

О СВЯЗИ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАСХОДА БЕЗВАКУУМНОГО И ВАКУУМНОГО ВОДОСЛИВОВ ПРИ ОДИНАКОВЫХ НАПОРАХ

Водосливы практического профиля с вакуумными оголовками характеризуются большей пропускной способностью по сравнению с безвакуумными, но имеют ряд недостатков. При применении комбинированных водосливов [1] некоторые недостатки водосливов с вакуумными оголовками устраняются. В комбинированном водосливе секции, примыкающие к быкам, приняты безвакуумными и строятся по координатам Кригера—Офицерова, а средняя секция (с вакуумным оголовком) очерчивается по координатам Н. П. Розанова [2]. Поскольку в комбинированном водосливе сочетаются оба названных типа водосливов, пропускающих расход при одинаковом напоре, возникла необходимость в сопоставлении значений коэффициентов расхода безвакуумного ($m_{6в}$) и вакуумного (m_v) водосливов и установлении аналитической связи между ними.

По данным ряда авторов, значения коэффициента расхода безвакуумного водослива практического профиля с оголовком типа А [2], построенного по координатам Кригера—Офицерова, несколько отличаются. При профилирующем напоре $H_{\text{проф}}$ и плоской задаче, по данным Н. Н. Павловского [3], $m_{\text{проф}} = 0,49$. По данным А. С. Офицерова [4, 5], $m_{\text{проф}} = 0,504$. Такое же значение коэффициента расхода рекомендуется и ТУиН [6]. По данным А. Р. Березинского [7], $m_{\text{проф}} = 0,497—0,501$. Для анализа и намеченных сопоставлений коэффициент расхода безвакуумного водослива при профилирующем напоре примем $m_{\text{проф}} = 0,500$.

Изменение напора по отношению к профилирующему приводит к изменению коэффициента расхода, который в таких случаях определяется по формулам А. С. Офицерова или Н. П. Розанова [2] и получается практически одинаковым. Для намеченных исследований принята формула Н. П. Розанова, которая для случая с вертикальной напорной гранью водослива имеет вид

$$m = m_{\text{проф}} \left(0,62 + 0,38 \sqrt[3]{\frac{H_0}{H_{\text{проф}}}} \right) \quad (1)$$

и применима в пределах $0,2 < \frac{H_0}{H_{\text{проф}}} < 1,5$. Напор H_0 определяется

с учетом скорости подхода. Зависимость $m_{6в} = f\left(\frac{H_0}{H_{\text{п. оф}}}\right)$ для безвакуумного водослива с оголовком типа А (при $m_{\text{проф}} = 0,500$) представлена на рис. 1 кривой 4.

Коэффициент расхода вакуумного водослива, построенного по координатам Н. П. Розанова, зависит от величины действующего напора

ра H_0 и формы оголовка, характеризующегося фиктивным радиусом r_Φ и отношением полуосей эллипса α , т. е. $m_b = f\left(\frac{H_0}{r_\Phi}, \alpha\right)$. Согласно исследованиям [8], из криволинейных вакуумных профилей эллиптические профили с $\alpha=2$ и $\alpha=3$ являются наилучшими. Поскольку вакуумный профиль с $\alpha=3$ имеет больший коэффициент расхода, для сравнения с безвакуумным нами принят именно этот профиль. По рекомендациям А. Н. Ахутина и Н. П. Розанова [2, 8], отношение $\frac{H_0}{r_\Phi}$ во избежание срыва вакуума и возникновения пульсации, не должно

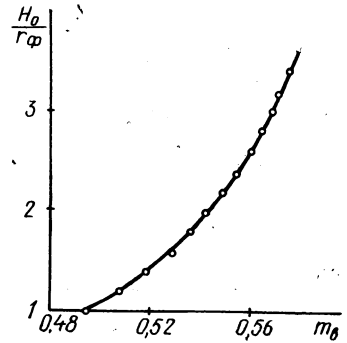
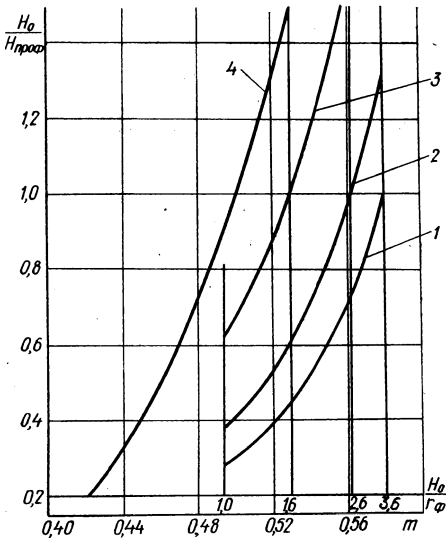


Рис. 2. График зависимости $m_b = f\left(\frac{H_0}{r_\Phi}\right)$ для вакуумного водослива по данным Н. П. Розанова (для $\alpha=3$).

Рис. 1. Кривые зависимостей $m_{бв} = f\left(\frac{H_{проф}}{r_\Phi}\right)$ и $m_b = f\left(\frac{H_{проф}}{r_\Phi}, \frac{H_0}{r_\Phi} \text{ или } \frac{H_0}{H_{проф}}\right)$ (для $\alpha=3$) при одинаковых напорах на водосливах:
1, 2, 3 — вакуумный водослив соответственно при $\frac{H_{проф}}{r_\Phi} = 3,6; 2,6; 1,6$; 4 — безвакуумный водослив.

превышать 3,4—3,6. На рис. 2 изображен график зависимости $m_b = f\left(\frac{H_0}{r_\Phi}\right)$, построенный по данным Н. П. Розанова [8] для $\alpha=3$.

Поскольку справочные данные о коэффициенте расхода вакуумных водосливов имеются лишь для отношений, не превышающих 3, 4, то кривая на рис. 2 до отношения $\frac{H_0}{r_\Phi} = 3,6$ графически проэкстраполирована.

Для сопоставления коэффициентов расхода m_b с $m_{бв}$ при одинаковых напорах отношений $\frac{H_0}{H_{проф}}$ и $\frac{H_0}{r_\Phi}$ недостаточно. При профилирующем напоре для безвакуумного водослива $m_{бв} = m_{проф} = \text{const}$, а для вакуумного водослива, при том же напоре, коэффициент расхода (при $\alpha = \text{const}$) зависит еще и от величины r_Φ . В случае изменения напора коэффициенты расхода обоих водосливов изменятся и будут

зависеть от отношений: $\frac{H_0}{H_{\text{проф}}}$ — для безвакуумного и $\frac{H_0}{r_{\phi}}$ (при $r_{\phi} = \text{const}$) — для вакуумного водосливов.

Для связи коэффициентов расхода обоих типов водосливов нами вводится новое отношение — $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}}$, полученное следующим образом:

$$\frac{H_0}{r_{\phi}} : \frac{H_0}{H_{\text{проф}}} = \frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}}. \quad (2)$$

Задавшись значением $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}}$ и изменяя отношение $\frac{H_0}{r_{\phi}}$, находим соответствующие значения $\frac{H_0}{H_{\text{проф}}}$ из зависимости (2). Затем для отношения $\frac{H_0}{r_{\phi}}$, по данным Н. П. Розанова [8], и для отношения $\frac{H_0}{H_{\text{проф}}}$ по формуле (1) определяем коэффициенты расхода. Поясним это на примере. Пусть $H_{\text{проф}} = 10,8 \text{ м}$, $r_{\phi} = 3 \text{ м}$, $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}} = 3,6$. При напоре $H_0 = 7,8 \text{ м}$ для вакуумного водослива отношение $\frac{H_0}{r_{\phi}} = 2,6$ и коэффициент расхода $m_{\text{в}} = 0,562$, для безвакуумного водослива отношение $\frac{H_0}{H_{\text{проф}}} = 0,722$ и $m_{\text{бв}} = 0,481$.

На рис. 1 показаны кривые зависимости $m_{\text{бв}} = f\left(\frac{H_0}{H_{\text{проф}}}\right)$ для безвакуумного (кривая 4) и $m_{\text{в}} = f\left(\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}}, \frac{H_0}{r_{\phi}} \text{ или } \frac{H_0}{H_{\text{проф}}}\right)$ для вакуумного (кривые 1, 2, 3) водосливов при одинаковых на них напорах.

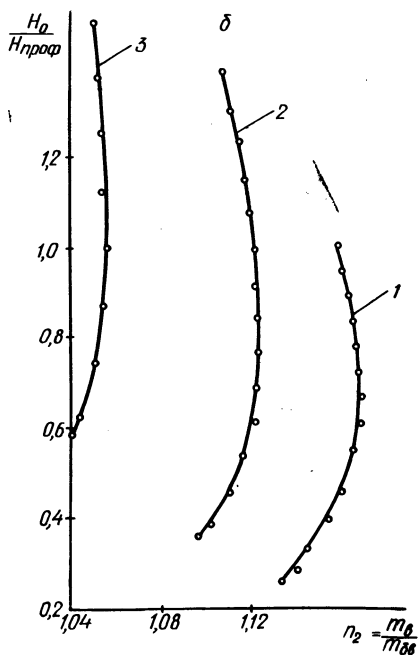
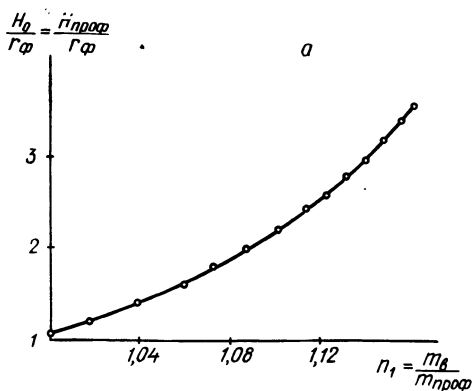
Следует отметить, что при профилирующем напоре для водослива вакуумного профиля $\frac{H_0}{r_{\phi}} = \frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}}$.

Известно, что вакуумный водослив по пропускной способности эффективнее безвакуумного. Эта эффективность при профилирующем напоре оценивается нами коэффициентом $n_1 = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{проф}}}$ (рис. 3, а). В случае максимально допустимого значения $\frac{H_0}{r_{\phi}} = 3,6$ (при $m_{\text{проф}} = 0,500$) вакуумный водослив по пропускной способности на 16% эффективнее безвакуумного.

При напорах, отличных от профилирующего, коэффициент эффективности $n_2 = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{бв}}}$. Кривые 1, 2, 3, определяющие значения этого коэффициента в зависимости от $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}}$, приведены на рис. 3, б. Анализ значений коэффициента n_2 показывает, что для каждого постоянного отношения $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}}$ коэффициент n_2 изменяется в пределах 1—2%, по сравнению с коэффициентом n_1 , т. е. вакуумный водослив в случае $H_0 \cong H_{\text{проф}}$ по пропускной способности эффективнее безвакуумного.

Комбинированный водослив, состоящий из безвакуумных и вакуумных секций, в зависимости от отношения ширины этих секций к ширине водосливного пролета, может стать полностью водосливом либо безвакуумным, либо вакуумным. В этой связи важно установить зависимость между коэффициентами расхода $m_{бв}$ и $m_{в}$, к которой желательно привести коэффициенты расхода комбинированного водослива.

Рис. 3. Кривые зависимости $n_1 = f\left(\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\Phi}}\right)$ при $H_0 = H_{\text{проф}}$ (а) и $n_2 = f\left(\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\Phi}}\right)$ при $H_0 \leq H_{\text{проф}}$ (для $\alpha=3$) (б).



Если $H_0 = H_{\text{проф}}$, то для безвакуумного водослива $m_{\text{проф}} = \text{const}$, а для вакуумного значения $m_{в}$ берутся с кривой, изображенной на рис. 2, при этом имеется в виду, что $\frac{H_0}{r_{\Phi}} = \frac{H_{\text{проф}}}{r_{\Phi}}$.

Кривая (рис. 2) в полулогарифмической системе координат ($m_{в}$, $\lg \frac{H_{\text{проф}}}{r_{\Phi}}$) при смещении ее по оси напоров на 0,38 достаточно хорошо аппроксимируется прямой, что позволяет выразить ее следующей аналитической зависимостью:

$$m_{в} = 0,52 + 0,119 \lg \left(\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\Phi}} - 0,38 \right), \quad (3)$$

которая пригодна для эллиптического оголовка с $\alpha=3$ в пределах $1,0 \leq \frac{H_{\text{проф}}}{r_{\Phi}} \leq 3,6$.

Коэффициент расхода вакуумного водослива при профилирующем напоре превышает на величину Δm_1 коэффициент расхода безвакуумного, т. е.

$$m_{в} = m_{\text{проф}} + \Delta m_1, \quad (4)$$

где Δm_1 — поправка на вакуумность водослива.

В случае $m_{\text{проф}} = 0,500$ (из зависимостей (3) и (4))

$$\Delta m_1 = 0,02 + 0,119 \lg \left(\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}} + 0,38 \right). \quad (5)$$

Если $H_0 \neq H_{\text{проф}}$, то коэффициенты расхода зависят от отношений $\frac{H_0}{H_{\text{проф}}}$ в случае безвакуумного и $\frac{H_0}{r_{\phi}}$ в случае вакуумного водослива. Для сопоставления коэффициентов расхода достаточно одного отношения, например $\frac{H_0}{H_{\text{проф}}}$, учитывающего полноту напора. Учет полноты напора вакуумного водослива, как это видно из рис. 1, должен производиться при постоянном отношении $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}}$.

Кривые 1, 2, 3 для вакуумного водослива (рис. 1) выпрямляются в полулогарифмической системе координат $\left(m_{\text{в}}, \lg \frac{H_0}{H_{\text{проф}}} \right)$ при смещении их по оси напоров на 0,1 (рис. 4, а). На рис. 4, а помещена кривая 4 для случая $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}} = 1,0$.

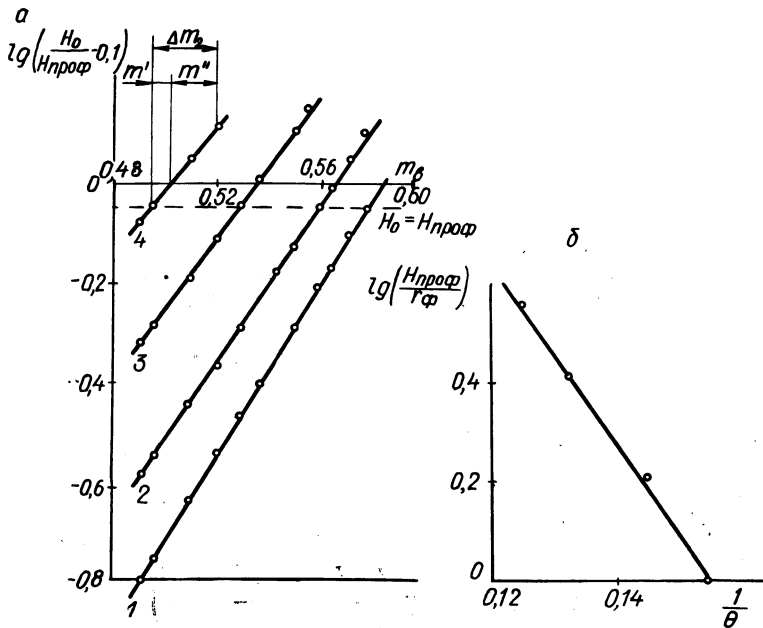


Рис. 4. График зависимости $m_{\text{в}} = f \left(\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}}, \frac{H_0}{H_{\text{проф}}} \right)$ в полулогарифмической системе координат (для $\alpha = 3$):

4 — вакуумный водослив при $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}} = 1,0$. Остальные обозначения такие же, как на рис. 1.

Поскольку значения $m_{\text{в}}$ при $H_0 = H_{\text{проф}}$ уже связаны с $m_{\text{проф}}$ (формулы (4), (5)), учет полноты напора целесообразно производить через поправку Δm_2 , отсчитываемую от значения $m_{\text{в}}$ при $H_0 = H_{\text{проф}}$. Аналитически это записывается так:

$$\Delta m_2 = m' + m'' = m' + \frac{\lg \left(\frac{H_0}{H_{\text{проф}}} - 0,1 \right)}{\theta}, \quad (6)$$

где θ — угловой коэффициент (рис. 4, а).

Значения m' и $\frac{1}{\theta}$, зависящие от отношения $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\text{ф}}}$, приведены в табл. 1.

Таблица 1

| $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\text{ф}}}$ | 1,0 | 1,6 | 2,6 | 3,6 |
|--|-------|-------|-------|-------|
| m' | 0,007 | 0,006 | 0,006 | 0,006 |
| $\frac{1}{\theta}$ | 0,158 | 0,146 | 0,130 | 0,121 |

Как видно из табл. 1, значение m' для всех $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\text{ф}}}$ практически одинаково, поэтому в дальнейшем оно принимается равным 0,006.

График зависимости $\frac{1}{\theta} = f \left(\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\text{ф}}} \right)$, который в полулогарифмической системе координат показан на рис. 4, б, имеет следующее аналитическое выражение:

$$\frac{1}{\theta} = 0,159 - 0,068 \lg \left(\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\text{ф}}} \right). \quad (7)$$

Согласно (7), поправка, учитывающая полноту напора вакуумного водослива, равна

$$\Delta m_2^{\text{в}} = 0,006 + \left[0,159 - 0,068 \lg \left(\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\text{ф}}} \right) \right] \lg \left(\frac{H_0}{H_{\text{проф}}} - 0,1 \right). \quad (8)$$

Поправку на полноту напора для безвакуумного водослива на основании формулы (1) при $m_{\text{проф}} = 0,500$ можно вычислить по зависимости

$$\Delta m_2^{\text{бв}} = 0,19 \sqrt[3]{\frac{H_0}{H_{\text{проф}}}} - 0,19. \quad (9)$$

Таким образом, формула, связывающая коэффициенты расхода вакуумного и безвакуумного водослива, имеет следующий общий вид:

$$m_{\text{в}} = m_{\text{проф}} + \Delta m_1 + \Delta m_2, \quad (10)$$

где $m_{\text{проф}}$ — коэффициент расхода безвакуумного водослива при профилирующем напоре; Δm_1 — поправка на вакуумность (5); Δm_2 — поправка на полноту напора (8, 9).

Кроме приведенных формул, для определения поправок могут быть использованы полученные нами и другие, более простые, дающие удовлетворительные результаты при $\frac{H_{\text{проф}}}{r_{\text{ф}}} \geq 1,2$:

$$\Delta m_1 = 0,146 \lg \frac{H_{\text{проф}}}{r_{\phi}}, \quad (11)$$

$$\Delta m_2 = 0,154 \lg \frac{H_0}{H_{\text{проф}}} C. \quad (12)$$

Коэффициент C зависит от состояния водослива в отношении вакуума. Для безвакуумного состояния $C=0,805$, для вакуумного $C=1,0$.

Полученная зависимость между коэффициентами расхода вакуумного и безвакуумного водосливов будет использована при определении пропускной способности комбинированного водослива.

Литература

1. Филиппович И. Г. Гравитационная водосливная плотина комбинированного профиля. — «Гидротехническое строительство», 1965, № 4.
2. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М., 1957.
3. Павловский Н. Н. Гидравлический справочник. М.—Л., 1937.
4. Офицеров А. С. Профиль водосливных плотин. М.—Л., 1935.
5. Офицеров А. С. Гидравлика водослива. М., 1938.
6. Гидравлические расчеты водосливов. Технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений. М., 1952.
7. Березинский А. Р. Пропускная способность водосливов. — «Гидротехническое строительство», 1951, № 3.
8. Розанов Н. П. Вакуумные водосливные плотины с боковым сжатием. М., 1958.