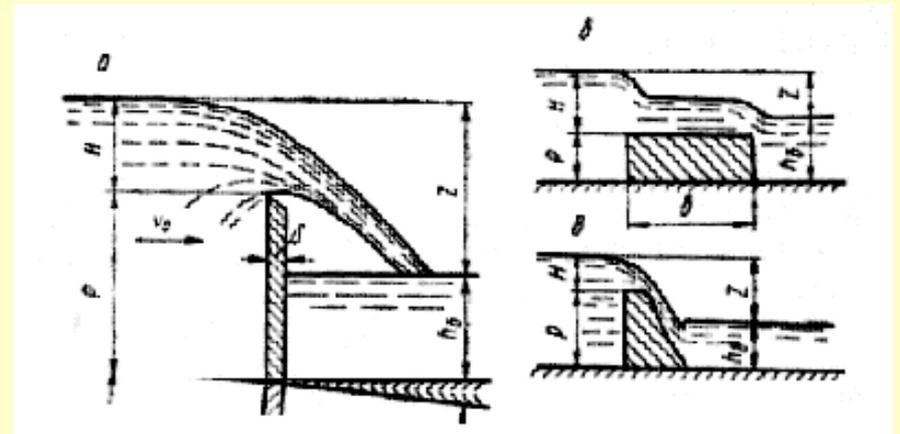
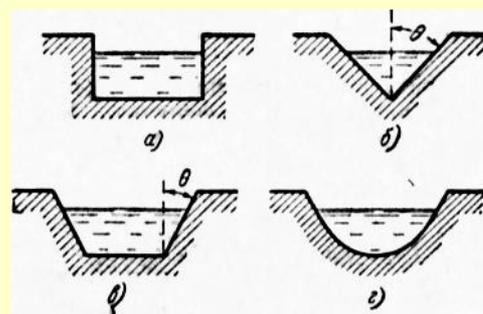


- **В зависимости от формы сливного порога**, называемого гребнем водослива, различают следующие основные типы водосливов:
 - водослив с тонкой стенкой,
 - водослив с широким порогом,
 - и водослив практического профиля.



- *Водослив с тонкой стенкой* или острой кромкой, $d/H < 0,5$ (рис. а). Поток переливающийся через водослив с тонкой стенкой, имеет на всем своем протяжении неравномерный характер.
- *Водослив с широким порогом*; на таком пороге устанавливается почти параллельно-струйное течение жидкости, $2 < d/H < 12$, (рис.б).
- Водослив практического профиля имеющий **криволинейные** очертания, соответствующие нижней поверхности струи жидкости в случае перелива через острый порог, $0,5ld/H < 2$ (рис. в).
- **В зависимости от расположения порога водослива в плане** водослив может быть прямым, боковым, косым, криволинейным или с боковым сжатием (рис. г).

- Если длина гребня водослива меньше ширины преграждаемого потока, то **в зависимости от формы выреза** водослив может быть прямоугольным, треугольным, трапециевидальным, параболическим.



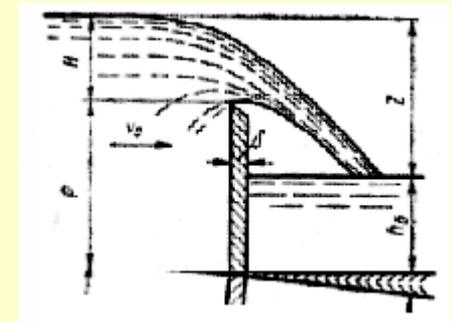
- *В зависимости от условий подхода жидкости различают водосливы без бокового сжатия и водосливы с боковым сжатием.* У первых перелив воды через порог происходит по всей ширине русла, а у вторых порог занимает только часть ширины подходного потока, который при переливе через водослив претерпевает сжатие с боков.
- Ширина потока в пределах такого водослива называется сжатой, или эффективной, шириной водослива. Боковое сжатие отсутствует в том случае, если длина гребня водослива совпадает с шириной потока, что имеет место, например, при лабораторных водосливах, устанавливаемых в лотках прямоугольного сечения в качестве измерителей расхода и иногда в искусственных каналах.
- В прочих случаях всегда имеет место боковое сжатие, обусловленное стенками, ограничивающими гребень водослива, или наличием промежуточных бычков.

-

- *По типу сопряжения струи* с нижним бьефом водосливы разделяются *на незатопленные*, когда уровень потока в нижнем бьефе непосредственно за водосливом не превышает гребня порога водослива, *и затопленные*, когда этот уровень выше, чем гребень порога (положение уровня в нижнем бьефе в последнем случае существенным образом влияет на величину расхода, пропускаемого через водослив).
- У незатопленных водосливов уровень воды нижнего бьефа не оказывает влияния на их пропускную способность, а у затопленных — с повышением уровня нижнего бьефа расход жидкости уменьшается.

Особенности истечения жидкости через водослив с тонкой стенкой

- Основной задачей при гидравлическом расчете водослива является определение протекающего через него расхода жидкости. Рассмотрим под этим углом зрения сначала прямоугольный водослив с тонкой стенкой без бокового сжатия. По мере приближения к водосливу уровень свободной поверхности перед ним постепенно снижается и водосливы и принимает форму кривой спада. Снижение уровня перестает быть практически заметным на расстоянии от водослива, отсчитываемом против течения, равном около $3H$, где H – величина погружения гребня водослива под неискаженным уровнем в верхнем бьефе; эта величина называется напором на водосливе.
- При переливе через гребень струя может иметь разную форму. Если в подструйное пространство имеется свободный доступ воздуха, благодаря чему давление под струей равно атмосферному, то в этом случае струя считается **свободной** и расход обладает значительной устойчивостью.
- Если воздух не может свободно поступать в подструйное пространство, он постепенно выносятся, давление под струей понижается, струя отжимается к водосливной стенке, колеблется, расход пульсирует и такая струя считается **отжатой**.
- Из-за образования вакуума под отжатой струей уровень воды под ней повышается и при некоторых условиях все подструйное пространство заполняется водой, т.е. струя **подтопленная**.
- При малых расходах струя под действием давления и поверхностного натяжения стекает по нижней грани водослива, ее положение неустойчиво, такая струя считается **прилипшей**.
- Приводимые ниже расчеты даны для водослива со свободной струей.



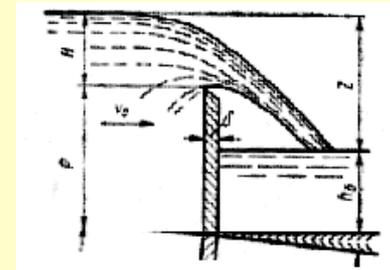
Расчетные формулы

- Рассмотрим расчетные зависимости для совмещенного водослива с тонкой стенкой, т.е. незатопленного прямоугольного водослива без бокового сжатия.
- Струя жидкости при переливе через водослив с тонкой стенкой претерпевает вертикальное сжатие. Площадь живого сечения потока над порогом водослива

$$w_c = \varepsilon_{ec} b H,$$

- где ε_{ec} – коэффициент вертикального сжатия потока.
- Среднюю скорость потока в сечении над порогом можно выразить по аналогии с формулой для отверстий зависимостью
- $v = \varphi \sqrt{2gH_c}$
- где H_c – возвышение уровня воды верхнего бьефа над центром тяжести водосливного отверстия.
- Расход через водослив

$$Q = w_c v = \varepsilon_{ec} b H \varphi \sqrt{2gH_c / 2} = \varepsilon_{ec} \varphi * \frac{1}{\sqrt{2}} * b \sqrt{2g} * H^{3/2}.$$



- Введем обозначение $\varepsilon_{ec} \varphi * \frac{1}{\sqrt{2}} = m_0$

- и получим формулу для расхода через незатопленный прямоугольный водослив с тонкой стенкой без бокового сжатия

$$Q = m_0 b \sqrt{2g} * H^{3/2}.$$

- Величина m_0 в этой формуле называется коэффициентом расхода водослива с тонкой стенкой. Заметим, что подпорная скорость в формуле учитывается не полным напором H_0 , а коэффициентом расхода m_0 .

- Ниже приводятся эмпирические формулы для коэффициента расхода водослива для некоторых основных случаев. Для незатопленного прямоугольного водослива с тонкой стенкой без бокового сжатия этот коэффициент определяется по формуле Базена

$$m_0 = \left(0,405 + \frac{0,0027}{H} \right) \left[1 + 0,55 \frac{H^2}{(H+P)^2} \right],$$

или по формуле Чугаева для $P \geq 0,5H$ и $H \geq 0,1$ м:

$$m_0 = 0,402 + 0,054 \frac{H}{P},$$

или по формуле Ребока:

$$m_0 = 0,402 + 0,054 \frac{H}{P} + \frac{0,0007}{H}.$$

- **Расход жидкости в трапецеидальном водосливе** находится по формуле

$$Q = m \cdot (b + 0,8 \operatorname{tg} \alpha \cdot H) H^{3/2} \sqrt{2g} \sqrt{2g},$$

- Где α – угол наклона водослива по низу, b – ширина водослива по низу, m – коэффициент расхода, определяемый опытным путём.
- При значении tg (уклон боковой стенки)=0,25 трапецеидальный водослив обладает свойством постоянства коэффициента расхода ($m=0,42$) при изменении напора H , и в таком виде обычно и применяется для измерения расхода. В этом случае
- $Q = 1,86bH^{3/2}$.

- Для водослива треугольной формы

$$Q = m_0 H^{5/2} \operatorname{tg} \theta \sqrt{2g} .$$

- Наибольшее применение – имеет треугольный водослив с вырезом в форме прямоугольного треугольника, обычно используемый для измерения сравнительно небольших расходов жидкости. Для такого водослива
- $Q = 1,343H^{2,5}$ или
- $Q = 1,4H^2$.

- *Учет подтопления водослива.*
- Для того чтобы водослив с тонкой стенкой оказался затопленным, нужно соблюсти два условия:
- $h_0 > P$ и $Z_0 / P > 0,7$,
- где Z_0 – перепад на водосливе с учетом подходной скорости.
- $Z_0 = Z + v_0^2 / 2g$, а перепад $Z = (P + H) - h_0$. Расход через подтопленный прямоугольный водослив с тонкой стенкой определяется по формуле
- $Q = m_0 \sigma n b \sqrt{2gH_c}^{3/2}$
- *Величину коэффициента затопления можно определить по эмпирической формуле Базена*
- $\sigma_n = 1,05(1 + 0,2 * h_n / P) \sqrt{z / H}$,
- где z – величина перепада между уровнями в верхнем и нижнем бьефах (рис.2),
- $h_n = H - z$ – превышение уровня бьефа под ребром водослива..

- *Учет бокового сжатия.* На водосливе с боковым сжатием переливающийся поток испытывает не только вертикальное, но и плановое сжатие, поэтому площадь сжатого сечения потока, а следовательно, и расход жидкости будут у него меньшими. Для водослива с боковым сжатием, т. е. когда ширина порога водослива b меньше ширины канала B при $(B/b > 3)$ коэффициент расхода m_0 рассчитывается по формуле Эгли:

- $$m_0 = \left(0,405 + \frac{0,0027}{H} - 0,030 * \frac{(B-b)}{B} \right) \left[1 + 0,55 * \frac{b^2}{B^2} * \frac{H^2}{(H+P)^2} \right]$$

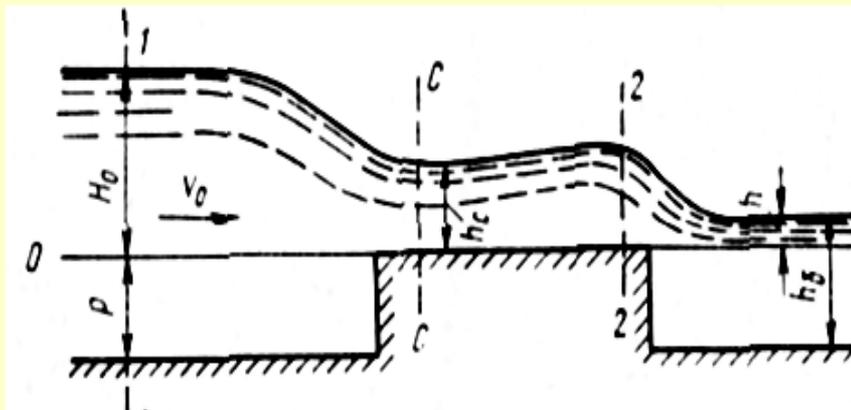
- Боковое сжатие может быть учтено также введением в основную формулу расхода коэффициента бокового сжатия ε , который определяется по формуле Френсиса:

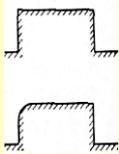
- $$\varepsilon = 1 - 0,2 n \frac{H}{b}$$

- где n – число водосливных отверстий.

Особенности истечения жидкости через водослив с широким порогом

- **Типы задач по расчету водосливов с широким порогом.** Водосливы с широким порогом широко используются в гидротехническом строительстве, в частности все деревянные и бетонные лесосплавные плотины имеют водопропускные отверстия, работающие как водосливы с широким порогом. При расчете водосливов с широким порогом встречаются задачи тех же типов, что и при расчете водосливов с тонкой стенкой.





Задача 1 типа. Известные величины H , b , h_0 , и P , требуется определить Q

Полагая в первом приближении $H_0 = H$, устанавливают по условиям $h_0 - P < 0,8H$ и $h_0 - P > 0,8H$ будет ли водослив затоплен или нет.

В зависимости отношения P/H и формы входного ребра водослива, определяют по формулам при прямоугольном входном ребре значение коэффициента расхода m

$$m = 0,32 + 0,01 \left(3 - \frac{P}{H}\right) / \left(0,46 + 0,75 \frac{P}{H}\right);$$

при закругленном входном ребре с $r/H \geq 0,2$

$$m = 0,36 + 0,01 \left(3 - \frac{P}{H}\right) / \left(1,2 + 1,5 \frac{P}{H}\right).$$

Для затопленного водослива находят по данным, приведенным в таблице коэффициент затопления α_n в зависимости от отношения $(h_0 - P)/H$.

В соответствии с типом водослива определяют расход для незатопленного водослива принимая в первом приближении $H_0 = H$

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

для затопленного водослива

$$Q = \alpha_n m b \sqrt{2g} (H_0)^{3/2}.$$

При наличии бокового сжатия следует пользоваться этими же формулами, добавляя коэффициент бокового сжатия, который находят по зависимости

$$\varepsilon = 1 - a H_0 / (H_0 + b).$$

По выражению $B(H+P) / bH > 3+4$ устанавливают нужно ли в расчете учитывать подходную скорость. Если такой необходимости не возникает, расчет на этом заканчивается.

Если окажется, что подходную скорость учитывать нужно, следует уточнить расчет во втором приближении, который включает определение

подходной скорости v_0 по формуле

$$v_0 = Q / (b(H+P)),$$

полного напора H_0 по зависимости

$$H_0 = H + v_0^2 / 2g,$$

наличия затопления водослива по условиям

$$h_0 - P < 0,8H_0 \text{ и } h_0 - P > 0,8H_0,$$

и расхода через водослив по формулам для незатопленного водослива

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

и для затопленного водослива

$$Q = \alpha_n m b \sqrt{2g} (H_0)^{3/2}.$$

$(h_6-P)/ H_0$	σ_3	$(h_6-P)/ H_0$	σ_3	$(h_6-P)/ H_0$	σ_3
0,8	1,0	0,87	0,93	0,94	0,7
0,81	0,99	0,88	0,9	0,95	0,65
0,82	0,99	0,89	0,87	0,96	0,59
0,83	0,98	0,9	0,84	0,97	0,5
0,84	0,97	0,91	0,81	0,98	0,4
0,85	0,96	0,92	0,78		
0,86	0,95	0,93	0,74		

Задача 2 типа. Известные величины: Q , H , h_0 и P . Требуется определить: b .

Расчет так же, как и в задачах первого типа, начинается с установления условий затопления водослива и определения значений коэффициентов расхода m и затопления σ_z принимая в первом приближении $H_0 = H$.

Полагая в первом приближении $H_0 = H$, находят ширину водослива b :

для незатопленного водослива

$$b = \frac{Q}{(\varepsilon m \sqrt{2gH^{1.5}})},$$

для затопленного водослива

$$b = \frac{Q}{(\sigma_z \varepsilon m \sqrt{2gH^{1.5}})}.$$

При отсутствии бокового сжатия значение ε принимается равным единице, а при наличии – определяется по формуле

$$\varepsilon = 1 - a H / (H + b).$$

По выражению $B(H+P)/bH > 3+4$ устанавливают, нужно ли в расчете учитывать подходную скорость. Расчет считается законченным, если окажется, что подходную скорость учитывать не нужно. При необходимости учета подходной скорости, следует выполнить второй уточненный этап расчета. После определения подходной скорости

$$v_0 = \frac{Q}{b(H+P)},$$

и полного напора H_0 по зависимости

$$H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g},$$

расчет ведут в той же последовательности, как и на первом предварительном этапе.

Задача 3 типа. Известные величины: Q , b , h_0 и P . Требуется определить H .

Предполагая в первом приближении водослив незатопленным ($\sigma_0=1$) и не учитывая бокового сжатия ($\varepsilon = 1$), определяют величину полного напора

$$H_0 = \frac{Q}{(mb\sqrt{2g})^{2/3}}.$$

Значения коэффициента расхода m в первом приближении принимают: для водослива с прямоугольным входным ребром $m=0,32$, для водосливов с закругленным входным ребром $m = 0,36$.

Коэффициент бокового сжатия ε находят по формуле

$$\varepsilon = 1 - a \frac{H_0}{(H_0 + b)}.$$

Будет ли водослив затоплен или нет, устанавливают по соотношениям $h_0 - P < 0,8 H_0$ и $h_0 - P > 0,8 H_0$

Значение коэффициента расхода m определяют по формулам при прямоугольном входном ребре

$$m = 0,32 + 0,01 \frac{(3 - P/H)}{(0,46 + 0,75P/H)};$$

при закругленном входном ребре с $r/H > 0,2$

$$m = 0,36 + 0,01 \frac{(3 - P/H)}{(1,2 + 1,5P/H)}.$$

При $P/H > 3$ следует пользоваться постоянными значениями коэффициента расхода $m = 0,32$ для прямоугольного и $m_0 = 0,36$ для закругленного ребра

В зависимости от отношения $(h_0 - P)/H_0$ находят значение коэффициента затопления σ . Для незатопленных водосливов $\sigma_0 = 1$.

Уточненное значение полного напора H_0 определяют по формуле

$$H_0 = \frac{Q}{(\sigma, \varepsilon mb\sqrt{2g})^{2/3}},$$

подставляя в нее величины σ , ε , m , установленные в предыдущих пунктах расчета.

Подходную скорость вычисляют по формуле $v_0 = Q/b(H+P)$, предполагая в ней $H = H_0$. Определяют геометрический напор на пороге водослива

$$H = H_0 - \frac{v_0^2}{2g}.$$

ИСТОЧНИКИ:

Пашков Н.Н., Долгачев Ф.М. Гидравлика. Основы Гидрологии.- М.: Энергоатомиздат, 1993. –448с.: ил.

Штеренлихт. Гидравлика: Учебник для вузов.-М.: Энергоатомиздат, 2004. –640с.

Константинов Н.М. и др. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: Учеб. Для вузов в 2-х частях. Общие законы. М.: Высш. Шк., 1987.

Слободкин А.Я. М., Изд-во Лесная промышленность, 1968. – 256с.