



УДК 627.83.001.24

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.141

Повышение точности определения расходов на гидросооружениях, работающих по схеме водослива с широким порогом

В.Д. Давыдов, канд. техн. наук

Кубанский государственный аграрный университет, ул. Калинина, д. 13,
г. Краснодар, Россия, 350044; e-mail: dvd194@mail.ru

Известно, что большинство водопропускных сооружений, используемых в различных отраслях водного хозяйства, включая лесосплав, в гидравлическом отношении работает как водослив с широким порогом. Несмотря на значительное число исследований данного типа водослива, начиная с пионерных, выполненных еще учениками Галилео Галилея, целый ряд вопросов остался недостаточно изученным. Вследствие этого существующие методики расчета пропускной способности водослива с широким порогом имеют погрешность более 5...6 %. Такая погрешность при учете расходуемой воды уже не удовлетворяет производство и не соответствует мировым стандартам. При расчете коэффициента расхода, являющегося многопараметрической функцией деформированного потока и сооружения, зачастую учитываются условия входа на порог, относительная высота и относительная ширина порога водослива и совершенно не учитываются потери в пределах самого сооружения. Единичные исследования, проводимые в этом направлении, недостаточно подтверждены лабораторными и натурными данными. Целый ряд методик других авторов позволяет вести расчет пропускной способности водослива конечной ширины только в проектной практике и не пригодны для использования в эксплуатационный период. Поэтому было проведено около 600 лабораторных и натуральных экспериментов, позволивших установить влияние относительной глубины на сходе с порога водослива и ее определяющую роль в расчетах пропускной способности водослива с широким порогом. По данным исследований автора и опытными данными других исследователей, обработанных в соответствии с методикой автора, были построены графики, подтверждающие функциональную зависимость этой глубины от конструктивных особенностей гидросооружений. Математическая обработка массивов опытных данных позволила получить для определения коэффициента расхода водослива новые расчетные зависимости, повысившие точность измерений расходных характеристик данного типа водослива, особенно в эксплуатационный период. Строго выполненные лабораторные и натурные исследования дали возможность разрабатывать новый способ измерения расхода воды, квалифицированный Государственным комитетом по изобретениям как изобретение. При этом были разработаны рекомендации по вопросам оптимизации расположения створов, где необходимо проводить замеры параметров деформированного гидросооружением потока. Сделан важный вывод о том, что совершенствование

учета расходования воды на сооружениях лесосплавного производства предпочтительнее вести путем повышения водомерности этих сооружений за счет внедрения более современных методик расчета пропускной способности, учитывающих большее число параметров потока и сооружения.

Ключевые слова: водомерность, гидросооружения, водослив с широким порогом, измерения, способ, погрешность, расчет пропускной способности.

Большинство водопропускных сооружений водохозяйственных систем работает по схеме водослива с широким порогом. Известно, что первыми исследователями, работавшими с водосливом конечной ширины, были ученики Галилео Галилея: Кастелли и Торичелли.

Однако, несмотря на значительное число исследований, посвященных изучению водослива данного типа [1, 2], целый ряд вопросов остались недостаточно изученными. Анализ научных работ в этой области показал, что существующие методики расчета пропускной способности водослива с широким порогом имеют погрешность более 5...6 %. Такая погрешность при учете расходуемой воды уже не удовлетворяет современное производство.

При определении пропускной способности водослива с широким порогом большинство методик учитывает только часть параметров потока, деформированного гидросооружением. При расчете такой сложной характеристики, как коэффициент расхода, чаще всего учитывают только условия входа, относительные высоту и ширину порога водослива и не принимают во внимание потери в пределах самого сооружения.

Для повышения точности учета расходуемой воды, по мнению автора, необходимы данные о параметрах потока перед сооружением и в конце его. Учет параметров потока перед сооружением и в пределах его при расчете коэффициента расхода попытались произвести В.С. Кальфа и Ю.С. Алексеев [2], получившие теоретические зависимости, недостаточно, на взгляд автора, подтвержденные лабораторными и натурными данными.

Автором ранее была получена формула, учитывающая параметры потока перед сооружением и в конце его [1]:

$$m = \frac{h_{cx}}{H_0} \sqrt{1 - \frac{h_{cx}}{H_0}}, \quad (1)$$

где h_{cx} – глубина на сходе с порога водослива;

H_0 – полный напор воды перед сооружением.

Формула (1) внешне похожа на формулу вида [3]:

$$m = \varphi K \sqrt{1 - K}, \quad (2)$$

где φ – коэффициент скорости;

$$K = \frac{h}{H_0};$$

h – глубина на пороге водослива.

В результате проведенных автором экспериментальных исследований было установлено, что положение створа с глубиной h постоянно меняется в зависимости от изменения параметров потока и сооружения, а при форме профиля свободной поверхности потока на водосливе с широким порогом, отличной от классической, вообще неопределенно. Об этом свидетельствуют данные лабораторных и натурных исследований. Всего было проведено 597 опытов.

На рис. 1–4 приведены зависимости $\frac{h_{\text{сх}}}{H_0} = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$ (где $\frac{P}{H_0}$ – относительная высота порога), показывающие, что независимо от условий входа эта связь четко выражена и, по своей сути, является функциональной. Об этом свидетельствуют и приведенные ниже зависимости:

а) на водосливе с прямоугольным входом:

$$\frac{h_{\text{сх}}}{H_0} = 0,550 \left(\frac{P}{H_0}\right)^{-0,05} e^{-0,2 \frac{P}{H_0}}; \quad (3)$$

б) на водосливе с наклонным входом под углом 45° :

$$\frac{h_{\text{сх}}}{H_0} = 0,535 \left(\frac{P}{H_0}\right)^{-0,06} e^{-0,09 \frac{P}{H_0}}; \quad (4)$$

в) на водосливе с наклонным входом под углом 30° :

$$\frac{h_{\text{сх}}}{H_0} = 0,520 \left(\frac{P}{H_0}\right)^{-0,06} e^{-0,08 \frac{P}{H_0}}; \quad (5)$$

г) на водосливе с закругленным входом при $\frac{r}{P} = 1$ (где r – радиус кривизны входного ребра водослива):

$$\frac{h_{\text{сх}}}{H_0} = 0,515 \left(\frac{P}{H_0}\right)^{-0,07} e^{-0,04 \frac{P}{H_0}}; \quad (6)$$

где e – основание неперовых логарифмов.

Исследованиями было также установлено, что при относительной высоте порога $\frac{P}{H_0} < 1$ коэффициент расхода, получаемый по формуле (1), хорошо согласуется с опытными данными, и расхождение не превышает точности проведения опытов.

Однако при $\frac{P}{H_0} > 1$ в формулу (1) необходимо введение поправочного коэффициента α_R , учитывающего расхождение между теоретическими и экспериментальными данными. Расхождение объясняется неравномерностью распределения скоростей потока на сходе с порога водослива, что не учитывается теоретической зависимостью (1).

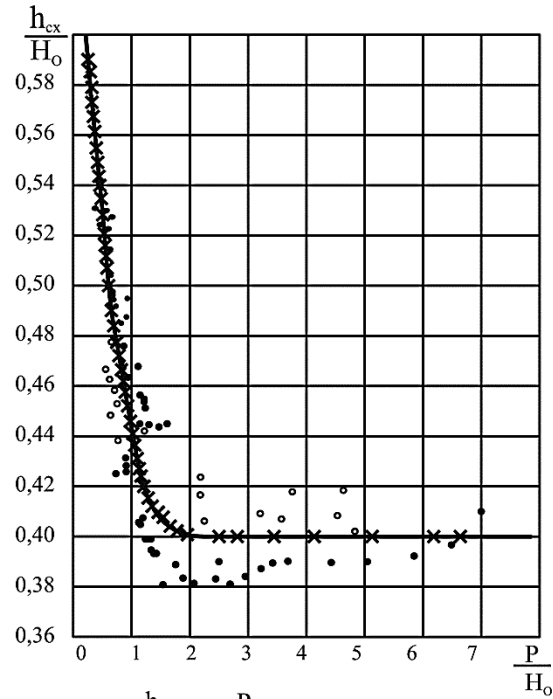


Рис. 1. Зависимость $\frac{h_{cx}}{H_0} = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$ на водосливе с широким порогом с прямоугольным входом по данным:
 ● - Г.И. Сухомела и др.; ● - А.Р.Березинского; ○ - В.С. Кальфа; × - автора

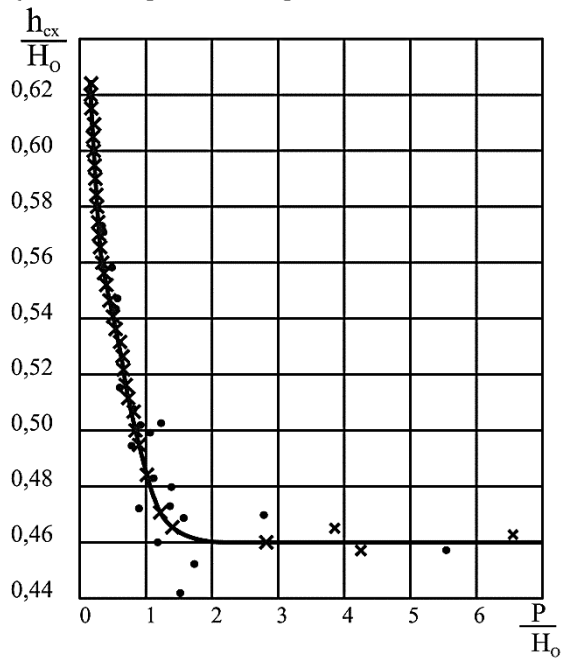


Рис. 2. Зависимость $\frac{h_{cx}}{H_0} = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$ на водосливе с широким порогом с наклонным входом под углом 45° (данные автора)

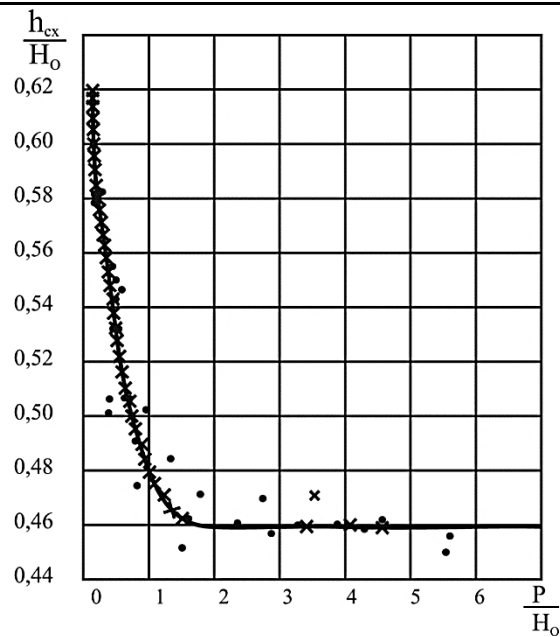


Рис.3. Зависимость $\frac{h_{cx}}{H_0} = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$ на водосливе с широким порогом с наклонным входом под углом 30° (данные автора)

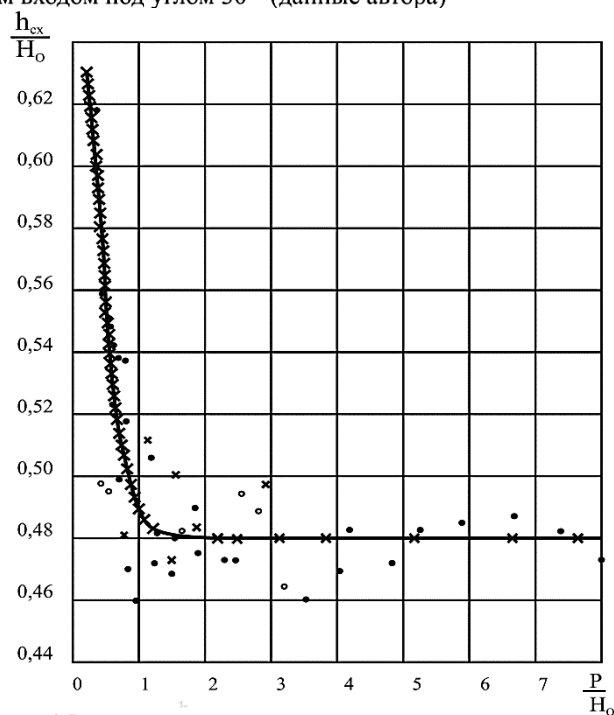


Рис. 4. Зависимость $\frac{h_{cx}}{H_0} = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$ на водосливе с широким порогом с прямоугольным входом по данным: ● - Г.И. Сухомела и др.; ● - А.Р.Березинского; ○ - В.С. Кальфа; × - автора

Для определения α_R был построен график зависимости $\alpha_R = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$, приведенный на рис. 5, так как α_R , как показал анализ экспериментальных данных, практически не зависит от других параметров потока и сооружения. На графике приведены опытные данные автора и данные профессора А.Р. Березинского [3], обработанные в соответствии с методикой исследований автора.

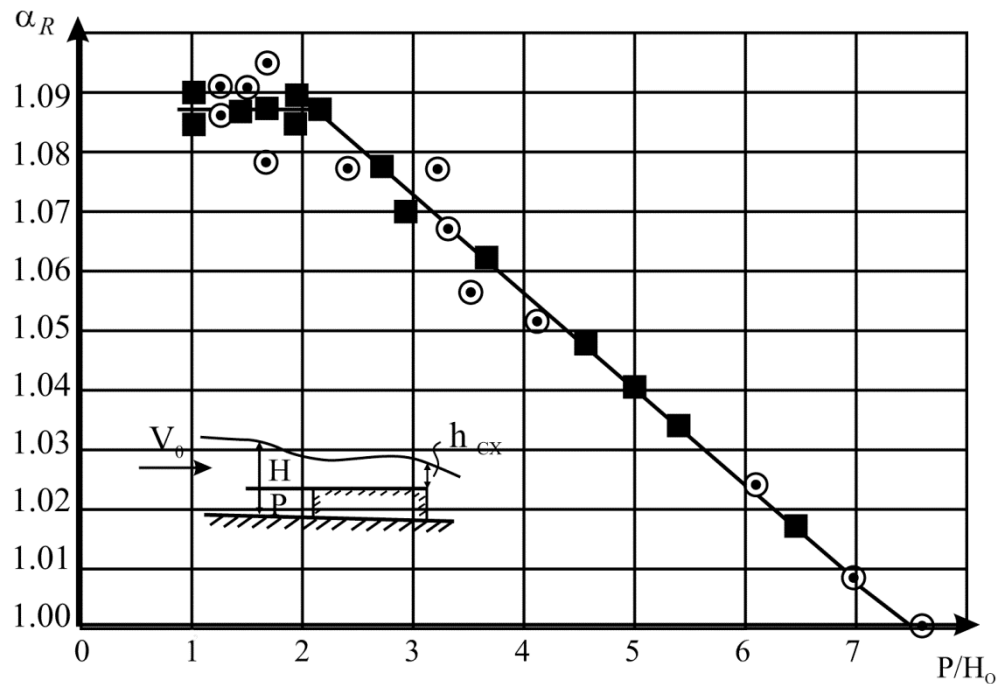


Рис. 5. График зависимости $\alpha_R = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$ прямоугольного водослива с широким порогом по данным: ⊙ – профессора А.Р. Березинского; ■ – автора

Анализ зависимости $\alpha_R = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$ на графике показывает, что при $\frac{P}{H_0} = 1 \dots 2$ поправочный коэффициент $\alpha_R = 1,09 = \text{const}$. При дальнейшем возрастании относительной высоты порога водослива α_R может быть определен по эмпирической зависимости:

$$\alpha_R = 1,1246 - 0,0173 \frac{P}{H_0}, \quad (7)$$

которая действительна при $2 \leq \frac{P}{H_0} \leq 7,2$.

Следовательно, при $\frac{P}{H_0} > 1$ коэффициент расхода следует определять по следующей формуле:

$$m = \alpha_R \frac{h_{cx}}{H_0} \sqrt{1 - \frac{h_{cx}}{H_0}}, \quad (8)$$

а пропускную способность гидросооружений водохозяйственных систем, работающих по схеме водослива с широким порогом, по уравнению

$$Q = \alpha_R b h_{cx} \sqrt{2g(H_0 - h_{cx})}, \quad (9)$$

где b – ширина водосливного фронта.

Обработка опытных данных проф. А.Р. Березинского и автора показала, что формулы (1), (8) и (9) позволяют учитывать различные конструктивные особенности гидротехнических сооружений водохозяйственных систем (например, наличие пазов, форму быков и др.). Учет влияния конструктивных особенностей сооружений на коэффициент расхода и пропускную способность происходит за счет изменения параметров, особенно глубины на сходе с водослива h_{cx} . Следует иметь в виду, что значительное число гидросооружений водохозяйственных систем работает при $\frac{P}{H_0} < 1$, и h_{cx} определяется в фиксированном створе.

Последние два обстоятельства послужили основой для разработки нового способа измерения расходов воды [4].

Способ основан на снятии замеров глубин до водослива с широким порогом и в конце его. Для этого в верхнем бьефе устанавливают водомерную рейку (рис. 6) на расстоянии $4 \dots 5H_0$, вторую гидрометрическую рейку размещают в нижнем бьефе, в створе схода воды с порога водослива. По рейкам фиксируют уровни воды, а затем определяют глубины H_0 и h_{cx} . Расход находят по формуле

$$Q = b h_{cx} \sqrt{2g(H_0 - h_{cx})}. \quad (10)$$

Замер глубины в нижнем бьефе производят на сходе с водосливного порога в фиксированном сечении, что позволяет достичь увеличения точности измерения подаваемой на водохозяйственную систему воды.

При работе водослива с широким порогом в затопленном, подтопленном и переходном режимах истечения необходимо вводить в формулу (10) поправочный коэффициент, значения которого приведены в работе [2]. Там же даны рекомендации по расчету «длинных» водосливов или «коротких» каналов и лотков.

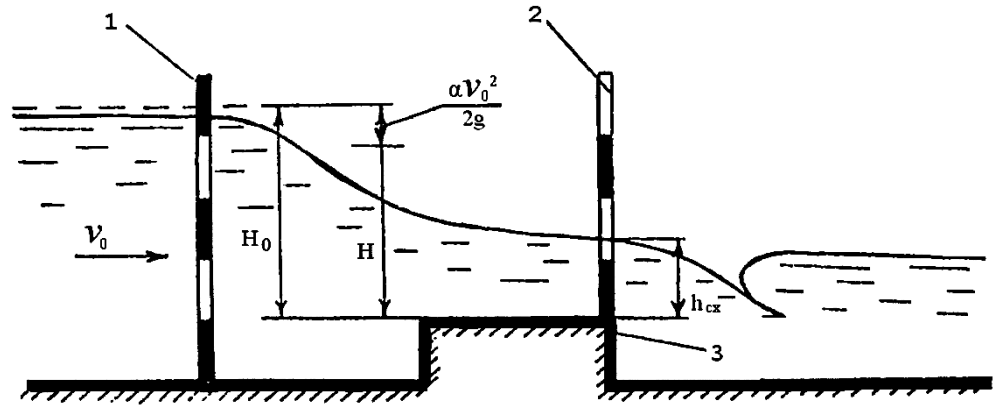


Рис. 6. Способ измерения расхода воды: 1, 2 – водомерные рейки;
3 – порог водослива

Натурные исследования, проведенные автором на головном сооружении отводящего канала пожарного водоема Лисинского лесхоза, расположенного территориально в районе г. Тосно Ленинградской области, показали полную сходимость результатов исследований с результатами, полученными по теоретической зависимости (10).

Выводы

1. Совершенствование учета расходования воды на сооружениях водохозяйственных систем предпочтительнее вести путем повышения водомерных свойств существующих гидросооружений за счет внедрения более современных методик расчета их пропускной способности, учитывающих большее количество параметров потока и сооружения, а также конструктивные особенности сооружения.

2. Коэффициент расхода и пропускную способность гидросооружений водохозяйственного назначения, работающих по схеме водослива с широким порогом в неподтопленном режиме истечения, при относительной высоте порога $\frac{P}{H_0} < 1$ следует определять по формулам (1) и (10), при $\frac{P}{H_0} > 1$ – по формулам (8) и (9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов В.Д. Исследование руслостеснительных сооружений на сплавных реках, работающих по схеме водослива с широким порогом: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1980. 312 с.

2. Давыдов В.Д. Ресурсосберегающие технологии водоучета. Краснодар: КубГАУ, 2007. 237 с.

3. Березинский А.Р. Пропускная способность водослива с широким порогом. М.; Л.: Госстройиздат, 1950. 126 с.

4. Способ измерения расхода воды: а.с. 1275213 СССР, МКИ С 01 F 1/20/ Давыдов В.Д., Сербинов А.В. (СССР). № 771971/24-10; заявл. 18.07.84; опубл. 07.12.86, Бюл. № 45. 2 с.

Поступила 17.02.14

UDC 627.83.001.24

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.141

Improving the Determination Accuracy of Costs in the Hydraulic Structures Operating Under the Scheme of a Broad-Crested Weir

V.D. Davydov, Candidate of Engineering Sciences

Kuban State Agrarian University, Kalinin str., 13, Krasnodar, 350044, Russian Federation; e-mail: dvd194@mail.ru

The most of culverts used in various sectors of water management, including wood floating, in relation to the hydraulic operates as a broad-crested weir. Despite the considerable amount of studies of a weir of this type, since the pilot studies made by the Galileists, there is a number of underinvestigated issues. As a consequence, the existing methods of broad-crested weir calculation have an error of more than 5–6 %. This error in the accounting of consumed water does not satisfy the industry and does not meet the international standards. When calculating the discharge code, which is a multi-parameter function of a strain flow and a structure, we often take into account the conditions of entry at a crest, the relative height and width of a weir crest and do not take into account the operational wastes within the structure itself. A few studies conducted in this area are not enough confirmed by laboratory and field data. A number of techniques of other authors allows us to calculate the spillway capacity of the finite width only in a design practice and are not suitable for use in the maintenance period. Therefore, about 600 laboratory and field experiments have been conducted, which allowed establishing the effect of the relative depth at the crest of weir and its decisive role in the calculation of the spillway capacity with a broad-crested weir. Based on the author's studies and the experimental data of other researchers treated according to the author's method, the graphs were constructed, confirming the functional dependence of the depth on the design features of the hydraulic structures. Mathematical processing of experimental data provided new calculation dependencies to determine the weir coefficient. These dependencies improved the accuracy of measurements of flow characteristics of this type of weir, especially in the maintenance period. Strict implementation of laboratory and field studies gave an opportunity to develop a new method for water consumption measuring, qualified by the State Committee for Inventions as the invention. The authors developed the recommendations for optimizing the location of cross sections, to carry out the measurements of the flow parameters deformed by a hydraulic structure. Analysis of the studies also helps to make the important conclusion that the improvement of water consumption accounting in the structures of the floating plants is preferable to conduct by the increase of

water measuring in these structures due to the introducing of the modern methods of weir calculation, taking into account the increasing number of flow and structure parameters.

Keywords: water regularity, hydraulic structure, broad-crested weir, measurement, method, error, weir calculation.

REFERENCES

1. Davydov V.D. *Issledovanie ruslostesnitel'nykh sooruzheniy na splavnykh rekakh, rabotayushchikh po skheme vodosliva s shirokim porogom*: dis. ... kand. tekhn. nauk [The Research of the Bed Restricting Structures on the Floating Rivers, Operating Under the Scheme of a Broad-Crested Weir: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Leningrad, 1980. 312 p.
2. Davydov V.D. *Resursoberegayushchie tekhnologii vodoucheta* [The Resource Saving Water Metering Technology]. Krasnodar, 2007. 237 p.
3. Berezinskiy A.R. *Propusknaya sposobnost' vodosliva s shirokim porogom* [A Carrying Capacity of a Broad-Crested Weir]. Moscow; Leningrad, 1950. 126 p.
4. Davydov V.D., Serbinov A.V. *Sposob izmereniya raskhoda vody* [A Method of Water Measurement]. Certificate of authorship, no. 1275213, 1984.

Received on February 17, 2014
