

*the past decades, river flow is formed under new climatic conditions associated with changes in the structure of the earth's climate system. Under the modern climatic conditions, the volume of spring runoff in the Moskva river basin (the right tributary of the Oka river in the lower reaches) accounts for the largest share of runoff – 65%, and the smallest share is observed in the closing range of the Oka basin (up to Gorbatov) and is 48% of the annual flow. The increase in the share of summer-autumn low-water runoff in the upper reaches of the Oka in recent decades is from 22-25% to 32-34%, and in the closing range of the basin – from 28 to 36%. The studies show that the changes observed in the second half of the XX century and the beginning of the XXI century in the structure of the earth's climate system lead to the restructuring of the characteristics of the water regime of both large, medium and small catchments of the Oka river basin.*

*River flow, river basin, fluctuations in river flow, spring flood, winter low water, summer-autumn low water, water resources, time series, climatic factors.*

### References

1. **Ismailyov G.Kh., Muraschenkova N.V.** К теории и методологии формирования элементов водного баланса речного бассейна в условиях меняющейся климата. *Экология. Экономика. Информатика. Сб. статей: в 2-х т. Т. 1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем.* Вып. 1. – Ростов н/Д: Изд-во YUNTS RAN, 2016. – С. 615-623.
2. **Resursy poverkhnostnykh vod SSSR.** Tom 10. Verkhne-Volzhskiy rayon. Kniga M.: Moskovskoye otdelenie Gidrometeoizdata, 1973. – 476 s.
3. **Rozhdestvenskiy A.V., Lobanova A.G.** Metodicheskie rekomendatsii po otsenke odnorodnosti gidrologicheskikh karakteristik i opredeleniyu ih raschetnykh znacheniy po neodnorodnym dannym. – SPb.: Izd-vo Nestor-Istoriya, 2010. – 162 s.
4. SP 33-101-2003 *Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh karakteristik.* – M.: Gosstroj Rossii, 2004. – 73 s.
5. **Ismailyov G.Kh., Muraschenkova N.V.** Otsenka i prognoz rechnogo stoka basseyna reki Volgi s uchetom vozmozhnogo izmeneniya klimata. // *Ispolzovaniye i okhrana prirodnykh resursov v Rossii. NIA PRIRODA.* – 2018. – № 4. – С. 56-61.
6. *Rezultaty issledovaniy izmeneniy klimata dlya strategiy ustojchivogo razvitiya Rossijskoj Federatsii.* – M.: ООО «Viva-Star», 2005. – 179 s.
7. *Nauchno-prikladnoj spravochnik: Osnovnye gidrologicheskie karakteristiki rek bassejna Verhnej Volgi.* / Pod red. Georgievskogo V.YU. – Livny, 2015. – 129 s.

The material was received at the editorial office  
03.10.2019 g.

### Information about the authors

**Ismailyov Gabil Khudush ogly**, doctor of technical sciences, professor, head of the chair «Hydrology, hydrogeology and runoff regulation» FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19; e-mail: gabil-1937@mail.ru

**Muraschenkova Natalya Vladimirovna**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Hydrology, hydrogeology and runoff regulation» FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19; e-mail: splain75@mail.ru

УДК 502/504:532.5:627.8

DOI 10.34677/1997-6011/2019-5-90-98

**А.П. ГУРЬЕВ, Э.С. БЕГЛЯРОВА, А.М. БАКШТАНИН, Б.А. ХАЕК**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

## НЕКОТОРЫЕ НЕУВЯЗКИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ РАСЧЁТА ВОДОСЛИВА С ШИРОКИМ ПОРОГОМ

*Статья посвящена анализу существующей методики расчёта водослива с широким порогом, которая основывается на предположении установления параллельно струйного движения воды на пороге. Для вывода расчётных зависимостей используется методика расчёта медленно изменяющегося движения. Кроме того, при выводе теоретических зависимостей для определения пропускной способности водослива, по умолчанию*

предполагается, что водослив с широким порогом представляет из себя прямолинейный призматический лоток с вертикальными стенками, к которому применимо допущение о наличии плоского течения. Для вывода расчётных зависимостей используется методика расчёта медленно изменяющегося движения, которая не всегда применима даже для сечения, в котором касательные к линиям тока параллельны между собой. Однако в теории расчёта потоков с неравномерным движением воды показано, что в русле с горизонтальным дном не может быть параллельноструйного движения воды, а использование методики расчёта медленно изменяющегося движения неприменимо в связи с наличием значительных сил инерции по глубине потока. Для учёта сил инерции при расчёте водослива с широким порогом следует использовать уравнение энергии, учитывающее негидростатичность распределения давления от искривления и сходимости линий тока.

*Водослив с широким порогом, медленно изменяющееся течение, негидростатичность изменения давления, коэффициент расхода.*

**Введение.** Водослив с широким порогом является одним из самых часто используемых в гидротехническом строительстве водосбросных сооружений. С момента первого теоретического расчёта водосброса прошло более 190 лет. За это время многие поколения учёных гидравликов во всех странах выполняли теоретические расчёты водослива с широким порогом, но все они придерживались одних и тех же исходных предпосылок, в результате чего получали сопоставимые результаты, которые не всегда согласовывались с результатами экспериментов. Для сглаживания противоречий между результатами теоретических и экспериментальных исследований вводились поправочные коэффициенты вместо того, чтобы использовать исходные положения, учитывающие реальные физические процессы, происходящие в потоке на водосливе с широким порогом.

**Материал и методы.** В предлагаемой статье излагаются результаты теоретических и экспериментальных исследований работы водослива с широким порогом как «классического» призматического в плане очертания с вертикальными стенками, так и с переменной в плане шириной, которые по принятой в гидравлике классификации также могут быть отнесены к водосливам с широким порогом.

**Результаты и обсуждение.** По определению Павловского Н.Н. [1], Агроскина И.И. [2], Чугаева Р.Р. [3, 4], водосливом называется гидравлическое явление перелива жидкости через вырез в стенке, преграждающей поток, а этот вырез именуется также термином «водослив». При этом длина выреза поперёк потока  $b$  обозначается как «ширина водослива», а длина выреза в направлении течения  $\delta$  обозначается как «ширина порога». При ширине порога  $\delta > 2$  водослив с получил название «водослива с широким порогом»,

характерным признаком которого является наличие на нём «приблизительно параллельно струйного течения» [1-8]. В современной трактовке согласно СО 34.21.308-2005 [9] по п°3.6.32 имеем: «**водослив с широким порогом:** Водослив, условия перелива воды через который определяется течением по его горизонтальной поверхности.

*Примечание.* К этому типу относятся водосливы, размер горизонтальной поверхности которых в направлении течения, как правило, больше двух и меньше восьми напоров над гребнем».

Таким образом, чтобы признать сооружение в качестве водослива с широким порогом, ему достаточно иметь горизонтальный порог и напор на нём в пределах  $2 < H/\delta < 8$ .

Рядом авторов при изучении работы водослива с широким порогом диапазон применения понятия водослива с широким порогом как сооружения был расширен по сравнению с [9]. Так, Агроскин И.И. [2] даёт диапазон  $2 < \delta/H < 10$ ; Березинский А.Р. [6], Зуйков Л.А. [8], дают диапазон  $1.5 < \delta/H < 12$ ; Сухомел Г.И. [10], Смыслов В.В. [10] дают диапазон  $2.5 < \delta/H < 15$ ; а Маккавеев В.М. и Коновалов И.М. [12] ограничивают только нижний предел значения  $2 < \delta/H$ , не оговаривая величину верхнего предела.

Таким образом, в качестве основных конструктивных признаков водослива с широким порогом практически все авторы принимают следующие условия:

1. Порог водослива должен быть горизонтальным.
2. Длина порога в направлении течения воды  $2(3) < \delta/H < 10(15)$ .
3. Прямоугольное поперечное сечение водослива.

При этом Павловский Н.Н. [1] и другие учёные ставят дополнительное условие: на пороге должно быть «...приблизительно,

параллельно-струйное течение», которое удовлетворяет определению «медленно изменяющегося движения».

В то же время ряд авторов наиболее авторитетных учебников по гидравлике, таких как, например, Агроскин И.И. [2] и Чугаев Р.Р. [3, 4], такие течения называют «плавно изменяющимся течением».

В соответствии с нормами русского языка, «плавно изменяющееся течение – это течение без резких изменений, постепенное изменение состояния» [13, 14]. Примерами таких течений могут служить фото перелива воды через водослив криволинейного профиля, показанное на рисунке 1, и фото перелива воды через неподтопленный порог шахтного водослива, показанное на рисунке 2.



Рис. 1. Фото перелива воды через гребень криволинейного водослива

Характер течения воды, показанный на этих фото, полностью соответствует определению «плавно изменяющегося течения» по [13, 14], одновременно не соответствуя определению «медленно изменяющегося течения».

Поэтому правильнее использовать термин «медленно изменяющееся движение»,

которое всесторонне учитывает свойства такого вида течения.

При этом все авторы под «плавно изменяющимся» и «медленно изменяющимся» течением понимают режим движения воды, при котором влиянием на распределение давления по глубине потока кривизны и сходимости линий тока можно пренебречь.

Однако многочисленные экспериментальные исследования показывают несовершенство приведенной общепризнанной классификации водослива с широким порогом и использование условия медленно изменяющегося движения воды при теоретическом анализе работы водослива с широким порогом.

В качестве иллюстрации формы свободной поверхности потока на водосливе с широким порогом при выводе расчётных уравнений для коэффициента расхода приводится схема рисунка 3, которая в [3] приведена как рисунок 11-20. Впервые эту схему движения воды на водосливе с широким порогом использовал Беланже в 1818 году [20, 21]. При этом он полагал, что движение воды на пороге параллельно-струйное, а поток плоский, при изучении которого можно пренебречь влиянием боковых стенок.



Рис. 2. Фото перелива воды через водоприёмную воронку шахтного водосброса

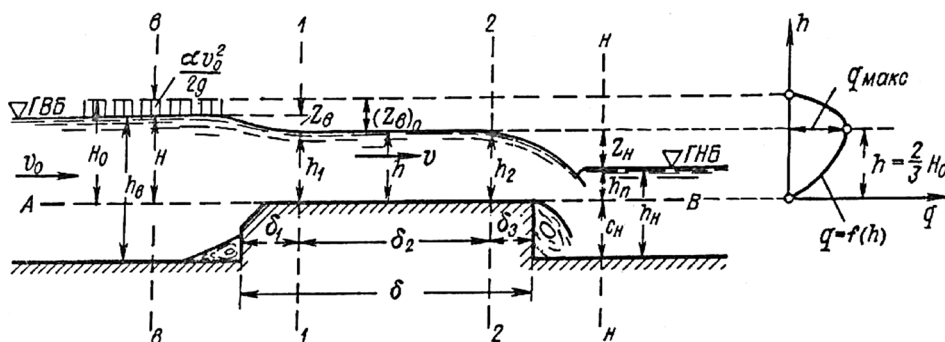


Рис. 3. Расчётная схема потока на водосливе с широким порогом [3]

Прежде всего следует заметить, что эта схема движения воды на водосливе с широким порогом противоречит теоретическим выводам о формах свободной поверхности

потока при неравномерном движении воды. Для открытых призматических русел с горизонтальным дном в курсах гидравлики гидротехнических сооружений при изучении

неравномерного движения воды теоретически обосновывается возможность формирования двух форм свободной поверхности: кривой спада и кривой подпора. На рисунке 4 приведен рисунок 7-34 [3], который иллюстрирует формы свободной поверхности воды в русле с горизонтальным дном.

На рисунке 5 приведены формы свободной поверхности воды, полученные при изучении работы поверхностного водосброса Нижне-Камской ГЭС [16, 17, 18] в диапазоне напоров на пороге  $H = 31.7...12.6$  см для варианта с постоянной шириной порога. При длине порога  $\delta = 122.5$  см, относительная длина порога была  $\delta/H = 3.73...9.7$ .

На рисунках 6 и 7 приведены формы свободной поверхности воды, полученные для поверхностного водосброса Нижне-Камской

со стеснением в плане по типу лотка Вентури. На рисунке 6 приведены кривые для относительного сужения  $b_c/b = 0.6$ , а на рисунке 7 кривые для относительного сужения  $b_c/b = 0.1$ .

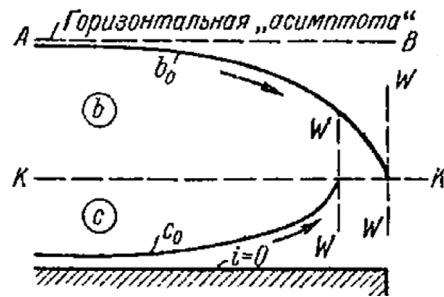


Рис. 4. Графики, иллюстрирующие возможные формы свободной поверхности потока в русле с горизонтальным дном [3]

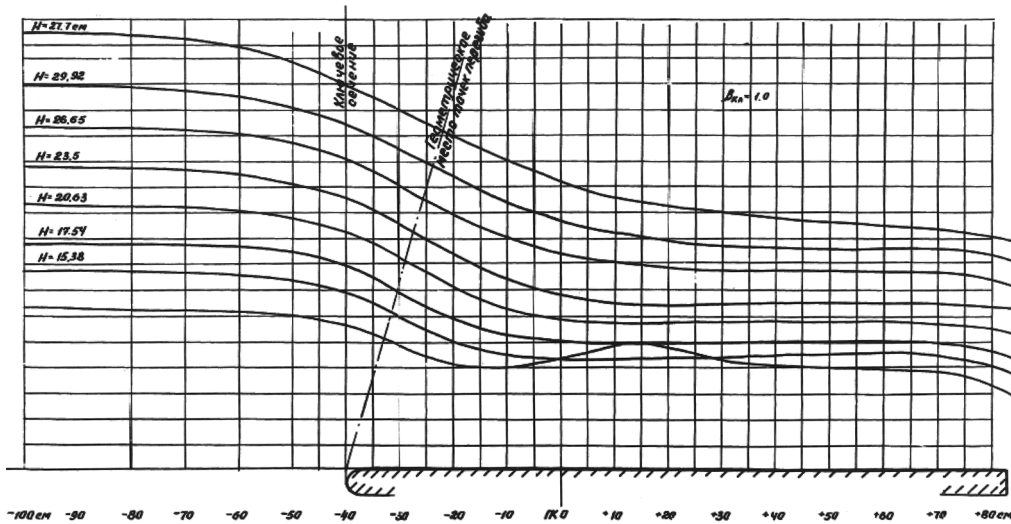


Рис. 5. Формы свободной поверхности воды на водосливе с широким порогом в диапазоне  $\delta/H = 3.7...9.7$

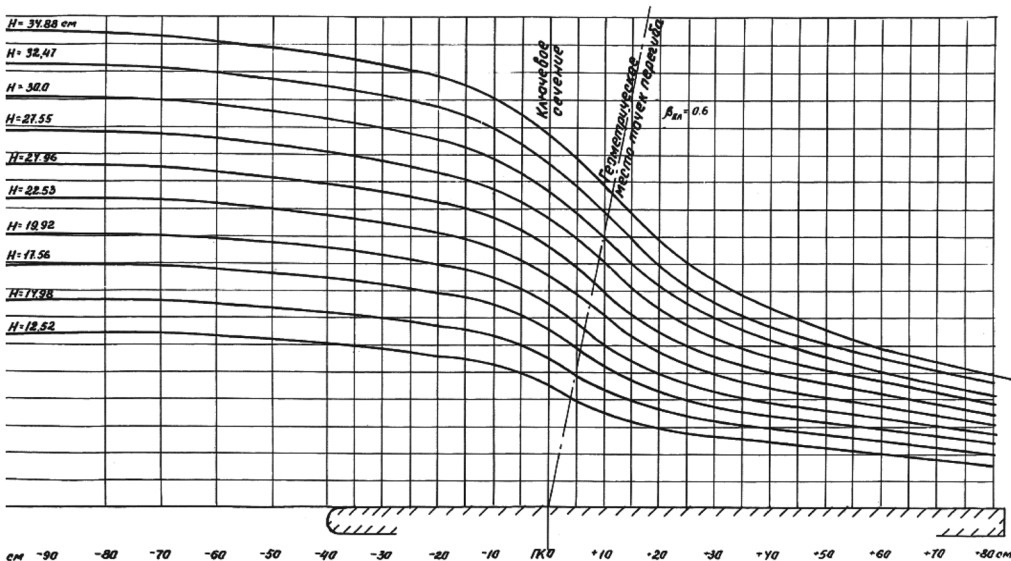


Рис. 6. Формы свободной поверхности воды на водосливе с широким порогом в диапазоне  $\delta/H = 3.5...9.8$  при плановом стеснении  $b_c/b = 0.6$

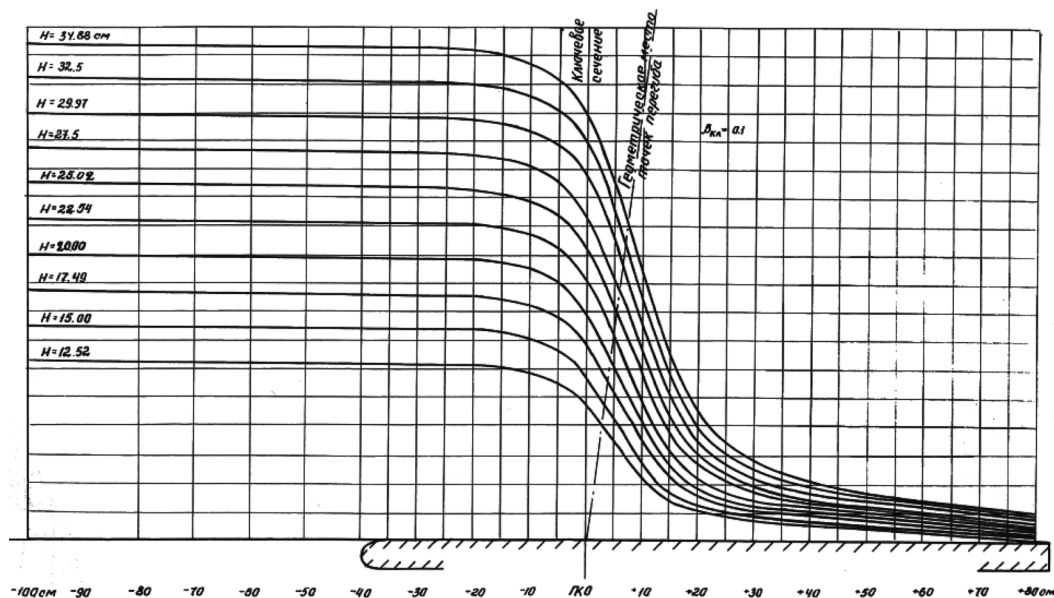


Рис. 7. Формы свободной поверхности воды на водосливе с широким порогом в диапазоне  $h/H_0 = 3.5 \dots 9.8$  при плановом стеснении  $b_c/b = 0.1$

Варианты водослива с широким порогом с плановым стеснением полностью удовлетворяли требованиям 1...3, однако, медленно изменяющегося, а тем более параллельно струйного движения воды здесь не наблюдается.

При определении расхода на водосливе с широким порогом Беланже [20] предполагал распределение давления по глубине потока по гидростатическому закону, в результате чего получил формулу для идеального водослива без потерь энергии в виде, применяемом с тех пор всеми исследователями водосливов с широким порогом:

$$m_0 = k \cdot \sqrt{1 - k}, \quad (1)$$

где  $k = h/H_0$  – относительная глубина на пороге;  $h$  – глубина на пороге;  $H_0$  – напор на пороге.

В реальных условиях движение воды всегда происходит с потерями энергии, которые Бахметьевым Б.А [15] предложено учитывать коэффициентом  $\varphi$ , а уравнение энергии составлять для сечения на конце порога, имеющем гидростатическое распределение энергии, в результате чего формула для коэффициента расхода принимает вид:

$$m = \varphi \cdot m_0 = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}} \cdot k \cdot \sqrt{1 - k}. \quad (2)$$

Однако формула (2) не учитывает того обстоятельства, что фактически поток на водосливе с широким порогом имеет участки с вогнутой и выпуклой поверхностью, на которых в вертикальной плоскости центробежное давление по глубине потока отклоняет распределение

давления от гидростатического закона. Одновременно, касательные к линиям тока в той или иной степени наклонены к горизонту и не параллельны между собой и либо сходятся, либо расходятся, так же отклоняя распределение давления от гидростатического закона. Эти факторы существенным образом влияют на распределение давления внутри потока, вследствие чего глубины потока  $h$  уже не являются мерой его потенциальной энергии, а при расчётах коэффициента расхода нельзя использовать формулу (2). В.В. Смыслов [11] предложил учитывать силы инерции введением коэффициента негидростатичности  $\beta$  в (2):

$$m = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}} \cdot k \cdot \sqrt{1 - \beta \cdot k}. \quad (3)$$

В этом случае, уравнение энергии можно применять к любому сечению потока на пороге водослива.

Следует отметить, что все авторы работ, посвящённых теории водослива с широким порогом, априори принимали гидростатическое распределение давления по глубине потока, либо отыскивают сечения, где такое распределение можно принять.

В качестве иллюстрации применения уравнения (3) были выполнены расчёты коэффициента расхода для напора  $H_0 = 33.9$  см, кривая свободной поверхности которого показана на рисунке 5. По данным экспериментов [17] для этого режима был получен коэффициент расхода  $m = 0.335$ . Для расчёта энергии с учётом негидростатичности распределения давления по глубине

потока, на пороге водослива были установлены пьезометры через 5 см (0.04δ), показания которых позволили определить значения коэффициента β по всей длине водослива. Коэффициент β рассчитывался как среднее значение давления на дно при гидростатическом распределении давления и действительного давления, замеренного

в экспериментах:  $\beta = 0,5 \cdot (1 + p_d/\gamma h)$ . Использование уравнения энергии с учётом негидростатичности позволило вычислить значения коэффициента расхода применительно ко всем сечениям по длине порога. Результаты измерений соответствующих параметров и расчётов коэффициентов расхода приведены в таблице.

Таблица

Расчёты коэффициентов расхода с использованием уравнения энергии, учитывающего силы инерции

Расстояние от входного сечения, X, см	Глубина h, см	Давление на дне p <sub>d</sub> , см. вод. ст.	p <sub>d</sub> /h	β	H <sub>i</sub> , см	φ = H <sub>i</sub> /H <sub>0</sub>	Коэф. расхода m <sub>по</sub> (3)
0	30.1		0.921	0.960			
5	28.8		0.975	0.988			
10	27.7	25	0.903	0.951	3.191	0.941	0.333
15	26	25	0.962	0.981	3.164	0.933	0.330
20	24.9	25	1.004	1.002	3.143	0.927	0.326
25	23.9	25	1.029	1.015	3.122	0.921	0.325
30	23.3	24.6	1.034	1.017	3.108	0.917	0.333
35	22.4	24.1	1.040	1.020	3.085	0.910	0.331
40	21.7	23.3	1.051	1.025	3.065	0.904	0.333
45	21.1	21.9	1.057	1.028	3.046	0.899	0.330
50	20.8	22.8	1.053	1.026	3.036	0.896	0.335
55	20.5	22.3	1.049	1.024	3.026	0.893	0.335
60	20.2	21.9	1.040	1.020	3.015	0.889	0.334
65	19.9	21.5	1.040	1.020	3.004	0.886	0.332
70	19.7	21	1.030	1.015	2.996	0.884	0.335
90	19.3	20.3	1.021	1.010	2.979	0.879	0.334
100	18.9		1.005	1.003	2.975	0.874	0.335
115	18.1		0.967	0.983	2.943	0.862	0.335

Как видно по данным таблицы, для анализа движения воды по водосливу с широким порогом требуется использовать уравнение энергии с учётом влияния сил инерции потока, использование которого позволяет получить идентичные результаты для любого поперечного сечения по длине порога.

Для иллюстрации влияния на распределение давления по глубине потока

искривления линий тока на рисунках 8 и 9 показано изменение в относительных единицах по длине порога глубин и давлений на дно водослива с широким потоком, полученных по экспериментальным данным для напора H<sub>0</sub> = 35 см, при плановом сжатии потока b<sub>c</sub>/b = 0.1. На рисунке 8 показано изменение параметров относительных в долях напора h/H<sub>0</sub> и (p<sub>d</sub>/γ)/H<sub>0</sub>, а на рисунке 9 кривые h/H<sub>0</sub> и давлений p<sub>d</sub>/γh.

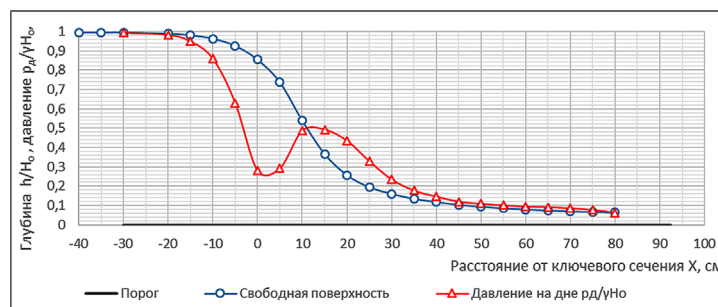


Рис. 8. Изменение по длине порога относительных глубины h/H<sub>0</sub> и давления p<sub>d</sub>/γH<sub>0</sub> на дно водослива с широким потоком при плановом сжатии потока b<sub>c</sub>/b = 0.1

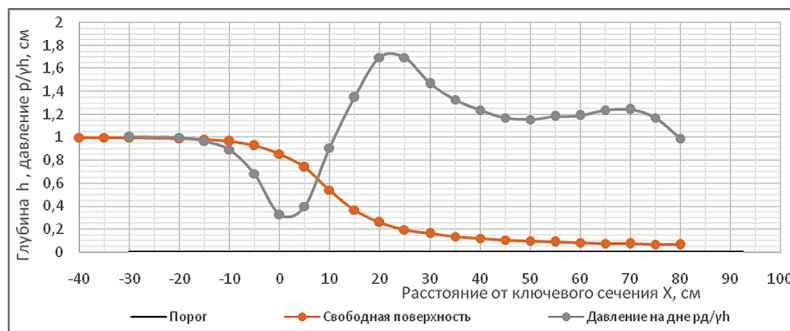


Рис. 9. Сопоставление относительных глубины  $h/H_0$  и давления  $p_0/\gamma h$  на дно водослива с широким потоком при плановом сжатии потока  $b_c/b = 0.1$

Несмотря на наличие работ, в которых предлагается учитывать влияние сил инерции на пропускную способность водослива с широким порогом, основная нормативная литература [19] для расчёта водосливов с широким порогом приводит таблицы, в которых при отсутствии планового и вертикального стеснения потока предельное значение коэффициента расхода составляет  $m_{\max} = 0.385$ , которое получено Беланже [20, 21]

### Выводы

1. Принятые в практике гидравлических расчётов критерии понятия «водослив с широким порогом» могут быть применимы и к ряду других коротких водопропускных сооружений, имеющих горизонтальное дно.
2. Принятие в справочной и нормативной литературе коэффициента расхода  $m = 0.385$  при уменьшении до единицы коэффициента поперечного сжатия потока водосливом с широким порогом противоречит физике явлений при протекании воды через водослив.
3. При расчёте водослива с широким порогом нельзя использовать уравнение энергии медленно изменяющегося движения.
4. Необходимо изучать работу водопропускных сооружений с переменной шириной в плане, подпадающих под определение «водослив с широким порогом».

### Библиографический список

1. Павловский Н.Н. Гидравлический справочник. – М.–Л.: Главная редакция энергетической лит-ры, 1937. – 890 с.
2. Агроскин И.И. Гидравлика. – М.–Л.: Энергия, 1964. – 352 с.
3. Чугаев Р.Р. Гидравлика. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.
4. Чугаев Р.Р. Гидравлические термины. – М.: Высшая школа, 1974. – 104 с.

5. Евреинов В.Н. Гидравлика. – Л.–М.: Минречфлот СССР, 1947. – 740 с.

6. Березинский А.Р. Пропускная способность водослива с широким порогом. – М.: Стройиздат, 1950. – 186 с.

7. Есьман И.Г. Гидравлика. – Баку: Госиздат нефтяной и горно-топливной литературы. Аз. отд., 1952. – 332 с.

8. Зуйков А.Л. Гидравлика: учебник в 2 т. Т. 1: Основы механики жидкости. – М.: МГСУ, 2014. – 518 с.

9. СО 34.21.308-2005. Гидротехника основные понятия. термины и определения. [http://snipov.net/c\\_4680\\_snip\\_111294.html](http://snipov.net/c_4680_snip_111294.html)

10. Водослив с широким порогом. / Г.И. Сухомел, И.Л. Розовский, М.М. Дидковский и др. – Киев: Изд. АН УССР, 1949. – 78 с.

11. Смыслов В.В. Теория водослива с широким порогом. – Киев: Изд-во Акад. наук УССР, 1956. – 246 с.

12. Маккавеев В.М., Коновалов И.М. Гидравлика. – Л.–М.: Речиздат, 1940. – 644 с.

13. Даль В.И. Толковый словарь живого великорусского языка в 2 т. 1 т. – М.: Госиздат иностранных и национальных словарей, 1953. – 699 с.

14. Ожегов С.И., Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка. – М.: Изд-во: Аз, 1996. – 928 с.

15. Бахметев Б.А. Гидравлика. Ч. II. Расчет кривых свободной поверхности по участкам канала. – СПб.: 1913.

16. Лабораторные гидравлические исследования турбинного блока Нижне-Камской ГЭС с вертикальным гидроагрегатом. Научно-техн. отчёт. – М.: НиС МГМИ, 1965.

17. Гурьев А.П. Гидравлика безнапорных водосбросов совмещённых ГЭС. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – М.: МГМИ, 1969.

18. Пропускная способность водосбросов гидроэлектростанций / В.С. Серков,

А.С. Воробьёв, А.П. Гурьев, и др. – М.: Энергия, 1974. – 120 с.

19. Рекомендации по гидравлическому расчёту водосливов. Ч. 1. Прямые водосливы. П 18-74 (ВНИИГ) – М.: Энергия, 1974. – 58 с.

20. Essai sur la solution numérique de quelques problèmes relatifs au mouvement permanent des eaux courantes. 1828. ru.wikipedia.org Беланже, Жан-Батист.

21. Koch A., Karstanyen M. Bewegung des Wassers und dabei auftretende Kräfte. Berlin, «I. Springer», 1927.

Материал поступил в редакцию 22.10.2019 г.

#### Сведения об авторах

**Гурьев Алим Петрович**, доктор технических наук, профессор, АО «Институт

Гидропроект»; 125382; г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 2; e-mail: alim\_guryev@mail.ru

**Беглярова Эвелина Суреновна**, кандидат технических наук, профессор кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19.

**Бакштанин Александр Михайлович**, доцент, кандидат технических наук; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: bakshtanin@mail.ru

**Хаек Б.А.**, магистр, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; 127550, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: bushra.hayek@gmail.com

**A.P. GURYEV, E.S. BEGLYAROVA, A.M. BAKHTANIN, B.A. HAYEK**

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

## SOME DISCREPANCIES OF THE MODERN CALCULATION THEORY OF THE BROAD-CRESTED WEIR

*The article is devoted to the analysis of the existing methodology for calculating of a broad-crested spillway which is based on the assumption of the establishment of parallel-jet movement of water on the threshold. To derive calculated dependencies there is used a technique for calculating slowly varying motion. However, in the theory of calculating flows with non-uniform movement of water, it was shown that in a channel with a horizontal bottom there can be no parallel-jet movement of water, and the use of the method of calculating slowly changing movement is not applicable due to the presence of significant inertia forces in the depth of the stream. To take into account the inertia forces when calculating a broad-crested spillway, one should use the energy equation that takes into account the non-hydrostatic distribution of pressure from the curvature and convergence of streamlines.*

*Broad-crested spillway, slowly changing flow, non-hydrostatic pressure changes, flow coefficient.*

#### References

1. Pavlovsky N.N. Gidravlichesky spravochnik energeticheskoy literatury, 1937. – 890 s. – М.–Л.: Glavnaya redaktsiya.

2. Agroskin I.I. Gidravlika. – М.–Л.: Energiya, 1964. – 352 s.

3. Chugaev R.R. Gidravlika. – L.: Energoizdat L.O, 1982. – 672 s.

4. Chugaev R.R. Gidravlicheskie terminy. – М.: Vysshaya shkola, 1974. – 104 s.

5. Evreinov V.N. Gidravlika. – L.–М.: Minrechflot SSSR, 1947. – 740 s.

6. Berezinsky A.R. Propusknaya sposobnost vodosliva s shirokim porogom. – М.: Stroizdat. 1950. – 186 s.

7. Esjman I.G. Gidravlika. – Baku: Gosizdat neftyanoy i gorno-toplivnoy literatury. Az. otd., 1952. – 332 s.

8. Zuikov A.L. Gidravlika: uchebnik; v 2 t. T. 1: Osnovy mehaniki zhidkosti. – М.: MGSU. 2014. – 518 s.

9. SO 34.21.308-2005. Gidrotehnika, osnovnye ponyatiya, terminy i opredeleniya. [http://snipov.net/c\\_4680\\_snip\\_111294.html](http://snipov.net/c_4680_snip_111294.html)

10. Vodosliv s shirokim porogom. / G.I. Suhomel, I.L. Rozovsky, M.M. Didkovsky i dr. – Kiev: Izd. AN USSR, 1949. – 78 s.

11. Smyslov V.V. Teoriya vodosliva s shirokim porogom. – Kiev: Izd-vo Akad. nauk USSR, 1956. – 246 s.

12. Makkaveev V.M., Konovalov I.M. Gidravlika. – L.–М.: Rechizdat, 1940. – 644 s.

13. Dal V.I. Tolkovy slovar zhivogo velikorusskogo yazyka v 2 t. 1 t. – М.: Gosizdat inostrannyh i natsionalnyh slovarej. 1953. – 699 s.



14. Ozhegov S.I., Shvedova N.Yu. Tolkovy slovar russkogo yazyka. – M.: Izd-vo: Az, 1996. – 928 s.

15. Bahmetev B.A. Gidravlika. Ch.II. Raschet krivyh svobodnoj poverhnosti po uchastkam kanala. – 1913.

16. Laboratornye gidravlicheskie issledovaniya turbinnogo bloka Nizhne-Kamskoj GES s vertikalnym gidroagregatom. Nauchno-tehnicheskij otchet. – M.: NiS MGMI, 1965.

17. Gurjev A.P. Gidravlika beznapornyh vodosbrosov sovmeshchennyh GES. Dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk. – M.: MGM. – 1969.

18. Gurjev A.P. Propusknaya sposobnost vodosbrosov gidroelektrostantsij / V.S. Serkov, A.S. Vorobjev, A.P. Gurjev i dr. – M.: Energiya, 1974. – 120 sc.

19. Rekomendatsii po gidravlicheskomu raschetu vodoslivov. Chast 1. Pryamye vodoslivi. P 18-74 (VNIIG) – M.: Energiya, 1974. – 58 s.

20. Essai sur la solution numérique de quelques problèmes relatifs au mouvement permanent des eaux courantes. 1828. ru.wikipedia.org/Беланже, Жан-Батист.

21. Koch A., Karstanyen M. Bewegung des Wassers und dabeiauftretende Kräfte. Brlin, «I. Springer», 1927.

The material was received at the editorial office  
22.10.2019 g.

#### Information about the authors

**Gurjev Alim Petrovich**, doctor of technical sciences, professor, AO «Institute Hydroproject»; 125382, Moscow, Volokolamskoe shosse, 2; e-mail: alim\_guryev@mail.ru

**Beglyarova Evelina Surenovna**, candidate of technical sciences, professor of the department of complex usage of water resources and hydraulics; FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19.

**Bakshtanin Alexander Mikhailovich**, associate professor, candidate of technical sciences, FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, Timiryazevskaya ul., 49.; e-mail: bakshtanin@mail.ru

**Hayek B.A.**, master, RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev, Institute of land reclamation, water economy and building named after A.N. Kostyakov; 127550, Moscow, Timiryazevskaya ul., 49.; e-mail: bushra.hayek@gmail.com

УДК 502/504:627.81:556.18

DOI 10.34677/1997-6011/2019-5-98-106

**Л.Д. РАТКОВИЧ, И.Ж. АТАБИЕВ, А.А. ИВАНОВ, Ю.А. БОВИНА**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

## РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ ТРАНСГРАНИЧНОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ ОГРАНИЧЕННОГО КОНТРОЛЯ ВНЕШНЕГО ПРИТОКА

*Исследование проблем трансграничных водных объектов является одним из наиболее актуальных научно-практических направлений в изучении вопросов рационального водопользования и совместного использования водных ресурсов пограничными странами. Помимо многих нерешенных вопросов в водном секторе, эта тема неизменно связана с политическими интересами. Возрастает значение как методических, так и гуманитарных подходов в рамках международного права. Особое значение приобретают конкретные варианты решения существующих и возникающих трансграничных проблем. Протяженность речных и озерных границ России составляет около восьми тысяч километров, но по-настоящему напряженных точек не так много. В их числе, на наш взгляд, трансграничные участки на реках Амур, Иртыш, Тобол, Селенга, Северский Донец, Самур. Особенно сложными являются те водохозяйственные участки, внешний приток к которым не может быть определен с достаточной степенью достоверности и практически не контролируется. К таким акваториям, безусловно, относятся бассейны рек Иртыш, Тобол и Северский Донец. Ситуация на этих объектах обсуждается в работе с точки зрения методики водохозяйственного обоснования и практического решения трансграничных проблем. Более подробно рассматривается участок реки Северский Донец в пределах Украины. Предлагается дотация части стока*