

Ю.М. КОСИЧЕНКО

Е.Д. МИХАЙЛОВ

О.А. БАЕВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОСЛИВА С ШИРОКИМ ПОРОГОМ РЕЗЕРВНОГО ВОДОСБРОСА

AN EXPERIMENTAL RESEARCH OF A SPILLWAY WITH A WIDE THRESHOLD OF A RESERVE WATER OUTLET

Целью данной работы является экспериментальное исследование водослива с широким порогом. Для определения основных характеристик водослива используются общепринятые методы гидравлических расчетов. В статье представлены экспериментальные данные водослива с широким порогом при $\delta/H > 8 \dots 10$, полученные в лаборатории кафедры гидротехнических сооружений и строительной механики Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» (НИМИ ДГАУ) на гидравлическом лотке. Выведены основные зависимости для случая протекания воды через водослив с широким порогом для плоской задачи. Полученные экспериментальные значения коэффициента расхода на водосливе с широким порогом при $\delta/H > 8 \dots 10$ находятся в пределах $0,303 \leq m_{\text{ср}} \leq 0,305$ с относительной ошибкой от 0,0242 до -0,0076 %. На основании проведенных экспериментальных исследований с использованием известной формулы Х.А. Тибара авторами получена уточненная зависимость для определения коэффициента расхода водослива с широким порогом. В результате математической обработки экспериментальных данных в компьютерной программе Microsoft Excel также получена новая эмпирическая зависимость вида $m=f(P/H)$.

Ключевые слова: водослив с широким порогом, резервный водосброс, коэффициент расхода, относительная ошибка.

На гидроузлах мелиоративного назначения помимо основного водосбросного сооружения [1-3] применяют резервные водосбросы, представляющие собой водосливы с широким порогом прямоугольного или трапециoidalного сечения. В состав резервного водосброса может быть включена размываемая вставка, которая представляет собой легко размываемый материал, отсыпанный на водослив с широким порогом в теле плотины, размываемой при подъеме уровня воды в верхнем бьефе до некоторой критиче-

The aim of this paper is to introduce results of an experimental research of a spillway with a wide threshold. To identify this spillway main characteristics the authors use traditional methods of hydraulic calculations. The paper presents experimental data of a spillway with a wide threshold at $\delta/H > 8 \dots 10$ which were obtained on a hydraulic tray in the laboratory of hydro technical structures and structural engineering of Don State Agrarian University named after A.K. Kortunov. The research demonstrates basic dependences for the event of water leakage through a spillway with a wide threshold for a flat stress problem. The obtained values of discharge coefficient for a spillway with a wide threshold at $\delta/H > 8 \dots 10$ are within the limits of $0,303 \leq m_{\text{ср}} \leq 0,305$ with a relative error 0.0242-0.0076%. Taking in account experimental studies and using a well-known formula by H.A. Tibara the authors specified the dependence for calculating discharge coefficient for a spillway with a wide threshold. The experimental results were mathematically processed by Microsoft Excel, and a new empirical dependence $m=f(P/H)$ was introduced.

Key words: spillway with a wide threshold, reserve water outlet, discharge coefficient, relative error.

ской отметки [4]. После размыва вставки водосбросное сооружение работает как водослив с широким порогом [5-9]. Исследованием движения жидкости на водосливе с широким порогом занимались в разные периоды времени М.М. Скиба, В.В. Смыслов, М.Д. Чертоусов, Ф.И. Пикалов, Д.И. Кумин, Р.Р. Чугаев, А.Р. Березинский и др.

Актуальность проведения экспериментальных исследований обусловлена тем, что резервный водосброс после пропуска паводковых вод и размыва



Рис. 1. Экспериментальная модель водослива с широким порогом

легкоразрушаемой вставки работает как водослив с широким порогом.

В лаборатории кафедры гидротехнических сооружений и строительной механики ДГАУ НИМИ им. А.К. Кортунова нами проведены экспериментальные исследования на гидравлическом лотке плоской прямоугольной формы с остекленными стенками и размерами 4 x 0,12 x 0,8 м. Экспериментальная модель представляет собой водослив с широким порогом. Масштаб модели 1:25. Размер модели в поперечном сечении: ширина по гребню 0,12 м, высота 0,4 м, заложение верхового откоса порога 1:3,0, а низового 1:2,0. Водослив из песчаных грунтов покрыт полимерной черной пленкой (рис. 1) [10-11].

Водосливом с широким порогом называется водослив с горизонтальным гребнем при $\delta > (2-3)H$. На практике обычно величину δ горизонтального порога принимают в пределах $\delta = (3-10)H$ [12]. При очень большой величине $\delta (\delta > H)$ движение потока вдоль порога следует рассматривать как течение в гидравлическом лотке с горизонтальным дном, что имеет место при $\delta/H > 8-10$, поэтому необходимо учитывать потери по длине как в коротком канале.

На основании ранее проведенных исследований советскими учеными, движение воды на водосливах с широким порогом в лабораторных условиях показывает, что свободная поверхность в зависимости от ширины порога водослива может быть трех основных типов [13]. Первый тип свободной поверхности обусловлен малой относительной шириной порога $2 < \delta/H \leq 3-4$, второй тип наблюдается при $\delta/H \approx 8-10$ и третий тип – при $\delta/H > 8-10$. Рассмотрим водослив с широким порогом относительной ширины $\delta/H > 8-10$,

при которой устанавливается третий тип свободной поверхности, что соответствует нашей модели водослива в гидравлическом лотке.

Третий тип свободной поверхности имеет три характерные глубины: сжатая в начале водослива h_c , сопряженная с ней волновая глубина спокойного потока $h_s > h_{кр}$ и, наконец, при спаде уровня воды в конце порога до конечной глубины – критической $h_{кр}$, которая устанавливается как в коротких водосливах первого типа на расстоянии около двух-трех $h_{кр}$ до конца водослива (рис. 2).

Выведем основные зависимости для случая протекания воды через водослив для плоской задачи [14]. Пространственную работу водослива учтем отдельно. Водослив с широким порогом считается неподтопленным, так как выполняется условие, при котором перепад $z > H - h_{кр}$. Запишем уравнение Бернулли для двух сечений, приняв за плоскость сравнения поверхность широкого порога $0 - 0$. Первое сечение 1 – 1 рассмотрим в верхнем бьефе на достаточном расстоянии от водослива, чтобы на свободную поверхность здесь не оказывал влияние спад у порога водослива, а второе сечение 2 – 2 примем в произвольном створе на водосливе в области спокойного течения. Поскольку $\delta/H > 8-10$, то во втором сечении помимо местных сопротивлений необходимо учитывать потери и по длине, как в коротком канале. Тогда уравнение Бернулли принимает вид:

$$H + \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2g} = h + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2g} + \frac{v_1^2}{2g} \sum \zeta, \quad (1)$$

где H – геометрический напор на водосливе в сечении 1 – 1 ($H = H_p - P$);

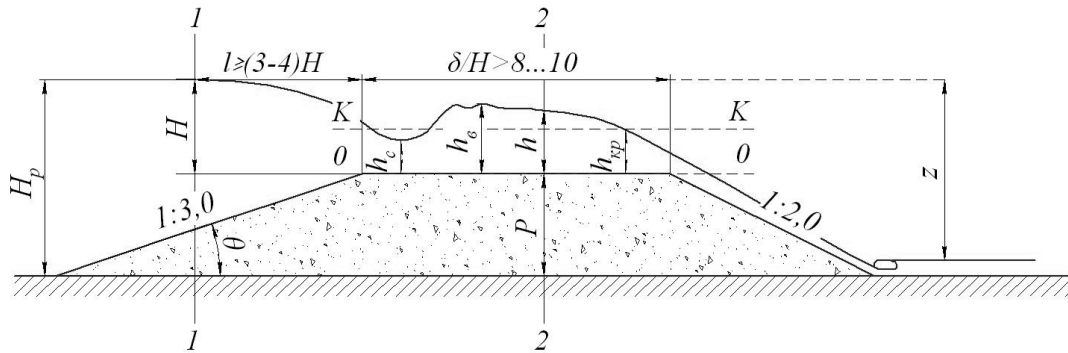


Рис. 2. Схема модели водослива с широким порогом

v_0 – скорость подхода к водосливу $\left(H_0 = H + \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2g} \right)$;

α – коэффициент Кориолиса, учитывающий неравномерность распределения скоростей (принимается в интервале от 1,05 до 1,1);

h – глубина в сечении 2 – 2;

v_1 – скорость на водосливе;

$\sum \zeta$ – суммарный коэффициент гидравлических сопротивлений при поступлении воды на порог и при ее движении по последнему до сечения 2 – 2 ($\sum \zeta = \zeta_i + \zeta_l$).

Еще в XIX веке Беланже [13] получил зависимость для расхода воды через водослив с широким порогом прямоугольного сечения на основе уравнения Бернулли:

$$Q = m \cdot b \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2}, \quad (2)$$

где H_0 – напор с учетом скорости подхода;

$m = \varphi \cdot k \sqrt{1 - k}$ – коэффициент расхода водослива с широким порогом;

b – ширина водослива;

$k = h / H_0$ – относительная глубина на пороге водослива.

Расход жидкости на модели определялся положением уровня воды относительно порога (гребня) водослива. Так как перед водосливом наблюдается значительное понижение уровня, то измерение напора H на пороге водослива производится с помощью игольчатого уровнемера в створе, расположенном перед водосливом на расстоянии $l \geq (3-4) \cdot H$. Напор на водосливе H , необходимый для дальнейшего расчета расхода, определяется по двум отсчетам уровнемера [15]:

$$H = \nabla_1 - \nabla_0, \quad (3)$$

где ∇_1 – отсчет уровня жидкости в опыте по уровнемеру, мм;

∇_0 – отсчет по уровнемеру, называемый «нулем водослива», при условии, что конец мерной иглы уровнемера располагается на отметке гребня водослива, мм.

«Нуль водослива» определялся с большой точностью (как правило, до десятых долей мм) заранее, до начала проведения основных опытов, с помощью нивелирования. Малая точность в определении «нуля» может привести к значительным погрешностям в определении расходов, в особенности небольших [15].

Расход на модели определяется по времени наполнения мерного бака или емкости (объемный способ), тщательно протарированного по объему:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (4)$$

где V – объем набранной жидкости за время t ;

t – время наполнения мерного бака.

Скорость подхода к водосливу определяется расчетом по известной формуле:

$$v_0 = \frac{Q}{B \cdot H_p}, \quad (5)$$

где B – ширина гидравлического лотка, 0,12 м;

H_p – глубина воды в водосбросе.

Скорость на водосливе также определяется расчетом по следующей формуле:

$$v_1 = \frac{Q}{b \cdot h}, \quad (6)$$

где b – ширина водослива, 0,12 м;

h – глубина воды на пороге водослива.

Напор с учетом скорости подхода потока жидкости, а также местных потерь в коротком канале и потерь по длине определяется по следующей формуле:

$$H_0 = H + \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2 \cdot g} + h_w, \quad (7)$$

где h_w – потери напора на преодоление сил сопротивления при поступлении воды на порог и при ее движении по последнему до сечения 2 – 2.

Потери напора на преодоление сил сопротивления определяются по формуле

$$h_w = h_l + h_m, \quad (8)$$

где h_l – потери напора по длине;

h_m – местные потери напора.

В условиях плоской задачи местные потери напора h_l включают в себя только относительное сжатие потока в вертикальной плоскости, а относительное сжатие по горизонтали будет отсутствовать. Для определения потерь напора по длине в коротком канале применяем формулу Дарси-Вейсбаха для открытых русел:

$$h_l = \frac{v_1^2}{C^2 \cdot R} \cdot L, \quad (9)$$

где C – коэффициент Шези;

L – длина короткого канала на пороге водослива, 1,31 м;

R – гидравлический радиус.

Гидравлический радиус определяется для прямоугольного сечения открытого короткого канала по следующей формуле:

$$R = \frac{b \cdot h}{b + 2 \cdot h}, \quad (10)$$

где b – ширина водослива;

h – глубина на пороге водослива.

Преобладающее влияние сил сопротивления трения проявляется при движении воды в реках, каналах и трубах. В таких случаях движение потока воды моделируется по критерию Рейнольдса. Для всех поперечных сечений, а именно для открытых русел число Рейнольдса определяется по формуле

$$Re = \frac{v \cdot R}{\nu}, \quad (11)$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости при $t = 20$ °С.

По справочнику [12] критическое значение числа Рейнольдса составляет $Re_{кр} = 500 - 600$. Одной из основных формул для определения коэффициента Шези C является формула Н.Н. Павловского для открытых русел:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y, \quad (12)$$

где n – коэффициент шероховатости;

y – функция коэффициента шероховатости и гидравлического радиуса.

По указанию Н.Н. Павловского приближенно можно считать, что при $R < 1$ $y = 1,5 \cdot \sqrt{n}$, а при $R > 1$ $y = 1,3 \cdot \sqrt{n}$. Связь между коэффициентом сопротивления по длине λ и коэффициентом Шези C имеет вид:

$$\lambda = \frac{8 \cdot g}{C^2}. \quad (13)$$

Коэффициент расхода для модели водослива с широким порогом составит:

$$m_{on} = \frac{Q_{on}}{b \sqrt{2gH_0^{3/2}}}. \quad (14)$$

Относительная ошибка (расхождение) между опытным и расчетным коэффициентом расхода для водослива с широким порогом определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{(m_{on} - m_{расч})}{m_{on}} \cdot 100, \%. \quad (15)$$

Относительная ошибка не должна превышать 5-10 % [15]. Значение коэффициента расхода $m_{ср}$ по справочнику [12] находится в пределах $0,3 \leq m_{ср} \leq 0,385$. Данные лабораторных исследований по определению коэффициента расхода представлены в табл. 1.

Число Рейнольдса является критерием, определяющим режим движения потока. На основе проведенных расчетов значение числа Рейнольдса изменялось от 2259 до 3883, что соответствует турбулентному режиму течения жидкости. Исходя из полученных данных опытным путем, следует, что коэффициент расхода находится в пределах справочных значений [12] и изменяется в пределах $0,303 \leq m_{ср} \leq 0,305$. Для решения задачи о движении потока через незатопленные водосливы с широким порогом М. Д. Чертоусов получил уравнение [13]:

$$q = m \sqrt{2gH}^{3/2}, \quad (16)$$

где q – удельный расход через водослив, ($q = Q/b$).

Коэффициент расхода, по данным М.Д. Чертоусова, определяется по формуле

$$m = \frac{m_r}{(1 + \sigma^2 \cdot m_r^2)^{3/2}}, \quad (17)$$

где m_r – значение коэффициента расхода без учета скорости подхода, 0,3 [17].

Относительное сжатие потока при поступлении его из русла на водослив определяется по общеизвестной формуле [13]:

$$\sigma = \frac{b \cdot H}{B \cdot (H + P)}, \quad (18)$$

где B – ширина прямоугольного подводящего русла или средняя ширина живого сечения непрямоугольного русла;

P – высота порога со стороны верхнего бьефа.

Относительная глубина воды на пороге определяется по формуле

$$\varphi = h/H, \quad (19)$$

где h – глубина воды на пороге водослива;

H – напор на водосливе.

В условиях плоской задачи, когда $b = B$, коэффициент сжатия σ составляет:

$$\sigma = \frac{H}{H + P} = \frac{1}{1 + P/H}. \quad (20)$$

Уравнение М.Д. Чертоусова (17), по данным Х.А. Тибара [13], хорошо согласуется с его экспериментальной зависимостью

$$m = 0,3 + 0,085 \cdot \sigma, \quad (21)$$

где σ – определяется по зависимости (20).

Принимая за основу обобщающую формулу (21), запишем ее в общем виде:

$$m = A + B \cdot \sigma, \quad (22)$$

где A, B – постоянные величины, определяемые по опытными данным.

Используя зависимость (22) и определяя в ней постоянные величины A и B , найдем эмпирическую формулу применительно к водосливам с широким порогом при $\delta/H > 8-10$. Прежде определим относительное сжатие потока σ по уравнению (20) и расчетный коэффициент расхода $m_{расч}$ по формуле (21) (табл. 2).

Формула (22) будет уже отличаться от известной зависимости Х.А. Тибара (21), во-первых, другими значениями постоянных A и B , которые характерны для водослива с широким порогом, а во-вторых, тем, что она применима для плоской задачи, когда $b=B$.

Для определения постоянных A и B используем данные лабораторных гидравлических исследований водослива с широким порогом при $\delta/H > 8-10$, которые приведены в табл. 1 и 2 во всем диапазоне изменения от максимального до минимального расхода на данной модели. Принимая в общей зависимости (22) найденные на основе лабораторных исследований значения гидравлических параметров m и σ для максимального и минимального расхода, получим два уравнения:

$$0,3036 = A + B \cdot 0,0389, \quad (23)$$

$$0,3048 = A + B \cdot 0,0588. \quad (24)$$

Решая совместно последние уравнения (23) и (24), найдем $A=0,3012$ и $B=0,3012$. Тогда окончатель-

Таблица 1

Данные лабораторных исследований по определению коэффициента расхода

∇_1 , дм	∇_0 , дм	P , дм	H , дм	$\frac{P}{H}$	$H_{гр}$, дм	Q , л/с	$v_{гр}$, дм/с	h , дм	v , дм/с	R , м	Re	C_f , м ^{0,5} /с	λ	$h_{вр}$, м	H_{0r} , дм	$m_{от}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1,56	1,40	4,0	0,16	24,69	4,16	0,3330	0,0667	0,132	2,10	0,0108	2258,85	28,99	0,093	0,0000064	0,1621	0,3036
1,57	1,40	4,0	0,17	23,53	4,17	0,3581	0,0716	0,140	2,13	0,0114	2402,83	29,24	0,092	0,0000069	0,1701	0,3037
1,57	1,40	4,0	0,17	23,26	4,17	0,3645	0,0728	0,142	2,14	0,0115	2438,99	29,31	0,091	0,0000070	0,1721	0,3037
1,57	1,40	4,0	0,18	22,86	4,18	0,3741	0,0747	0,145	2,15	0,0117	2493,35	29,40	0,091	0,0000072	0,1751	0,3038
1,58	1,40	4,0	0,18	22,22	4,18	0,3904	0,0778	0,150	2,17	0,0120	2584,25	29,54	0,090	0,0000076	0,1801	0,3038
1,58	1,40	4,0	0,18	21,98	4,18	0,3969	0,0791	0,152	2,18	0,0121	2620,72	29,60	0,090	0,0000077	0,1821	0,3038
1,59	1,40	4,0	0,19	21,05	4,19	0,4235	0,0842	0,160	2,21	0,0126	2767,08	29,82	0,088	0,0000083	0,1901	0,3040
1,60	1,40	4,0	0,20	20,00	4,20	0,4577	0,0908	0,170	2,24	0,0132	2951,10	30,09	0,087	0,0000090	0,2001	0,3041
1,61	1,40	4,0	0,22	18,60	4,22	0,5105	0,1009	0,185	2,30	0,0141	3228,99	30,45	0,085	0,0000102	0,2152	0,3043
1,65	1,40	4,0	0,25	16,00	4,25	0,6413	0,1258	0,220	2,43	0,0161	3883,45	31,19	0,081	0,0000132	0,2502	0,3048
1,65	1,40	4,0	0,25	16,00	4,25	0,6413	0,1258	0,220	2,43	0,0161	3883,45	31,19	0,081	0,0000132	0,2502	0,3048

Таблица 2

Результаты экспериментальных данных лабораторных исследований

∇_1 , см	∇_0 , см	P , см	H , см	$\frac{P}{H}$	σ	$m_{расч}$	$m_{оп}$	ε , %
1	2	3	4	5	6	9	8	10
15,6	14,0	40,0	1,6	24,7	0,03890	0,30355	0,3036	0,0179
15,7	14,0	40,0	1,7	23,5	0,04080	0,30366	0,3037	0,0131
15,7	14,0	40,0	1,7	23,3	0,04120	0,30368	0,3037	0,0051
15,7	14,0	40,0	1,8	22,9	0,04190	0,30373	0,3038	0,0242
15,8	14,0	40,0	1,8	22,2	0,04310	0,30380	0,3038	0,0004
15,8	14,0	40,0	1,8	22,0	0,04350	0,30382	0,3038	-0,0076
15,9	14,0	40,0	1,9	21,1	0,04530	0,30393	0,3040	0,0225
16,0	14,0	40,0	2,0	20,0	0,04760	0,30407	0,3041	0,0098
16,1	14,0	40,0	2,2	18,6	0,05100	0,30428	0,3043	0,0081
16,5	14,0	40,0	2,5	16,0	0,05880	0,30475	0,3048	0,0178
16,5	14,0	40,0	2,5	16,0	0,05880	0,30475	0,3048	0,0178

Таблица 3

Значения коэффициента расхода m по формулам различных авторов

φ	σ	P/H	Значение m по уравнениям			
			Ф.И. Пикалова	М.Д. Чертоусова	А.Р. Березинского	Х. А. Тибара
0,895	0	∞	0,3	0,3	–	0,3
0,915	0,25	3	0,324	0,32	0,32	0,321
0,92	0,334	2	0,329	0,328	0,325	0,328
0,925	0,41	1,44	0,334	0,332	0,33	0,335
0,93	0,5	1	0,339	0,341	0,337	0,343
0,945	0,59	0,695	0,352	0,349	0,344	0,35
0,95	2/3	0,5	0,357	0,356	0,35	0,357
0,97	0,825	0,112	0,37	0,368	0,365	0,37
0,99	0,94	0,064	0,381	0,379	0,378	0,38

ная формула для расчета водослива с широким порогом при $\delta/H > 8-10$ получит вид:

$$m = 0,3012 + 0,0603 \cdot \sigma. \quad (25)$$

Хотя по структуре новая формула (25) аналогична формуле Х.А. Тибара (21), тем не менее постоянные A и особенно B , входящие в нее, отличаются численными значениями. Подставляя в формулу (25) значения параметров A и B при максимальном и минимальном расходах, найдем значения расчетных коэффициентов расхода, которые приведены в

табл. 2. Проведем теперь проверку полученной формулы с лабораторными данными, представленными в табл. 2.

Отклонение результатов расчета $m_{расч}$ с опытными значениями $m_{оп}$ составляют от 0,0242 до – 0,0076 %, что можно считать вполне приемлемой точностью. Коэффициент расхода водосливов с широким порогом на основе исследований Ф.И. Пикалова, М.Д. Чертоусова, А.Р. Березинского, Х.А. Тибара находится в пределах от 0,3 до 0,38 [16]. Исходя из полученных данных в процессе лабораторных иссле-

дований, видно, что при стремлении коэффициента расхода к значению 0,3 отношение высоты порога к напору на водосливе P/H растет, также это заметно и в экспериментальных данных, полученных Ф.И. Пикаловым, М.Д. Чертоусовым, А.Р. Березинским, Х.А. Тибаром (табл. 3).

Полученный опытным путем коэффициент расхода $m_{он}$ находится в пределах $0,303 < m_{он} < 0,305$. На основе полученных данных построим график зависимости $m=f(P/H)$ (рис. 3) и получим новую эмпирическую формулу степенного вида для коэффициента расхода водослива с достоверностью аппроксимации $R^2=0,9927$:

$$m = 0,3127(P/H)^{-0,009} \quad (26)$$

Березинский, в результате обработки большого количества данных своих опытов и данных, опубликованных в литературных источниках, пришел к выводу, что коэффициент расхода для плоских водосливов с острой входной кромки порога определяется по следующей зависимости:

$$m = 0,32 + \frac{3 - P/H}{46 + 75 \cdot P/H} \quad (27)$$

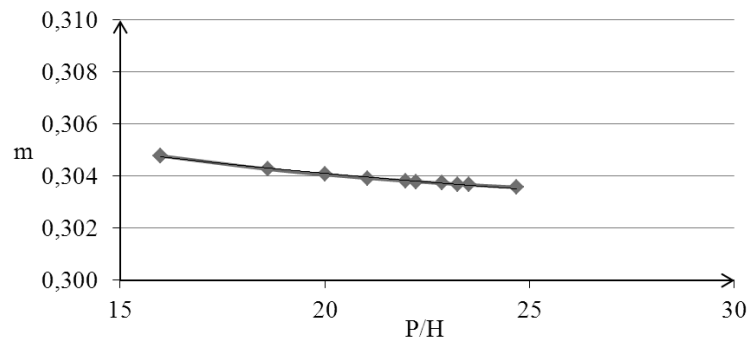
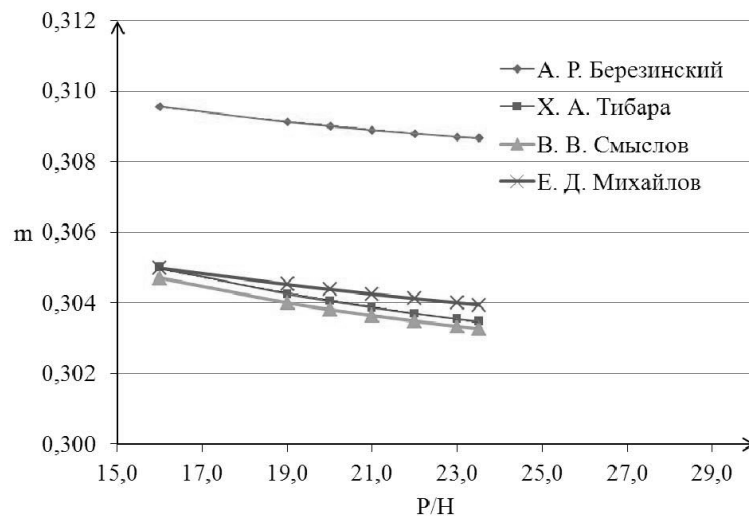
Для неплавных очертаний входа и при отсутствии бокового сжатия коэффициент расхода можно также определить по формуле В. В. Смыслова:

$$m = 0,30 + \frac{0,08}{(1 + P/H)} \quad (28)$$

Подставляя значения P/H из табл. 2 в формулы (21), (26-28), получим расчетные значения коэффициента расхода.

По данным, представленным в табл. 4, построим график зависимости $m=f(P/H)$ (рис. 4).

Отклонения результатов расчета $m_{расч}$ от опытного значения $0,303 < m_{он} < 0,305$ составляют по формуле А.Р. Березинского от -1,497 до -1,202 %, Х.А. Тибара от 0 до 0,502 %, В.В. Смыслова от 0,096 до 0,569 % и Е.Д. Михайлова от 0,002 до 0,347 %, что можно считать приемлемой точностью.

Рис. 3. Эмпирическая зависимость $m=f(P/H)$ Рис. 4. График зависимости $m=f(P/H)$

Расчетные значения коэффициента расхода

P/H	$m_{расч}$				Относительная ошибка δ , %			
	А.Р. Березинского	Х.А. Тибара	В.В. Смылова	Е.Д. Михайлова	А.Р. Березинского	Х.А. Тибара	В.В. Смылова	Е.Д. Михайлова
1	2	3	4	5	6	7	8	9
23,5	0,309	0,303	0,303	0,304	-1,202	0,502	0,569	0,347
23,0	0,309	0,304	0,303	0,304	-1,215	0,478	0,546	0,328
22,0	0,309	0,304	0,303	0,304	-1,245	0,428	0,499	0,288
21,0	0,309	0,304	0,304	0,304	-1,277	0,373	0,447	0,247
20,0	0,309	0,304	0,304	0,304	-1,313	0,312	0,390	0,203
19,0	0,309	0,304	0,304	0,305	-1,352	0,246	0,328	0,157
16,0	0,310	0,305	0,305	0,305	-1,497	0,000	0,096	0,002

Выводы. 1. Полученные экспериментальным путем значения коэффициента расхода на водосливе с широким порогом при $\delta/H > 8-10$ находятся в пределах $0,303 \leq m_{расч} \leq 0,305$ с относительной ошибкой от 0,0242 до -0,0076 %.

2. На основании проведенных экспериментальных исследований авторами получена уточненная формула Е.Д. Михайлова для расчета водослива с широким порогом при $\delta/H > 8-10$.

3. В результате математической обработки экспериментальных данных в компьютерной программе Microsoft Excel также получена новая эмпирическая зависимость вида $m=f(P/H)$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рассказов Л.Н., Орехов В.Г., Анискин Н.А. Гидротехнические сооружения. М.: Ассоциация строительных вузов, 2008. 576 с.
2. Бальзанников М.И., Родионов М.В., Сеницкий Ю.Э. Повышение эксплуатационной надежности низконапорных гидротехнических объектов с грунтовыми плотинами // Приволжский научный журнал. 2012. № 2. С. 35-40.
3. Бальзанников М.И., Пиявский С.А., Родионов М.В. Совершенствование конструкций низконапорных грунтовых переливных плотин // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 5. С. 52-59.
4. Мелиорация и водное хозяйство. Сооружения. Строительство: справочник / под ред. А.В. Колганова, П.А. Полад-заде. М.: Ассоциация Экост, 2002. 601 с.
5. Косиченко Ю.М., Михайлов Е.Д. Применение резервных водосбросов в грунтовых плотинах для пропуска паводковых вод // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. 2014. Вып. 2. Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru>. (дата обращения: 18.05.2014).

6. Косиченко Ю.М., Михайлов Е.Д. Методика расчета параметров резервного водосброса с размываемой вставкой на основе гидравлических формул // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. 2014. Вып. 4. Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru>. (дата обращения: 14.07.2014).

7. Косиченко Ю.М., Морозов К.В. Быстровозводимый резервный водосброс низконапорного гидроузла малого водохранилища // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. 2012. Вып. 4. Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru>. (дата обращения: 10.09.2014).

8. Обоснование применения размываемой грунтовой вставки на грунтовой плотине пруда «Казенный» на балке Атюхта бассейна реки Грушевка // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / под ред. В.Н. Щедрина. Новочеркасск: ФГБНУ «РосНИИПМ», 2014. Вып. 54. С. 43-48.

9. Пат. 2498007 Российская Федерация, МПК(7) Е 02 В 7/06. Резервный водосброс грунтовой плотины / Косиченко Ю.М., Морозов К.В., Чернов М.А., Михайлов Е.Д.; заявитель и патентообладатель Российский НИИ проблем мелиорации. № 2012114853/13; заявл. 13.04.12; опубл. 13.04.12, Бюл. № 31. 15 с.

10. Косиченко Ю.М., Баев О.А. Высоконадежные конструкции противофильтрационных покрытий каналов и водоемов, критерии их эффективности и надежности // Гидротехническое строительство. 2014. № 8. С. 18-25.

11. Баев О.А. Применение планирования эксперимента для изучения водопроницаемости экрана из геомембраны // Природообустройство. 2014. № 3. С. 46-51.

12. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселев [и др.]; под ред. П.Г. Киселева. М.: Энергия, 1974. 312 с.

13. Богомолов К.А. Михайлов. Гидравлика: учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1972. 648 с.

14. *Иваненко Ю.Г., Ткачев А.А.* Теоретические принципы и решения специальных задач гидравлики открытых водотоков. Новочеркасск: Лик, 2013. 203 с.

15. *Лабораторный практикум по гидравлике: учебное пособие / НГМА.* Новочеркасск, 2005. 164 с.

16. *Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: справ. пособие / под ред. А.Б. Векслера.* М.: Энергоатомиздат, 1988. 624 с.

© **Косиченко Ю.М., Михайлов Е.Д.,
Баев О. А., 2015**

Об авторах:

КОСИЧЕНКО Юрий Михайлович

доктор технических наук, профессор, заместитель
директора по науке

Российский научно-исследовательский институт проблем
мелиорации
346400, Россия, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190,
тел. 8 (8635) 26-50-68
E-mail: rosniiipm@yandex.ru

МИХАЙЛОВ Евгений Дмитриевич

аспирант, младший научный сотрудник

Российский научно-исследовательский институт проблем
мелиорации
346400, Россия, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190,
тел. 8 (8635) 26-50-68
E-mail: KAMevgeniy1990@mail.ru

БАЕВ Олег Андреевич

аспирант, младший научный сотрудник

Российский научно-исследовательский институт проблем
мелиорации
346400, Россия, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190,
тел.:8 (8635) 26-50-68
E-mail: Oleg-Baev1@yandex.ru

KOSICHENKO Yuriy

doctor of Engineering Science, Professor, Deputy Director for
Science

Russian Research Institute of Land Improvement Problems,
Novocherkassk, Russian Federation
346400, Russia, Novocherkassk, Baklanovskiy prospect, 190,
tel. 8 (8635) 26-50-68
E-mail: rosniiipm@yandex.ru

MIKHAYLOV Evgeniy

Post-Graduate Student, Junior Researcher

Russian Research Institute of Land Improvement Problems,
Novocherkassk, Russian Federation
346400, Russia, Novocherkassk, Baklanovskiy prospect, 190,
tel. 8 (8635) 26-50-68
E-mail: KAMevgeniy1990@mail.ru

BAEV Oleg

Post-Graduate Student, Junior Researcher

Russian Research Institute of Land Improvement Problems,
Novocherkassk, Russian Federation
346400, Russia, Novocherkassk, Baklanovskiy prospect, 190,
tel. 8 (8635) 26-50-68
E-mail: Oleg-Baev1@yandex.ru

Для цитирования: *Косиченко Ю.М., Михайлов Е.Д., Баев О.А.* Экспериментальные исследования водослива с широким порогом резервного водосброса // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. № 3 (20). С. 73-81.

For citation: *Kosichenko Y.M., Mikhaylov E.D., Baev O.A.* An experimental research of a spillway with a wide threshold of a reserve water outlet // Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arhitektura [Vestnik of SSUACE. Town Planning and Architecture]. 2015. № 3 (20). Pp. 73-81.