

УДК 631.6

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОСЛИВОВ С ПОРОГОМ ТРЕУГОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДОВ ВОДЫ В ОТКРЫТЫХ РУСЛАХ И КАНАЛАХ

**Е.Г. Филиппов**

ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, Москва, Россия;

**А. Бракени**

Университет им. Абдеррахмана Мира, Алжир

Водосливы с порогами треугольного профиля отличаются постоянством коэффициента расхода в определенных диапазонах изменения напоров (расходов) и в связи с этим широко применяются в качестве гидрометрических сооружений. В настоящее время для практического использования рекомендуется несимметричный треугольный порог с откосами в верхнем и нижнем бьефах соответственно 1:2 и 1:5. Для этого порога имеется отечественная нормативная документация [1;2] и международные стандарты ИСО 4360, утвержденные в первой редакции в 1979 г. [3] и в пересмотренной второй редакции – в 1984 г. [4]. Первая редакция ИСО 4360 была разработана на основе результатов экспериментальных исследований, проведенных Э. Крампом [5]. В дальнейшем в Великобритании были проведены более тщательные исследования [6;7] двух профилей треугольных порогов, имеющих откосы в верхнем и нижнем бьефах соответственно 1:2 – 1:5 (водослив Крампа) и симметричных – 1:2 – 1:2. Полученные результаты по первому водосливу [6] послужили основой для разработки второй редакции международного стандарта ИСО 4360 [4] и отечественного нормативного документа [1].

Исследования симметричного профиля порога водослива [7] оказались недостаточными для разработки практических рекомендаций по его внедрению. Учитывая, что указанный симметричный профиль водослива требует меньших затрат при строительстве по сравнению с несимметричным, в лаборатории кафедры гидравлики Московского государственного университета природообустройства под руководством проф., д.т.н. Штеренлихта Д.В. в 1995-96 гг. были проведены экспериментальные исследования водосливов с тремя профилями порогов.

Исследования проводились в прямоугольном гидравлическом лотке шириной  $b_d = 0,245$  м и высотой – 0,3 м. Профили порогов экспериментальных водосливов имели откосы в верхнем и нижнем бьефах соответственно: 1:2 и 1:5; 1:2 и 1:3; 1:2 и 1:2. Высота всех трех профилей порогов была одинаковой и равной  $P = 0,15$  м. Диапазоны расходов были приняты от 0,010 до 0,024 м<sup>3</sup>/с и измеряемых напоров от 0,053 до 0,1225 м. Уровни воды измерялись в 21 створе, которые располагались на следующих расстояниях  $l_a$  от верхней кромки водосли-

вов: 0,95 (6,33  $P$ ); 0,85 (5,67  $P$ ); 0,75 (5,0  $P$ ); 0,65 (4,33  $P$ ); 0,55 (3,67  $P$ ); 0,45 (3,0  $P$ ); 0,25 (1,67  $P$ ); 0,15 (1,0  $P$ ); и 0,00.

Проведенные исследования показали, что наиболее устойчивые постоянные значения коэффициентов расхода имеют два профиля треугольных порогов с откосами в верхнем и нижнем бьефах соответственно: 1:2 и 1:5, а так же 1:2 и 1:2. Поскольку для первого профиля порога имеются разработанные рекомендации по использованию, то в данной статье рассмотрим технические рекомендации для практического использования водосливов с симметричным профилем порога и приведем обоснование достоверности полученных результатов для водосливов в натурном канале.

В соответствии с нормативными документами [1;2;3;4] уравнения расходов для водосливов с треугольными профилями порогов имеют вид;

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{1.5} \sqrt{g} \cdot C_d \cdot b(H)^{1.5}, \quad (1)$$

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{1.5} \sqrt{g} \cdot C_v \cdot C_d \cdot b(h)^{1.5}, \quad (2)$$

где  $h$  – измеряемый напор в верхнем бьефе на расстоянии  $l_a$  от кромки водослива, м;  $H$  – полный удельный напор в м, равный  $H = h + \alpha \frac{V^2}{2g}$ , причем принимают  $\alpha = 1,0$ ;  $g$  – ускорение свободного падения, м<sup>2</sup>/с;  $C_d$  – безразмерный коэффициент расхода;  $C_v$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость подхода потока к сооружению, равный

$$C_v = \left(\frac{H}{h}\right)^{1.5}; \quad (3)$$

$b$  – ширина водослива, м.

При проведении экспериментальных исследований определялся экспериментальный коэффициент в уравнении расхода [2], равный

$$C_{\text{э}} = C_v \cdot C_d, \quad (4)$$

а затем вычислялся коэффициент скорости по (3) и искомый коэффициент расхода

$$C_d = \frac{C_{\text{э}}}{C_v}. \quad (5)$$

Для достоверности использования результатов исследований на лабораторной экспериментальной установке, сравним полученные данные с результатами исследований натурального водослива с таким же симметричным профилем треугольного порога, т.е. с откосами 1:2. В качестве натурального объекта примем водослив, исследованный Базеном [8], который был установлен в прямоугольном канале шириной  $b_k = 1,992 \text{ м} \dots 2,0 \text{ м}$ , имел высоту порога  $P = 0,5 \text{ м}$ , диапа-

зон измерения расходов от 0,0864 до 1,1863 м<sup>3</sup>/с, измеряемый напор – от 0,07 до 0,405 м и измерительное сечение, расположенное на расстоянии  $l_a = 5,0$  м (10  $P$ ).

На рисунке 1 приведены градуировочные характеристики экспериментального и натурального водосливов. Из рисунка 1 видно, что обе характеристики совмещаются в одну прямую с отклонением экспериментальных точек не более чем 0,5%. Это свидетельствует о том, что принятые в экспериментальных исследованиях геометрические параметры порога водослива и диапазоны гидравлических характеристик при моделировании их по Фрудру дают достоверные результаты пересчета на натуру. Принятая ширина гидравлического лотка (0,245), хотя и меньше, чем рекомендуется (0,3 м) нормативными документами [1;2;3;4], вполне достаточна для исследований расходных характеристик водосливов.

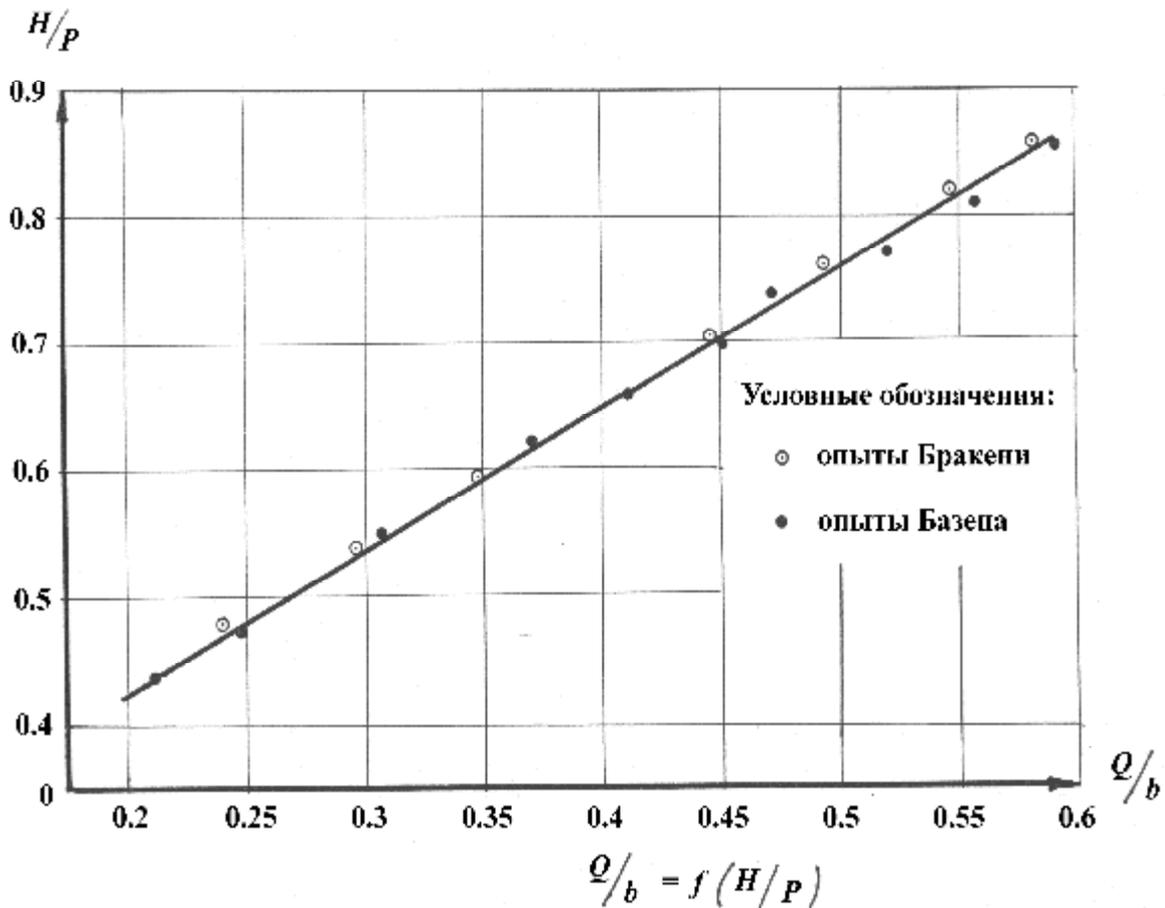
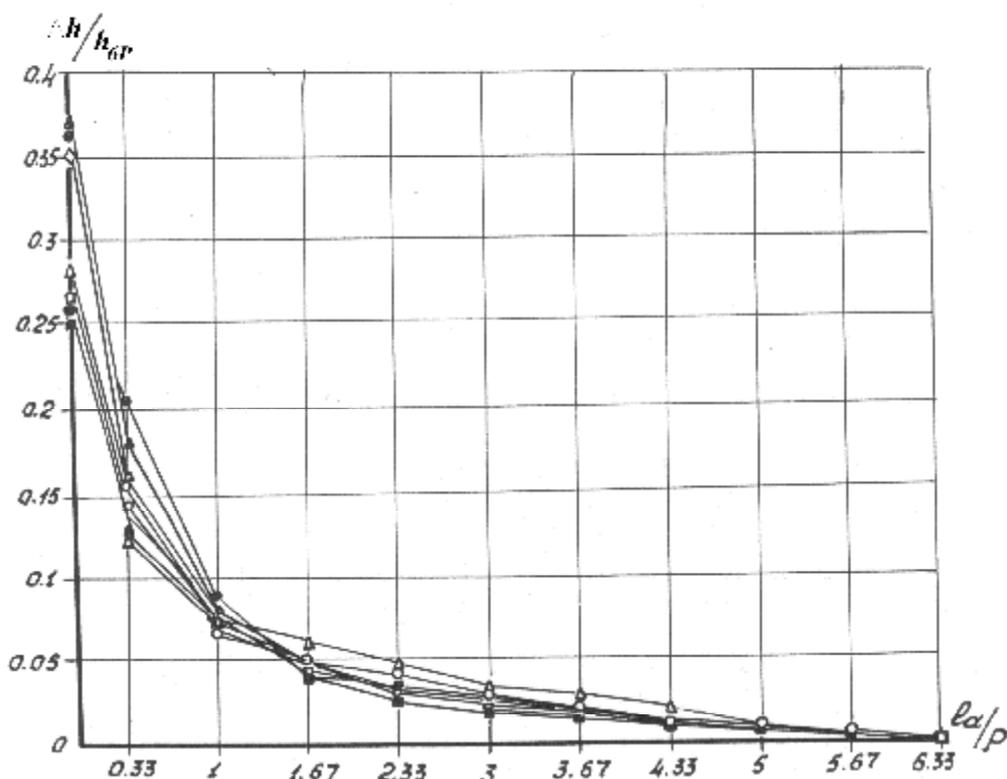


Рисунок 1 - Градуировочная характеристика экспериментального и натурального водосливов

Зависимость коэффициента расхода  $C_d$  от относительного полного напора  $\frac{H}{P}$  показывает постоянство коэффициента расхода ( $C_d = 1,245$ ) и хорошую совместимость лабораторных и натуральных данных. Причем, измерительный створ у экспериментального водослива находился на расстоянии  $6,3 P$  от верхней

кромки порога, а у натурального водослива – на  $10 P$ , что дает возможность сделать вывод о незначительном изменении действующего напора при расположении измерительного створа от  $6 P$  до  $10 P$ .

Вместе с тем, следует отметить, что расположение измерительного створа на расстоянии менее  $6 P$  имеет существенное значение при определении расходных характеристик водосливов. Так, на рисунке 2 показана зависимость относительного изменения действующего напора от относительного расстояния расположения измерительного створа. Как видно из рисунка 2, уменьшение расстояния от  $6 P$  до  $0$  вызывает изменение действующих напоров до 37% и полных напоров до 20% от напоров в измерительном сечении, расположенном на расстоянии  $6 P$ .

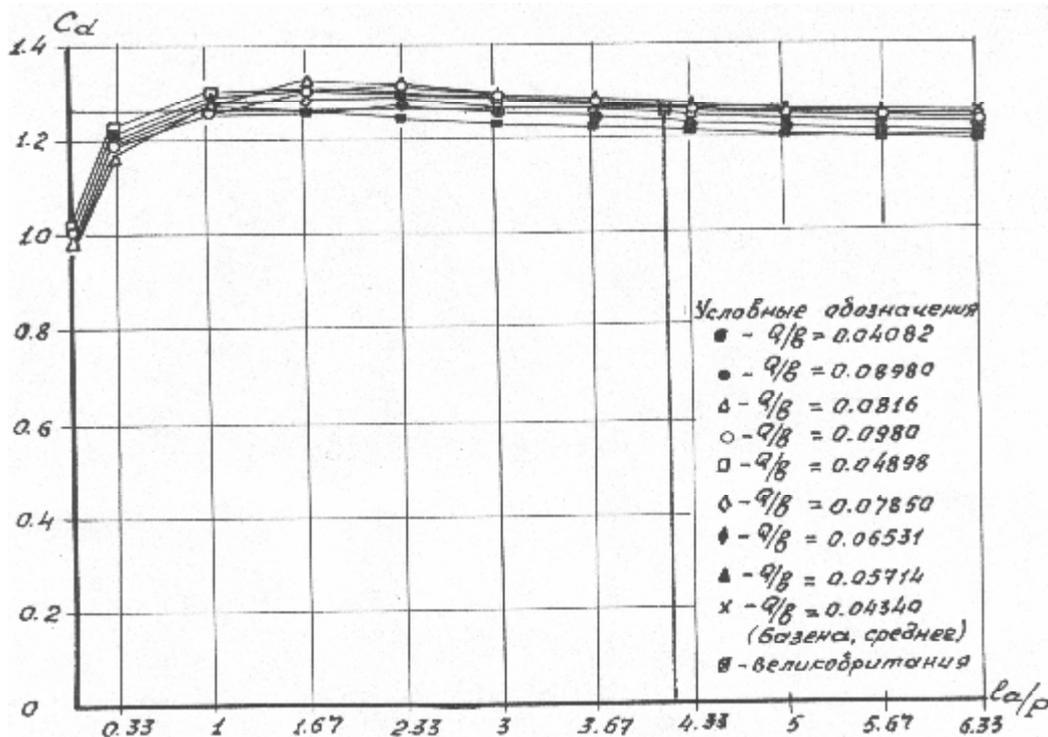


$$\Delta h / h_{6P} = f(l_a / P)$$

Рисунок 2 - Зависимость относительного действующего напора от относительного расстояния створа

На рисунке 3 показана зависимость изменения коэффициента расхода  $C_d$  от относительного расположения измерительного створа  $\frac{l_a}{P}$ . Как видно из рисунка 3, наиболее устойчивые значения коэффициентов расхода, соответствующие линейной интерполяции, располагаются в диапазоне от  $6 P$  ( $10 P$ ) до  $3 P$  и с небольшой дополнительной погрешностью до  $2 P$ , расположение измерительного сечения ближе, чем  $2 P$  нецелесообразно, т.к. имеет место резкое изменение значений коэффициента расхода и соответствующее возрастание погрешности

определения расходов воды. Как по нашим данным, так и по [7] коэффициент расхода для измерительного водослива при расположении измерительного створа на расстоянии  $4P$  равен  $C_d = 1,255$ .



$$C_d = f(l_a/P)$$

Рисунок 3 - Зависимость изменения коэффициента расхода  $C_d$  от относительного расположения створа

Полученные результаты показывают, что при разработке нормативных документов для гидрометрических сооружений и в частности для водосливов с донными порогами, необходимо более точно определять местоположения измерительных створов действующих напоров, т.к. существующие рекомендации [1;4] содержат недопустимые диапазоны расстояний расположения створов, например,  $l_a \geq 2h_{max}$ .

При расположении измерительного створа по указанным рекомендациям это расстояние в наших исследованиях было бы равным  $l_a = 0,245 \text{ м} \approx 1,63 P$ . При измерении напора в створе с  $l_a = 1,63 P$ , а не  $l_a = 4 P$  дополнительная погрешность определения расхода составила бы 3,34% для  $\frac{Q}{b} = 0,098$ , что значительно превысило бы допустимую погрешность измерения расходов воды на гидромелиоративных системах, равную 5%.

При уточнении отечественных нормативных документов [1] и при очередном пересмотре международного стандарта для водосливов с порогами треугольного профиля ИСО 4360 [4] рекомендуем следующее:

- включить в эти документы для практического применения в системах водоучета для открытых водотоков и каналов водослив с симметричным треугольным порогом с откосами в верхнем и нижнем бьефах, равными 1:2;

- для рекомендуемого водослива использовать в уравнении расхода коэффициент расхода, равный 1,255 при расположении измерительного створа на расстоянии равном  $4P$  от верхней кромки гребня порога, а относительную погрешность принимать равной 0,5...1,0%;

- измерительный створ можно располагать на расстоянии  $2h_{max}$  при условии примерного равенства  $h_{max} \approx P$ , принимая при этом относительную погрешность определения коэффициента расхода, равную 2%;

- при расположении измерительного створа на расстояниях, отличных от указанных выше, коэффициент расхода принимать из рисунка 3.

### **Литература**

1. МИ 2122-90. ГСИ. Расход жидкости в открытых потоках. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков. Госстандарт СССР, ВНИИР, Казань, 1990 г. (Взамен РДП 99-77) – 73 с.

2. РДП 99-77. Правила измерения расхода жидкости при помощи стандартных водосливов и лотков. Госстандарт СССР. М.:1977 – 51 с.

3. ISO 4360 Liquid flow measurement in open channels by weirs and flumes – Triangular profile weirs, First edition, Geneva, ISO, 1979.

4. ISO 4360 Liquid flow measurement in open channels by weirs and flumes – Triangular profile weirs, Second edition, Geneva, ISO, 1984.

5. Crump E.S. A new method of gauging stream with little afflux by means of submerged weir of triangular profile//Proc. Inst. Civil Engrs (PISE) № 1, March, 1952. – P 223-242.

6. Report № ex 477. The triangular profile Crump weir. A re-examination of discharge characteristics Hydraulics Research station. – Wallingford. England, 1970.

7. White WR, Burgess I.S. The triangular profile weir with 1:2 upstream and downstream slopes÷Report № in T64/ Hydraulics Research station. – Wallingford. England, 1967.

8. Harton R.E. Weir experiments, coefficients and formulas, Water-Supply and Irrigation, Paper №200, U.S. Geological Survey, Washington, 1907.

9. Бракени А. Пропускная способность треугольного водослива практического профиля. Дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н.; М.: 1996.

УДК 628.113

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА ВОДОХРАНИЛИЩ НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**А.О. Щербаков, Е.Э. Головинов**

ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, Москва, Россия

В сфере исследования и эксплуатации водохранилищ и водохозяйственных систем в последнее десятилетие особенно актуальными и, можно сказать решающими, стали проблемы их управления. С развитием вычислительной тех-