

Выводы

Регулирование стока водохранилищами и его накопление прудами на водосборе ведет к изменению водности и длительности половодий на всех реках гидрологической сети речного бассейна. Это влечет изменение динамики роста температур в реках бассейна: вода в притоках начинает прогреваться значительно быстрее, чем в основной реке. Нарушения динамики роста температур вызывают частичное смещение интенсивности нерестовых миграций ценных видов рыб в основных реках.

В этот период на реках устанавливаются перегораживающие гидротехнические сооружения, что делает естественное воспроизводство без работы рыбоходных сооружений малоэффективным.

Необходима разработка классифика-

ции речных бассейнов по степени рыбохозяйственной значимости и реализация в этих бассейнах мероприятий по комплексной рыбохозяйственной мелиорации.

1. Дойников К. Г. Материалы по биологии и оценке запасов осетровых рыб Азовского моря / Работы Доно-Кубанской научной рыбохозяйственной станции. – 1936. – Вып. 4. – С. 3–213.

2. Бронфман А. М., Дубинина В. Г., Макарова Г. Д. Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 288 с.

Материал поступил в редакцию 19.05.10.

Шкура Владимир Николаевич, кандидат технических наук, профессор кафедры «Мелиорация и охрана вод»

E-mail: Ekros3@rambler.ru

УДК 502/504 : 627.83

К. С. ЕРШОВ

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

ФОРМИРОВАНИЕ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОТОКА НА ВОДОСЛИВЕ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО ОЧЕРТАНИЯ С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВСТАВКОЙ И НЕПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ БОКОВЫМИ СТЕНКАМИ

Рассмотрены проблемы теоретического расчета свободной поверхности потока на водосливах с широким порогом. Приведены некоторые расчетные зависимости и рассмотрены вопросы их применения к расчету водосливов с непараллельными стенками. Представлены некоторые результаты исследований свободной поверхности потока на водосбросе 2 Богучанского гидроузла.

Водосброс, водослив с широким порогом, свободная поверхность потока.

There are considered problems of theoretical calculation of the flow free surface at broad-crested weirs. There are given certain estimated dependencies and considered questions of their application to the calculation of weirs with nonparallel walls. There are presented some research results of a flow free surface at spillway 2 of the Boguchanskaya hydro-works.

Spillway, broad-crested weir, flow free surface.

В практике проектирования гидротехнических сооружений встречаются конструкции водосливов, определение типа которых вызывает затруднения, например водосливы практического профиля криволинейного очертания с горизонтальной вставкой на гребне.

К таким конструкциям относится водосброс 2 Богучанского гидроузла на период временной эксплуатации (рис. 1). По отношению h/H данный водослив может быть отнесен к водосливам с широким порогом [1] (водосливом с широким порогом считается водослив с горизонтальной поверхностью порога и отношением длины порога к напору в пределах $2 < l/H < 10$ [2]).

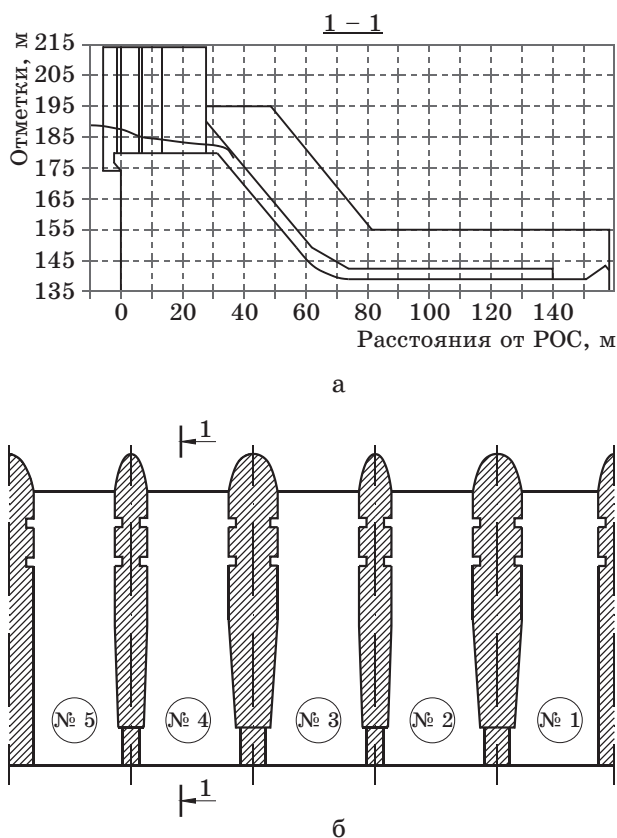


Рис. 1. Продольный профиль (а) и план (б) водосброса 2 временной эксплуатации Богучанского гидроузла

В литературе встречаются оценки верхнего значения l/H от 8 до 12 [2]. При этом предполагается, что стенки водослива параллельны. Однако водосброс 2 временной эксплуатации Богучанского гидроузла имеет быки переменной толщины, что приводит к плановому расширению пролетов водослива с углом расходимости от 2 до 6° в зависимости от пролета. В этом случае водослив по отношению l/H

соответствует водосливу с широким порогом, но имеет переменную ширину порога в плане.

С учетом диапазона действующих напоров 6...8 м и длины порога около 34 м водосброс работает по схеме водослива с широким порогом, для которого $l/H = 4,25...5,7$.

Вопрос о теоретическом построении кривой свободной поверхности на водосливе с широким порогом возник достаточно давно. Выяснилось, например, что кривизна струек потока влияет на пропускную способность водослива [3].

Попытки дать расчетные зависимости для построения кривой свободной поверхности предпринимались различными авторами, однако наиболее обращающими на себя внимание являются работы В. В. Смыслова, Ф. Серра и А. П. Гурьева [3-5].

В. В. Смыслов предложил способ построения кривой свободной поверхности на водосливе с широким порогом [3]. Исходным уравнением является уравнение энергии потока с учетом кривизны струек:

$$H_0 = h + p_x + \frac{v_{cp}^2}{g} h + \frac{v^2}{2g} h_w, \quad (1)$$

где H_0 – полная энергия потока; h – глубина потока в рассматриваемом сечении; p_x – высота порога в рассматриваемом сечении; $\frac{v_{cp}^2}{g}$ – средняя кривизна потока – величина, обратная среднему радиусу кривизны r_{cp} ; v – средняя скорость потока; h_w – потери энергии от верхнего бьефа до рассматриваемого сечения.

В конечном результате автор получает следующее уравнение (считая постоянным по течению):

$$\frac{dh}{dx} = \operatorname{tg} \alpha_n \sqrt{\frac{\chi}{\Pi_T} \sqrt{\frac{\bar{h}^3}{3} \frac{\bar{h}^2}{2} \Pi_T^2 \ln \bar{h} M}}, \quad (2)$$

где α_n – тангенс угла наклона свободной поверхности к горизонту; χ – кривизна потока; \bar{h} – относительная глубина потока, $\bar{h} = h/H_0$; Π_T – параметр расхода сечения, характеризующий пропускную способность данного живого сечения потока.

Для построения кривой свободной поверхности на пороге водослива можно попытаться интегрировать уравнение (2), но полученный интеграл не берется в элементарных функциях, поэтому решать его необходимо численным способом. В качестве примера автор приводит сопоставление глубин потока, полученных по вышеприведенным зависимостям и опытным путем, показывает их совпадение, но, к сожалению, данный метод весьма

громоздок.

В одной из своих работ Ф. Серр рассмотрел движение жидкости в прямоугольном русле с малым уклоном, в котором можно считать $\cos i = 1$, $\sin i = 0$ [4].

Для вывода основных зависимостей автор использует уравнение Эйлера вдоль оси z с учетом сил инерции:

$$\frac{1}{\rho} \frac{p}{z} = g - u_x \frac{u_z}{x} - u_x \frac{u_z}{z}. \quad (3)$$

Автор принимает линейное распределение вертикальной составляющей скорости и равенство горизонтальной составляющей средней скорости потока. В конечном итоге Серр получает уравнение для количественного анализа:

$$\frac{q^2}{6g} \frac{dh}{dx} = \Delta h^2 - \frac{h^3}{2} - \frac{q^2}{2g} Mh. \quad (4)$$

Серр довольно детально аналитически исследовал различные случаи неравномерного движения (переход через критическую глубину на водосливе с широким порогом, кривые спада, возникновение волн, волнистый прыжок и т.п.), однако практически применить выводы автора весьма затруднительно.

Следует отметить, что работы Смывлова и Серра посвящены водосливам с широким порогом с параллельными стенками.

Особого внимания заслуживает работа А. П. Гурьева [5]. В этой работе автор сделал попытку дать способ построения кривой свободной поверхности потока на водосливах переменной ширины. В основу расчета положен метод численного анализа и материалы наблюдений за характером движения потока на моделях.

За основу автор принимает уравнение кривизны плоской кривой:

$$\frac{h''}{1 + h'^2} = \frac{3}{2} h'^2, \quad (5)$$

где h' – первая производная функции $h = f(x)$ (тангенс угла наклона к оси абсцисс касательной к кривой свободной поверхности, $h' = \operatorname{tg} \alpha$; h'' – вторая производная этой функции, выражаемая так:

$$h'' = \frac{2x}{ax^2 + bx + c} - 2d - k. \quad (6)$$

После двойного интегрирования уравнения (6) А. П. Гурьевым было получено выражение для построения свободной поверхности потока, которое в безразмерных величинах может быть представлено в следующем виде:

$$\bar{h} = \frac{x}{a} - \bar{b} \ln a x^2 - \bar{b} x - \bar{c} \sqrt{\frac{2}{b^2} - \frac{2c}{a} - \frac{bx}{a} - \operatorname{artg} \frac{2x}{\sqrt{a}}} + \frac{2x}{a} - \frac{x}{3} - k^3 d - C_1 x - C_2. \quad (7)$$

Для нахождения коэффициентов a, b, c, d, k, C_1, C_2 автор предлагает систему из 6 уравнений, которая из-за громоздкости здесь не приводится.

А. П. Гурьевым, для более удобного использования уравнения (7), были построены номограммы для нахождения коэффициентов этого уравнения. Автор использовал предложенный им способ для построения кривых свободных поверхностей на водосливах переменной ширины совмещенных ГЭС и получил хорошее совпадение с результатами эксперимента.

В лаборатории гидротехнических сооружений ФГОУ ВПО МГУП автором статьи были проведены гидравлические исследования водосброса 2 Богучанского гидроузла временной эксплуатации, описание конструкции которого было представлено выше. Для примера на рис. 2 приведены профили свободной поверхности потока по оси пролета 3.

Анализируя представленные свободные поверхности потока, можно отметить следующее. После входа на водослив свободная поверхность потока прямолинейна и имеет небольшой положительный уклон, который растет с увеличением напора от $i = 0,07$ при $H_0 = 1,8$ м до $i = 0,2$ при $H_0 = 12$ м. Затем кривизна потока начинает увеличиваться до достижения максимального значения, после чего кривизна начинает уменьшаться, становясь равной нулю в точке перегиба. За точкой перегиба кривизна меняет знак, следуя далее осесимметрично относительно точки перегиба. Данный перегиб происходит в пределах параллельных стенок водослива. Далее поведение потока меняется в зависимости от величины H_0 . При значении $H_0 < 7,0$ свободная поверхность потока имеет положительный уклон, т.е. образуется кривая спада. При $H_0 > 7,0$ поверхность потока на пороге практически горизонтальная, за исключением небольшой кривизны, создаваемой образующимися косыми волнами. При приближении к выходу с порога поток проходит через еще одну точку перегиба, за которой образуется кривая спада с уклоном от $i = 0,13$ при $H_0 = 1,8$ м до $i = 0,47$ при $H_0 = 12$ м.

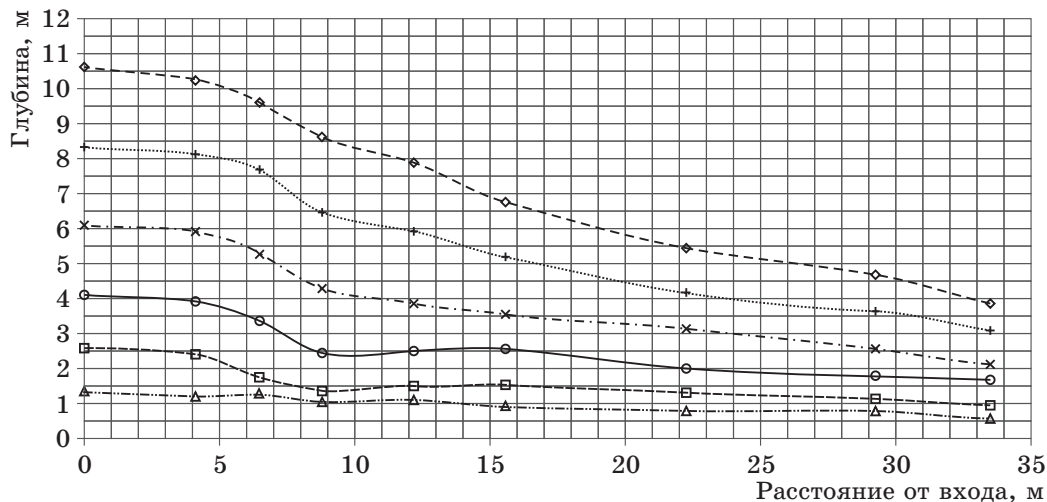


Рис. 2. Профили свободной поверхности потока по оси пролета 3: \triangle — $H = 1,8$ м; \square — $H = 3,0$ м; \circ — $H = 4,8$ м; \times — $H = 7,2$ м; $+$ — $H = 9,6$ м; \diamond — $H = 12,0$ м

Следует отметить, что при напорах 30 и 200 мм отношение H/H_0 выходит за пределы истечения через водослив с широким порогом и относится к истечению через горизонтальный канал и водослив практического профиля соответственно. Обращает на себя внимание тот факт, что положение первой точки перегиба относительно входа на порог не зависит от напора. Это делает невозможным использование для расчета кривой свободной поверхности способ А.П. Гурьева, поскольку в проведенных им опытах положение первой точки перегиба потока зависит от напора и используется в дальнейших расчетах.

Способы В. В. Смыслова и Ф. Серра также нельзя использовать, поскольку они получены для водослива с параллельными стенками.

Выводы

Рассмотренные кривые свободной поверхности после входа потока на порог имеют прямолинейный участок.

Свободная поверхность потока имеет две точки перегиба.

Положение первой точки перегиба свободной поверхности потока относительно входа на порог не зависит от действующего напора.

В настоящее время не существует способов теоретического расчета кривой свободной поверхности потока на водосливах с конструкцией, подобной той, которая представлена на рис. 1.

Кривые свободной поверхности потока на представленном водосливе требуют дальнейшего анализа и разработки метода их теоретического построения.

1. СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения. — М.: Гос. предприятие — центр проектной продукции массового применения, 2010. — 23 с.

2. Штеренлихт Д. В. Гидравлика: учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 640 с.

3. Смыслов В. В. Теория водослива с широким порогом. — Киев: Изд-во АН УССР, 1956. — 185 с.

4. Serre F. Contribution a l'etude des ecoulements permanentes et variables dans les canaux // La Houille Blanche. — № 3, 6. — 1953. — Р. 374-388.

Материал поступил в редакцию 18.04. 11.

Ершов Константин Сергеевич, аспирант

Тел. 8 (495) 976-00-19

E-mail: mailbox@msuee.ru