет следующий вид:

$$H_0 = z + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{u_i^2}{2g} + h_{wi}, \quad (1)$$

где z – расстояние от плоскости сравнения; p_i/γ – давление в точке; u_i – скорость в точке; h_{wi} – потери по линии тока.

Удельную энергию сечения при гидростатическом распределении давлений можно представить в виде диаграммы (рис. 2).

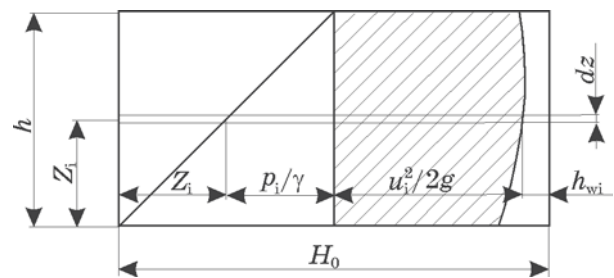


Рис. 2. Диаграмма удельной энергии сечения

Заштрихованная площадь в некотором масштабе представляет удельный расход. Действительно,

$$dq = u dz = \sqrt{2g(H_0 - p/\gamma - z - h_w)} dz.$$

Вместо заштрихованной площади эпюры скоростного напора из (1) получим эпюру скоростей:

$$u = \sqrt{2g(H_0 - p/\gamma - z - h_w)} = f(z) = k \frac{u_i^2}{2g}.$$

Площадь эпюры $\int_0^h u dz$ – это удельный расход в данном створе.

Для примера рассмотрим работу пролета № 3 с напором 16 см. Этому напору соответствует относительная длина порога $\delta/H = 3,5$. Продольный профиль потока по оси пролета представлен на рис. 3.

Используем диаграмму для анализа результатов изучения кинематики этого потока (см. рис. 2). Видно, что

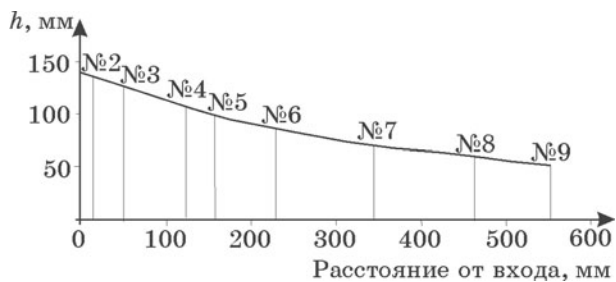


Рис. 3. Продольный профиль потока по оси пролета № 3 ($H = 16$ см)

плановое расширение порога водослива повлияло на очертания свободной поверхности потока так, что не образовалось сечения со сжатой глубиной, характерной для водослива с широким порогом.

Диаграммы удельных энергий сечений для поперечных створов №№ 3, 5, 7, 9, расположенных на расстоянии 50, 158, 345 и 553 мм от входа на порог соответственно, представлены на рис. 4.

Как видно из диаграмм, распределение давлений по глубине отличается от гидростатического. Следовательно, кривизна свободной поверхности потока оказывает влияние на распределение давлений по глубине. Для представленного режима было получено среднее значение коэффициента расхода $m = 0,38$.

После проведения исследований для всего диапазона напоров, отвечающих истечению через водослив с широким порогом, был получен диапазон значений коэффициента расхода $m = 0,36...0,40$.

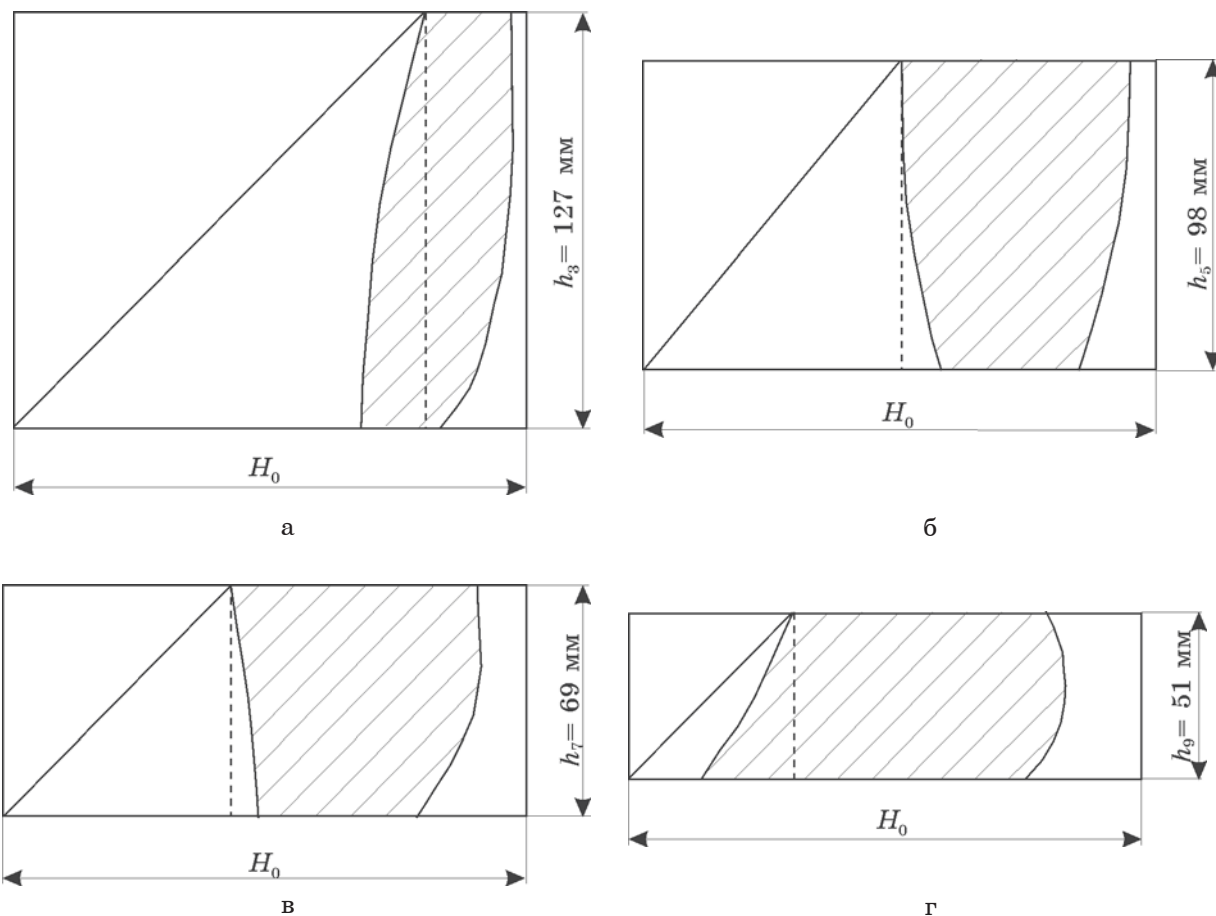


Рис. 4. Диаграммы удельных энергий сечений для пролета № 3: а – створ № 3; б – створ № 5; в – створ № 7; г – створ № 9

В качестве примера можно привести значения m для некоторых водосливов, имеющих подобную конструкцию:

водосброс гидроузла Табка – $m = 0,392$;

водосброс Нижнекамской ГЭС – $m = 0,395...0,413$.

Выводы

Плановое расширение водосливного пролета приводит к изменению очертания свободной поверхности потока по сравнению с водосливами с параллельными стенками.

Коэффициент расхода водосливов, имеющих плановое расширение, превышает значения коэффициентов расхода, применяемых для расчета неподтопленных водосливов с параллельными стенками ($m = 0,30...0,38$), что приводит к увеличению пропускной способности. Следовательно, необходимо более подробно изучить процессы, происходящие при истечении через подобные водосливы, и разработать методику их расчета.

1. Рекомендации по гидравлическому расчету водосливов. Прямые водосливы. – Ленинград: Энергия. – 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 редакцией проф. И. И. Агроскина. – М.: Госэнергоиздат, 1964. – 352 с.

4. Смыслов В. В. Теория водослива с широким порогом. – М.: Издательство Академии наук УССР, 1956 – 184 с.

Материал поступил в редакцию 13.04.10.

Гурьев Алим Петрович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Комплексное использование водных ресурсов»

Тел. 8 (499) 976-21-56

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

Тел. 8 (499) 976-00-19

E-mail: nvkhanov@yahoo.com

Ершов Константин Сергеевич, аспирант

Тел. 8 (499) 976-00-19

E-mail: stien@rambler.ru