

Истечение жидкости через водосливы с тонкой стенкой и широким порогом.

Водослив – это сооружение (стенка) с безнапорным отверстием, предназначенным для пропуска воды. Часть потока перед водосливом называется верхним бьефом (ВБ), за водосливом – нижним бьефом (НБ). Верхняя кромка водосливной стенки, через которую происходит перелив жидкости, называется гребнем водослива.

Классификация водосливов.

Водосливы классифицируются по ряду признаков:

1. по конструктивным признакам различают:

а) водосливы с тонкой стенкой.

Толщина стенки $0,1H \leq \delta \leq 0,5H$, где H – напор на водосливе, равный разности отметок поверхности воды в верхнем бьефе и гребня водослива;

R – высота водосливной стенки.

Жидкость отрывается от кромки гребня и больше его не касается, т.е. толщина стенки не влияет на характер переливающейся струи, которая испытывает только местное сопротивление.

**б) водосливы с широким порогом,
имеющие ширину $2H \leq \delta \leq 10H$ и
гребень в виде горизонтальной
плоскости.**

На пороге наблюдается плавно
изменяющееся движение жидкости со
свободной поверхностью, близкой к
горизонтальной. Потери напора по
длине h_e на пороге пренебрежимо
малы.

Водослив с широким порогом.

в) водосливы практического профиля – все остальные, не удовлетворяющие условиям пунктов а) и б).

2. по условиям работы:

а) незатопленные водосливы – такие, в которых уровень воды в нижнем бьефе не влияет на расход водослива, то есть $P > h_{нб}$.

б) затопленные - такие, в которых уровень воды в нижнем бьефе снижает расход на водосливе. Водослив будет затопленным, если выполняются два условия:

1) глубина воды в нижнем бьефе $h_{нб} > P$;

2) перепад $Z / P < 0,7$, где $Z = h_{вб} - h_{нб}$.

Если не выполняется второе условие, то в нижнем бьефе струя отгоняется от водослива и он становится незатопленным.

в) безвакуумные и вакуумные, если давление под струёй меньше атмосферного.

3. по условиям подхода потока к сооружению:

а) водосливы без бокового сжатия – такие, в которых ширина водослива «**b**» и ширина подходящего потока «**B**» равны;

б) с боковым сжатием, когда $B > b$.

4. по форме водосливного отверстия:

прямоугольные, трапецеидальные, треугольные, криволинейные;

5. по расположению водослива в плане относительно направления потока:

прямые, косые, боковые, полигональные, криволинейные, кольцевые.

Расход воды на водосливе с тонкой стенкой.

Рассмотрим незатопленный, безвакуумный, без бокового сжатия, прямой, прямоугольный водослив с тонкой стенкой.

Назначим два расчётных сечения:

первое (**1 - 1**) – на подходе к водосливу,
второе (**с – с**) – в сжатом сечении;

плоскость сравнения (**0 – 0**) проведём по дну потока.

Водослив с тонкой стенкой.

Запишем уравнение Бернулли:

$$Z_1 + p_1/\rho g + \alpha_1 v_1^2/2g = Z_c + p_c/\rho g + \alpha_c v_c^2/2g + h_w.$$

$$Z_1 = (P+H)/2; \quad p_1 = \rho g(P+H)/2; \quad v_1 \approx 0; \quad v = v_c;$$

$$Z_c = P; \quad p_2 \approx 0; \quad \alpha_1 \approx \alpha_2 \approx 1,0; \quad h_w = \zeta_m v^2/2g.$$

Подставим все условия в уравнение Бернулли, получим:

$$(P+H)/2 + (P+H)/2 = P + v^2(1+\zeta_m)/2g.$$

После преобразований и сокращений:

$$H = v^2(1+\zeta_m)/2g \rightarrow v = 1/\sqrt{1+\zeta_m} \sqrt{2gH},$$

обозначим $1/\sqrt{1+\zeta_m} = \varphi$ – коэффициент скорости, тогда скорость в сжатом сечении $v = \varphi \sqrt{2gH}$.

Расход воды на водосливе:

$$Q = \omega_c v; \quad \omega_c = b \ 0,435H.$$

Значит, $Q = b \ 0,435H \varphi \sqrt{2gH}$.

Обозначим $m = 0,435\varphi$ – коэффициент расхода, тогда:

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

Коэффициент расхода m зависит от напора H , скорости подхода потока v_0 , высоты водосливной стенки P и её формы, а также типа водослива. Из перечисленных **факторов наибольшее влияние оказывают напор H и высота водослива P .**

Для определения коэффициента расхода применяются эмпирические формулы.

Например, **формула Чугаева:**

$$m = 0,402 + 0,054 H / P.$$

Водосливы с тонкой стенкой широко применяются на оросительных каналах и малых водотоках для измерения расхода воды.

Треугольные водосливы с тонкой стенкой используются в гидравлических лабораториях в качестве водосливов – измерителей расхода воды.

Для приближённых расчётов можно принять значение коэффициента расхода в диапазоне **от 0,40 до 0,43.**

Теория водослива с широким порогом.

Рассмотрим течение жидкости через незатопленный водослив с широким порогом. В верхнем бьефе перед водосливом происходит сжатие потока. Над водосливом уменьшается живое сечение. Сжатие потока сопровождается снижением свободной поверхности потока, увеличением кинетической энергии и уменьшением потенциальной энергии.

Поэтому в начале водослива всегда есть перепад. Второй перепад образуется при сходе потока с водослива.

Наличие на пороге плавно изменяющегося движения позволяет для определения расхода через водослив применять уравнение Бернулли.

Проведём плоскость сравнения 0–0 по гребню водослива,

***сечение 1–1 - на подходе к водосливу,
сечение 2–2 - в конце участка плавно изменяющегося движения на гребне водослива.***

Водослив с широким порогом.

Так как на поверхности потока давление атмосферное, то, полагая $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx 1,0$, уравнение Бернулли запишется в виде:

$$H + v_1^2/2g = h + v_2^2/2g + h_w, \text{ где}$$

$$h_w = h_e + h_m; \quad h_e \approx 0; \quad h_m = \zeta v_2^2/2g;$$

$H + v_1^2/2g = H_0$ – полный напор на водосливе. Тогда:

$$H_0 = h + (1 + \zeta)v_2^2/2g \text{ или}$$

$$H_0 - h = (1 + \zeta)v_2^2/2g, \text{ отсюда:}$$

$$v_2 = 1/\sqrt{(1 + \zeta)} \sqrt{(2g(H_0 - h))}.$$

Введём обозначение $1/\sqrt{(1 + \zeta)} = \varphi$, где

φ – коэффициент скорости. Значит,

в сечении 2 - 2 средняя скорость

$$v_2 = \varphi \sqrt{(2g(H_0 - h))}.$$

Площадь живого сечения ω_2 для
прямоугольного водослива $\omega_2 = b h$ и
расход $Q = \omega_2 v_2 = \varphi b h \sqrt{2g(H_0 - h)}$.
Обозначим $\kappa = h / H_0 \rightarrow h = \kappa H_0$,
получим

$$Q = \varphi b \kappa H_0 \sqrt{2gH_0(1 - \kappa)} = \\ = \varphi \kappa \sqrt{1 - \kappa} b \sqrt{2g} H_0^{3/2}.$$

Коэффициент расхода $m = \varphi \kappa \sqrt{1 - \kappa}$ и
формула расхода принимает вид:

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

Коэффициент расхода для водослива с
широким порогом изменяется в пределах
от **0,32 до 0,38**.

Для определения глубины h на гребне незатопленного водослива используются гипотезы Бахметева и Беланже.

По Бахметеву на пороге устанавливается критическая глубина $h_{кр}$, соответствующая минимальному значению УЭС.

По Беланже – глубина, соответствующая максимально возможному расходу, равная $2/3$ от H_0 .

В действительности, $h < h_{кр} < 2/3 H_0$.

Теория водослива с широким порогом применяется при расчёте малых искусственных сооружений (безнапорных дорожных труб и малых мостов), при расчёте входной части перепадов и быстротоков.

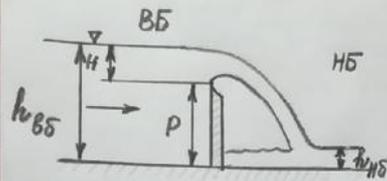


Рис. водослив с тонкой стенкой

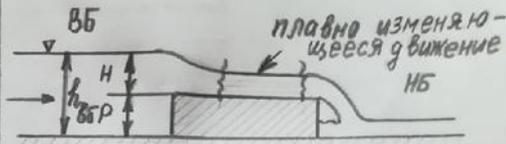


Рис. водослив с широким порогом.

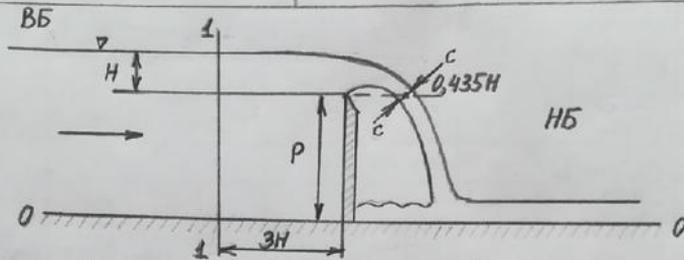


Рис. водослив с тонкой стенкой.

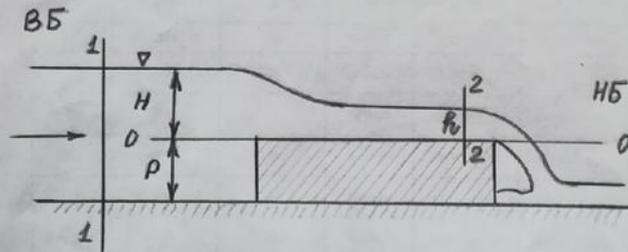


Рис. водослив с широким порогом.

Рисунки к теме "Истечение жидкости через водосливы..."