

## ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ КОМБИНИРОВАННОГО ВОДОСЛИВА

Водослив вакуумного профиля по сравнению с безвакуумным имеет больший коэффициент расхода и меньшую площадь поперечного сечения, что уменьшает объем тела плотины. Однако на водосливах вакуумного профиля недопустимо использование плоских затворов, поскольку рабочие пазы для них способствуют преждевременному срыву вакуума, в результате чего коэффициент расхода резко уменьшается.

Водослив комбинированного профиля [1] устраняет эти недостатки водослива вакуумного профиля, сохраняя его положительные качества (рис. 1).

Водослив комбинированного профиля образуется из водослива исходного профиля. Средняя часть (секция) водослива имеет менее полное очертание по сравнению с двумя крайними секциями.

Исходный профиль (крайняя секция) описывается по координатам Кригера — Офицера и может быть безвакуумным или с небольшим вакуумом. Средняя секция является вакуумной и описывается по координатам Н. П. Рознова [2]. Доля ее в ширине водосливного отверстия может быть различной.

Удельная пропускная способность средней вакуумной секции больше, чем у исходного профиля, поэтому коэффициент расхода комбинированного водослива по сравнению с исходным увеличивается.

Меньшая полнота средней секции и больший коэффициент расхода приводят к уменьшению объема тела плотины. Крайние секции, как более распланные, увеличивают площадь основания водослива (по сравнению с вакуумным). Благодаря уменьшению вакуума на крайних секциях обеспечивается более надежная эксплуатация водослива при наличии пазов для плоских затворов.

Таким образом, комбинированный водослив имеет больший коэффициент расхода и меньший объем тела плотины по сравнению с без-

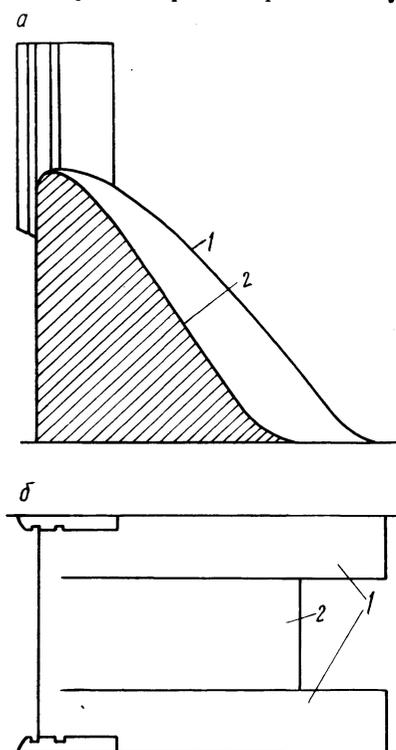


Рис. 1. Поперечный разрез по средней секции (а) и план (б) комбинированного водослива:

1 — крайняя секция; 2 — средняя.

вакуумным, обеспечивает большую площадь основания по отношению к вакуумному и возможность применения плоских затворов. Кроме того, увеличение пропускной способности водослива способствует уменьшению в паводок площади затопления прилегающих к водохранилищу территорий.

Среднюю секцию комбинированного водослива целесообразно выполнять как эллиптический вакуумный профиль с  $\alpha=2$  и  $\alpha=3$ , которые, согласно исследованиям Н. П. Розанова [2], являются наилучшими. Вакуумный профиль с  $\alpha=1$  (круговой оголовок) имеет меньшее поперечное сечение, несколько меньший коэффициент расхода и большую вакуумность по сравнению с профилем с  $\alpha=2$  и  $\alpha=3$  и поэтому для комбинированного водослива недостаточно рационален.

Доля средней вакуумной секции учитывается коэффициентом  $k = \frac{B_{\text{ср}}}{B}$ , где  $B_{\text{ср}}$  — ширина средней вакуумной секции;  $B$  — ширина водосливного отверстия. Коэффициент  $k$  изменяется в пределах от 0 до 1 ( $0 \leq k \leq 1$ ). Для комбинированного водослива  $0 < k < 1$  (при  $k=0$  — водослив исходного профиля, при  $k=1$  — вакуумного профиля).

Комбинированный водослив может быть построен в нескольких вариантах в зависимости от принятой конструкции водослива исходного профиля.

Поскольку исходный профиль может несколько отличаться от безвакуумного Кригера — Офицерова (в связи с чем коэффициенты расхода также отличаются от  $m_{\text{проф}}$ ), коэффициент расхода для исходного профиля целесообразно обозначить  $m_{\text{исх}}$ . Если исходный профиль является профилем Кригера — Офицерова, то  $m_{\text{исх}} = m_{\text{проф}}$ . В случае отклонения от профиля Кригера — Офицерова коэффициент расхода  $m_{\text{исх}}$  определяется опытным путем.

В настоящей работе рассматривается вариант, в котором сливная грань исходного профиля построена по координатам Кригера — Офицерова, а напорная — по координатам Н. П. Розанова при  $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}} = 3,6$  [3], принятом для средней секции (рис. 1). Напорные грани обеих секций в пролете совпадают и отстоят от гребня водослива на расстоянии  $s < 0,3 H_{\text{проф}}$ . Средняя секция выполнена эллиптической с  $\alpha=3$  при  $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}} = 3,6$ , что соответствует максимальному значению, рекомендованному Н. П. Розановым [2].

Водослив исследовался в условиях плоской (без бычков) и пространственной (с двумя полубычками) задач.

Характеристика модели:  $H_{\text{проф}} = 15,0$  см,  $r_{\phi} = 4,17$  см,  $P = 36,7$  см,  $B = 32,0$  см,  $B_{\text{ср}} = 15,6$  см,  $H_0 = 3,5-17,2$  см,  $C = 1,97$  см; отношения:  $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}} = 3,6$ ,  $\frac{H_0}{H_{\text{проф}}} = 2,45$ ,  $\frac{H_0}{H_{\text{проф}}} = 0,23-1,15$ ,  $\frac{C}{H_{\text{проф}}} = 0,131$ ; коэффициенты:  $k = 0,488$  (плоская задача) и  $k = 0,565$  (пространственная задача).

Расход через водослив изменялся в пределах от 3,1 до 54 л/сек; число Рейнольдса от 9000 до 150000.

В значения коэффициентов расхода модели внесена поправка на масштаб модели по формуле Н. П. Розанова. При профилирующем напоре поправочный коэффициент  $\eta_m = 1,009$  [2].

На рис. 2 построены кривые  $m = f\left(\frac{H_0}{H_{\text{проф}}}\right)$  для водослива исходного (кривая 1) и комбинированного (кривая 2) профилей, а также,

по данным Н. П. Розанова, для вакуумного профиля кривая 3, приведенная к отношению  $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}} = 3,6$  [3]. Кривая 2 для комбинированного водослива занимает некоторое промежуточное положение между кривыми для исходного и вакуумного профилей.

При профилирующем напоре для исходного профиля  $m_{\text{исх}} = 0,482$ , для комбинированного водослива  $m_{\text{в}} = 0,530$  (при  $k = 0,488$ ).

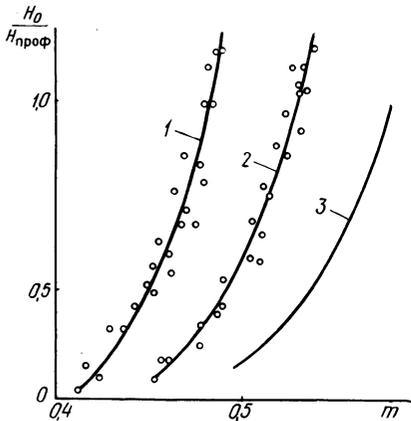


Рис. 2. Кривые зависимостей  $m = f\left(\frac{H_0}{H_{\text{проф}}}\right)$  для исходного водослива при  $k=0$  (кривая 1), комбинированного при  $k=0,488$  (кривая 2) и вакуумного при  $k=1,0$  (кривая 3).

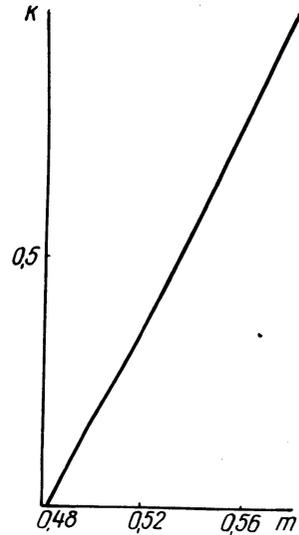


Рис. 3. График зависимости  $m = f(k)$  при  $H_0 = H_{\text{проф}}$ .

Для выявления зависимости между коэффициентами расхода безвакуумного ( $k=0$ ), комбинированного и вакуумного ( $k=1$ ) водосливов построен график (рис. 3). Экспериментальная точка, относящаяся к комбинированному водосливу, расположена на прямой, проходящей через точки, характеризующие пропускную способность исходного и вакуумного профилей. Уравнение указанной прямой будет

$$m = m_{\text{исх}} + (m_{\text{в}} - m_{\text{исх}}) k = m_{\text{исх}} + \Delta m_1 k. \quad (1)$$

Поправка к коэффициенту расхода на вакуумность  $\Delta m_1 = m_{\text{в}} - m_{\text{исх}}$  для комбинированного водослива пропорциональна коэффициенту  $k$ , т. е. доле вакуумной секции в пролете водослива. Эта пропорциональность сохраняется и в случае, когда  $H_0 \neq H_{\text{проф}}$ .

Коэффициент расхода вакуумного водослива равен [3]

$$m_{\text{в}} = 0,52 + 0,119 \lg \left( \frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}} - 0,38 \right). \quad (2)$$

Влияние полноты напора на коэффициент расхода для водослива вакуумного профиля учитывается формулой [3]

$$\Delta m_2 = 0,006 + \left[ 0,159 - 0,068 \lg \left( \frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}} \right) \right] \lg \left( \frac{H_0}{H_{\text{проф}}} - 0,1 \right). \quad (3)$$

Для комбинированного водослива в формулу (3) следует ввести коэффициент, который учитывал бы влияние крайних секций. Этот коэффициент, являющийся функцией  $k$ , равен

$$t = 0,735 + 0,265 k. \quad (4)$$

Тогда поправка на полноту напора для комбинированного водослива будет равна  $\Delta m_2 t$ .

Формулы (1) и (4) получены для комбинированного водослива с  $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}} = 3,6$  и  $k = 0,488$ . Считаем, что и для других значений  $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}}$  и  $k$  эти формулы приемлемы.

Формула для определения коэффициента расхода вакуумного и комбинированного водосливов при различных напорах и известном  $m_{\text{исх}}$  имеет следующий общий вид:

$$m = m_{\text{исх}} + (m_{\text{в}} - m_{\text{исх}}) k + \Delta m_2 t. \quad (6)$$

При профилирующем напоре и  $\alpha = 3$

$$m = m_{\text{исх}} (1 - k) + \left[ 0,52 + 0,119 \lg \left( \frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}} - 0,38 \right) \right] k. \quad (7)$$

Коэффициент расхода исходного профиля, построенного по рассмотренному варианту, будет изменяться в зависимости от отношения

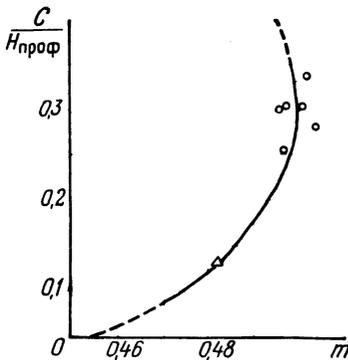


Рис. 4. Кривая зависимости  $m = f \left( \frac{c}{H_{\text{проф}}} \right)$  при  $H_0 = H_{\text{проф}}$ , по данным А. С. Офицерова, А. Р. Березинского и авторов.

$\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}}$ . Для установления этой зависимости целесообразно использовать отношение  $\frac{C}{H_{\text{проф}}}$ .

А. С. Офицеров [4], исследуя безвакуумный вариант, получил данные о коэффициенте расхода при  $\frac{C}{H_{\text{проф}}} = 0,251 - 0,334$ . Значения этих коэффициентов расхода увеличены нами на поправочный масштабный коэффициент  $\eta_{\text{м}} = 1,005$  ( $R\hat{e} = 150000$ ) [5]. Такого же порядка поправочный масштабный коэффициент получается и по формуле Н. А. Петрова [6].

Дуги, сопрягающие напорную грань с гребнем у водосливов Кригера — Офицерова и вакуумного, различны. Согласно исследованиям

А. С. Офицера [4], изменение сопрягающих дуг не вызывает заметных изменений коэффициента расхода при постоянном очертании сливной грани. Исходя из этого, на рис. 4 опытные данные А. С. Офицера для безвакуумного водослива объединены с аналогичными опытными данными авторов для водослива рассмотренного исходного профиля.

С уменьшением отношения  $\frac{c}{H_{\text{проф}}}$  водослив практического профиля по коэффициенту расхода стремится к водосливу с тонкой стенкой [7].

В пределах рациональных (для комбинированного водослива) значений  $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\text{ф}}} = 2,4-3,6$  отношение  $\frac{c}{H_{\text{проф}}}$  изменяется от 0,13 до 0,20.

Значения  $m_{\text{исх}}$  для названных пределов  $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\text{ф}}}$  приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

$\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\text{ф}}}$	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6
$\frac{c}{H_{\text{проф}}}$	0,197	0,181	0,169	0,157	0,147	0,140	0,131
$m_{\text{исх}}$	0,493	0,491	0,489	0,487	0,485	0,484	0,482

В табл. 2 приведены значения коэффициента  $n_1 = \frac{m_{\text{к}}}{m_{\text{проф}}}$ , характеризующего эффективность пропускной способности комбинированного водослива при профилирующем напоре по сравнению с безвакуумным водосливом, для которого  $m_{\text{проф}} = 0,500$ . В табл. 2 приведены только рациональные значения  $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\text{ф}}}$  и  $k$ .

Т а б л и ц а 2

$\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\text{ф}}}$	Значения $n_1$ при $k$		
	0,5	0,6	0,7
2,4	1,052	1,062	1,076
2,8	1,056	1,070	1,086
3,2	1,058	1,076	1,094
3,6	1,062	1,082	1,102

Таким образом, рассмотренный комбинированный водослив, у которого средняя вакуумная секция составляет половину ширины водосливного пролета ( $k=0,5$ ) при максимально допустимом значении  $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\text{ф}}} = 3,6$ , по пропускной способности на 6,2% эффективнее безвакуумного водослива Кригера — Офицера.

Как отмечалось, комбинированный водослив может быть построен в нескольких вариантах. Лучшим (по пропускной способности) будет вариант, у которого исходный профиль обладает большим коэффициентом расхода. Таким является безвакуумный профиль Кригера—

Офицера. В этом варианте при совмещении гребней вакуумной и базвакуумной секций напорные грани их не будут совпадать.

Исходя из закономерностей, установленных в исследованном варианте комбинированного водослива, для случая с  $m_{исх} = m_{проф} = 0,500$  вычислены значения коэффициента эффективности  $n_1$  (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что описанный вариант комбинированного водослива несколько эффективнее предложенного в работе [1]. Так, при  $k=0,5$  пропускная способность комбинированного водослива на 8% больше, чем безвакуумного водослива Кригера—Офицера.

Т а б л и ц а 3

$\frac{H_{проф}}{r_{\phi}}$	Значения $n_1$ при $k$		
	0,5	0,6	0,7
2,4	1,058	1,066	1,080
2,8	1,066	1,080	1,082
3,2	1,074	1,088	1,104
3,6	1,080	1,096	1,112

С целью выявления влияния бокового сжатия на пропускную способность комбинированного водослива проведены опыты, при этом на гребне водослива устанавливались два полубычка, имеющих шандорные и рабочие пазы.

Коэффициент бокового сжатия определяется отношением

$$\epsilon_k = \frac{m_{пр}}{m},$$

где  $m_{пр}$  — коэффициент расхода в случае пространственной задачи. По опытным данным для комбинированного водослива  $\epsilon_k = 0,961$ .

Поскольку комбинированный водослив является вакуумным, данные, характеризующие влияние бокового сжатия, целесообразно сопоставлять с данными, полученными Н. П. Розановым [2] для вакуумных водосликов. Для симметричного фрагмента вакуумного водослива при полуциркульных быках и отношении  $\frac{b}{b+d} = 0,863$  коэффициент бокового сжатия составляет  $\epsilon_b = 0,970$ . С учетом влияния шандорных и рабочих пазов, снижающих величину  $\epsilon$  на 1% [7],  $\epsilon_b = 0,960$ , что совпадает со значением комбинированного водослива.

В связи с этим полагаем, что методы и формулы учета пространственных условий, разработанные Н. П. Розановым для вакуумных водосликов, применимы и для комбинированных.

Исследованный комбинированный водослив в условиях пространственной задачи ( $k=0,565$ ), несмотря на наличие пазов в быках, работал без срыва вакуума при  $\frac{H_{проф}}{r_{\phi}} = 4,13$ , в то время как для вакуумных водосликов считается допустимым  $\frac{H_0}{r_{\phi}} = 1,2-1,5$  [2].

Очевидно, что ширину вакуумной секции в водосливном пролете комбинированного водослива можно увеличить до значений  $k=0,6-0,7$ . Тогда (для плоской задачи) комбинированный водослив будет по пропускной способности на 8—11% эффективнее безвакуумного.

## Литература

1. *Филиппович И. В.* Гравитационная водосливная плотина комбинированного профиля. — «Гидротехническое строительство», 1965, № 4.
2. *Розанов Н. П.* Вакуумные водосливные плотины с боковым сжатием. М., 1958.
3. *Пенькевич В. А.* О связи коэффициентов расхода безвакуумного и вакуумного водосливов при одинаковых напорах. — В настоящем сборнике.
4. *Офицеров А. С.* Профиль водосливных плотин. М.—Л., 1935.
5. *Офицеров А. С.* Расчет пропускной способности водослива практического профиля. — «Труды гидравлической лаборатории ВНИИ Водгео», 1948, сб. № 2.
6. *Петров Н. А.* Масштабные поправки к коэффициенту расхода водослива с боковым сжатием. — «Изв. вузов. Строительство и архитектура», 1963, № 11—12.
7. *Березинский А. Р.* Пропускная способность водосливов. — «Гидротехническое строительство», 1954, № 3.