

# **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:

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

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

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

$\varphi$  – коэффициент скорости. Значит,

в сечении 2 - 2 средняя скорость

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

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

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

Коэффициент расхода  $m = \varphi k \sqrt{1 - k}$  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.

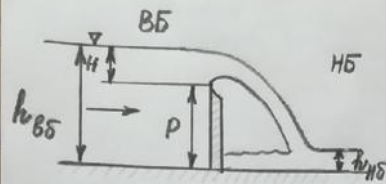


Рис. водослив с тонкой стенкой

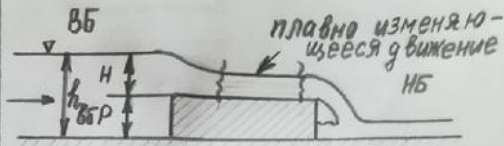


Рис. водослив с широким порогом.

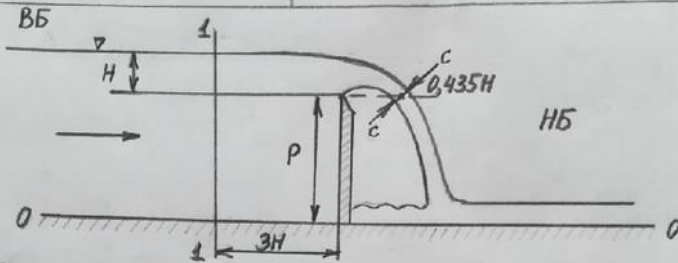


Рис. водослив с тонкой стенкой.

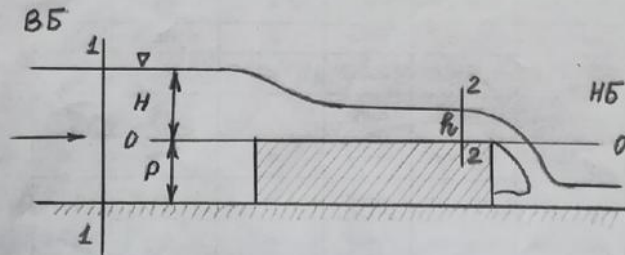


Рис. водослив с широким порогом.

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