

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. Крапом [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 Крапа) 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 м³/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, м²/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

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

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

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

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

зон измерения расходов от 0,0864 до 1,1863 м³/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 натурного 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.

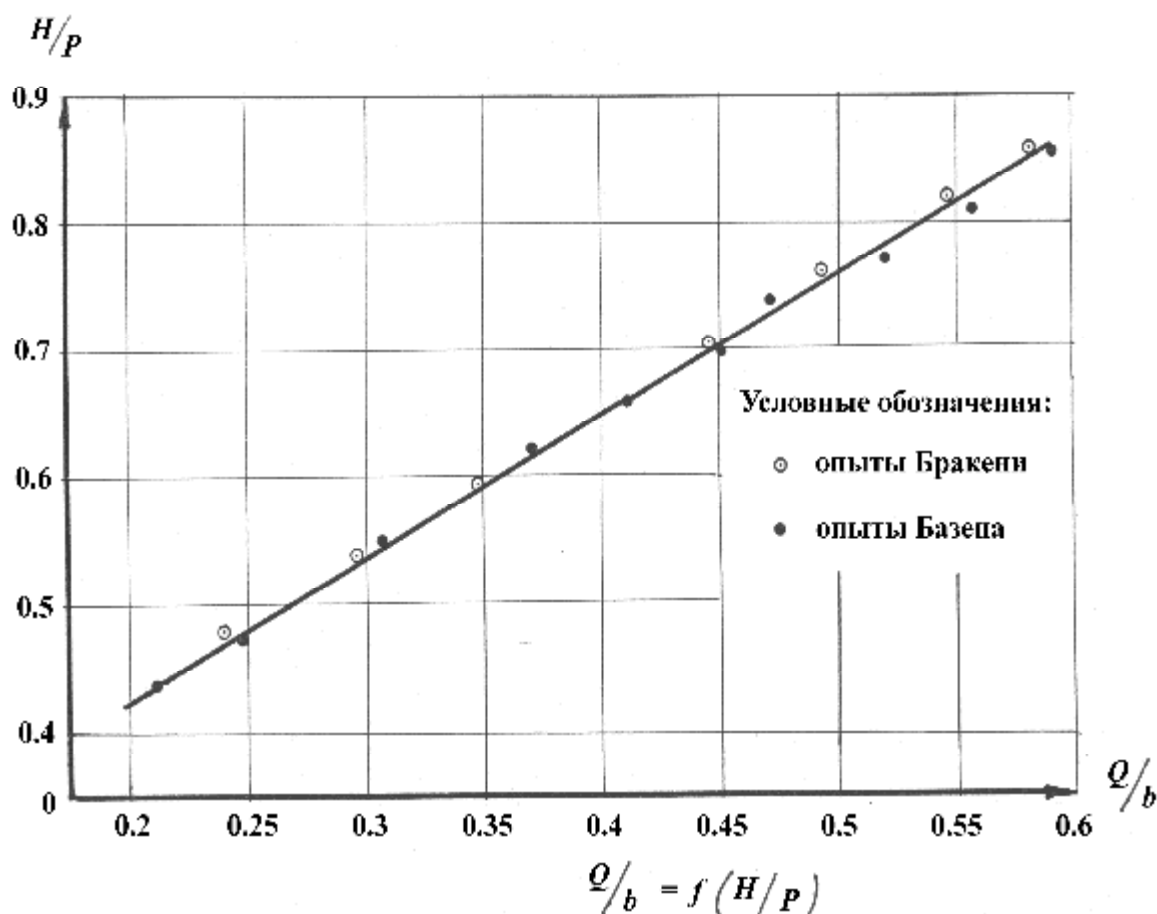


Рисунок 1 - Градуировочная характеристика экспериментального и натурного водосливов

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 натурных 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 $6 P$.

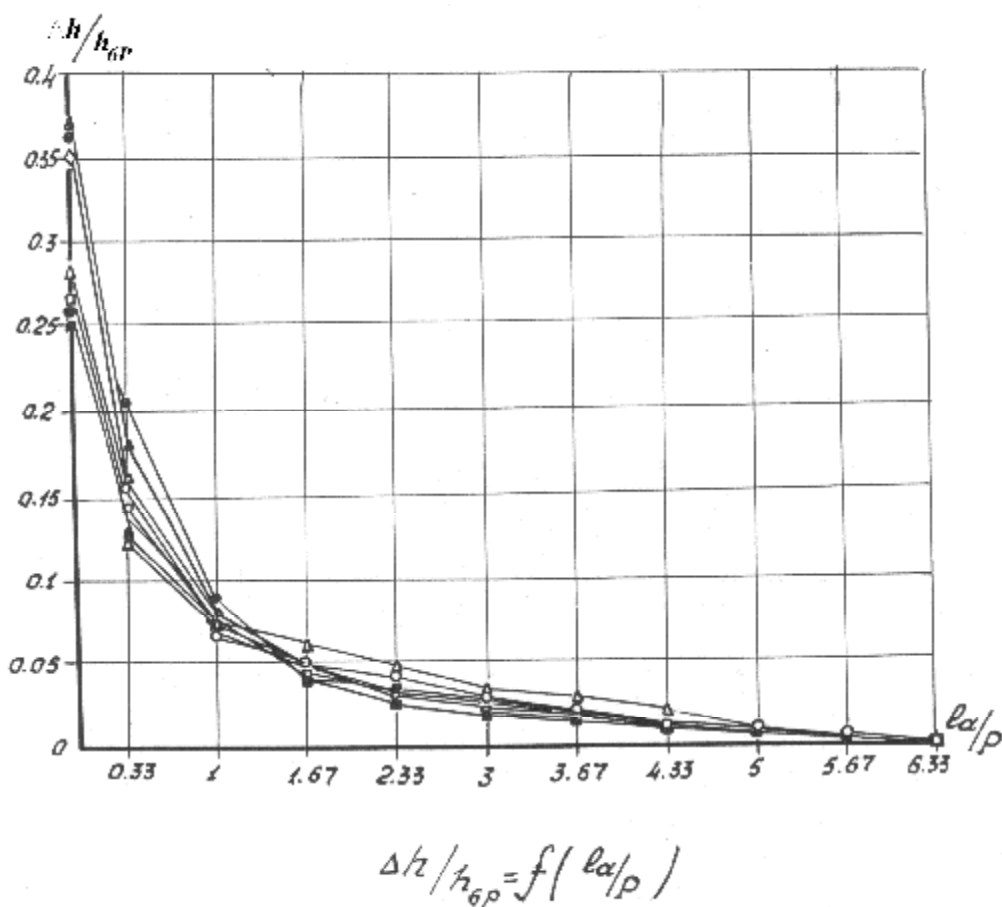
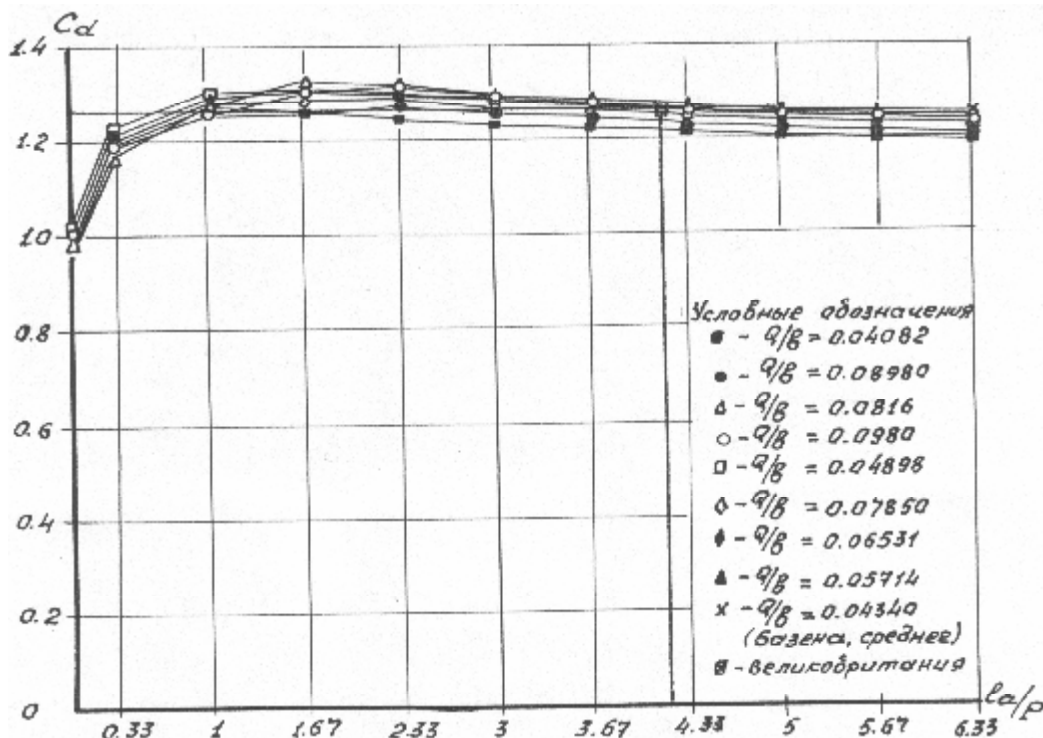


Рисунок 2 - Зависимость относительного действующего напора от относительного расстояния створа

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-