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) <u>*водосливы с тонкой стенкой*</u>*.*

Толщина стенки $\mathbf{0{,}1H \le \delta \le 0{,}5H}$, где

H – *напор на водосливе,* равный разности отметок поверхности воды в верхнем бьефе и гребня водослива;

P – *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) ***<u>водосливы с широким порогом</u>*, *имеющие ширину*** **$2H \le \delta \le 10H$** ***и гребень в виде горизонтальной плоскости.***

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

Водослив с широким порогом.

в) <u>водосливы практического профиля</u> – *все остальные, не удовлетворяющие условиям пунктов а) и б).*

2. по условиям работы:

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

б) *<u>затопленные -</u> 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:

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

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

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

Подставим все условия в уравнение Бернулли, получим:

$$\mathbf{(P+H)/2 + (P+H)/2 = P + v^2(1+\zeta_м)/2g.}$$

После преобразований и сокращений:

$\mathbf{H = v^2(1+\zeta_м)/2g \rightarrow v = 1/\sqrt{(1+\zeta_м)}\ \sqrt{(2gH)}}$, обозначим $\mathbf{1/\sqrt{(1+\zeta_м)} = \varphi}$ – коэффициент скорости, тогда скорость в сжатом сечении $\mathbf{v = \varphi \sqrt{(2gH)}}$.

Расход воды на водосливе:

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

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

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

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

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:***

$$\mathbf{m = 0{,}402 + 0{,}054\ H / P.}$$

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:

$$H + v_1^2/2g = h + v_2^2/2g + h_w,$$ где

$$h_w = h_\ell + h_м; \quad h_\ell \approx 0; \quad h_м = \zeta v_2^2/2g;$$

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

$$H_0 = h + (1 + \zeta)v_2^2/2g$$ или

$$H_0 – h = (1 + \zeta)v_2^2/2g,$$ 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 **2 - 2** для прямоугольного водослива $\omega_2 = b\,h$ и расход $Q = \omega_2\, v_2 = \varphi\, b\, h \sqrt{2g(H_0 - h)}$. Обозначим $к = h / H_0 \;\rightarrow\; h = к\, H_0$, получим

$$Q = \varphi\, b\, к\, H_0 \sqrt{2gH_0(1 - к)} =$$

$$= \varphi\, к \sqrt{1 - к}\; b \sqrt{2g}\; H_0^{3/2}.$$

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

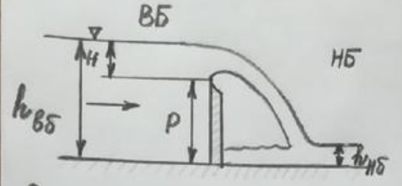

Рис. Водослив с тонкой стенкой

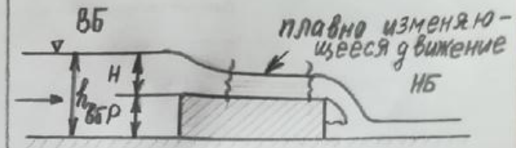

Рис. Водослив с широким порогом.

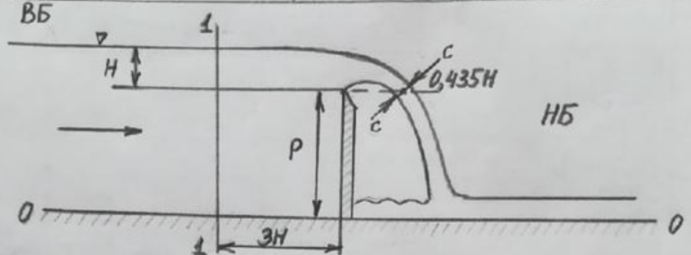

Рис. Водослив с тонкой стенкой.

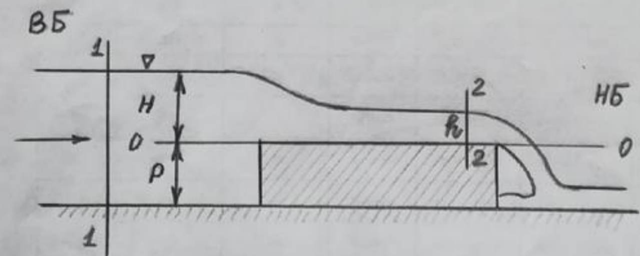

Рис. Водослив с широким порогом.

Рисунки к теме „Истечение жидкости через водосливы...“

Гидравлический прыжок.

<u>Гидравлический прыжок</u> – это явление скачкообразного (резкого) увеличения глубины потока, при котором поток переходит из бурного состояния в спокойное.

При этом глубина потока изменяется от $h_1 < h_{кр}$ ***до*** $h_2 > h_{кр}$**.**

Глубины h_1 ***и*** h_2 **-** ***<u>взаимные</u> или <u>сопряжённые глубины</u>*** **ГП.**

Гидравлический прыжок.

Разность **$\Delta h = h_2 - h_1$** ***называется*** **<u>высотой прыжка</u>.**

В области прыжка имеется поверхность раздела. Нижняя зона называется транзитной. Над поверхностью раздела расположена водоворотная область, называемая <u>поверхностным вальцом</u>. Горизонтальная проекция вальца **$\ell_п$** ***называется <u>длиной гидравлического прыжка</u>.*** По внешнему виду **ГП** напоминает остановившуюся волну.

Виды гидравлического прыжка.

Различают несколько видов гидравлического прыжка: совершенный, прыжок – волна (волнистый), отогнанный, в сжатом сечении, затопленный и др.

<u>Совершенный ГП</u> ***образуется при соотношении глубин*** **$h_2 / h_1 \geq 2$** ***или*** **$h_2 > 1{,}3\ h_{кр}$.** ***При этом на поверхности потока образуется аэрированный вихревой валец.***

Прыжок – волна ***возникает при малой высоте прыжка,***

т.е. **h_2** ***незначительно превышает*** **$h_{кр}$.** Поверхностный валец отсутствует. Прыжок имеет форму ряда постепенно затухающих стоячих волн.

Отогнанный гидравлический прыжок ***характерен тем, что вторая сопряжённая глубина больше, чем бытовая*** **($h_2 > h_б$).**

Затопленный гидравлический прыжок ***образуется в сжатом сечении, если бытовая глубина превышает вторую сопряжённую глубину:*** $h_б > h_2$.

Прыжок в сжатом сечении – ***такой, в котором вторая сопряжённая глубина равна бытовой, то есть*** $h_2 = h_б$.

Виды гидравлического прыжка.

Основное уравнение гидравлического прыжка.

Для совершенного прыжка основное уравнение ГП записывается в виде:

$Q^2/g\omega_1 + h_{c1}\omega_1 = Q^2/g\omega_2 + h_{c2}\omega_2$, где

ω_1, ω_2 – площади живых сечений для сопряжённых глубин ГП;

h_{c1}, h_{c2} – глубины погружения центров тяжести этих живых сечений.

Левая часть уравнения является функцией глубины **h_1,** а правая – глубины **h_2.** Структура левой и правой частей уравнения одинаковая.

$Q^2/g\omega + h_c\,\omega = П(h)$ ***называется прыжковой функцией.***

Следовательно, **$П(h_1) = П(h_2)$.**

Анализ показывает, что:

при $h \to 0$, $\omega \to 0$, $П(h) \to \infty$;

при $h \to \infty$, $\omega \to \infty$, $П(h) \to \infty$.

График прыжковой функции **$П(h)$** ***имеет минимум при*** **$h = h_{кр}$.**

Его можно построить при заданном **Q.**

График прыжковой функции П(h).

Сопряжённые глубины прыжка **($h_2 > h_1$)** имеют одинаковые значения прыжковой функции.

Задаваясь значением **h_1**, можно найти **h_2**.

С уменьшением **h_1** сопряжённая глубина **h_2** увеличивается и наоборот.

Уравнение гидравлического прыжка при прямоугольной форме живого сечения потока.

Если русло прямоугольное, то основное уравнение прыжка можно упростить:

$\omega = b\,h$, где **b –** ширина потока;

$$h_c = h / 2.$$

Решая уравнение, получим:

$$h_1 = h_2/2\,[\sqrt{(1 + 8(h_{кр}/h_2)^3)} - 1],$$

$$h_2 = h_1/2\,[\sqrt{(1 + 8(h_{кр}/h_1)^3)} - 1].$$

Длина прыжка определяется по эмпирическим формулам. Хорошую сходимость с опытными данными дают расчёты по формуле

Н.Н. Павловского:

$$\ell_п = 2{,}5\,(1{,}9\,h_2 - h_1).$$

Потери энергии в прыжке прямо пропорциональны третьей степени высоты прыжка:

$$E_п = (\Delta h)^3 / 4h_1h_2.$$

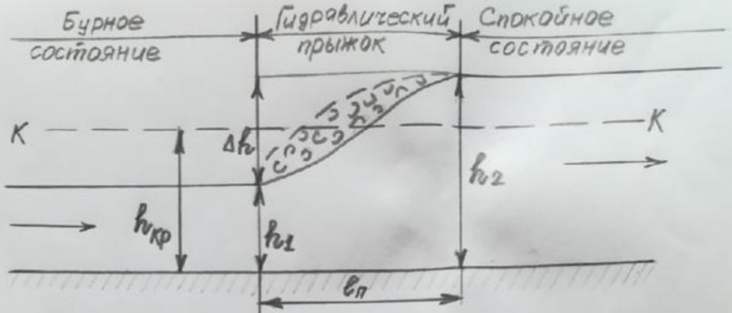

Рис. Гидравлический прыжок.

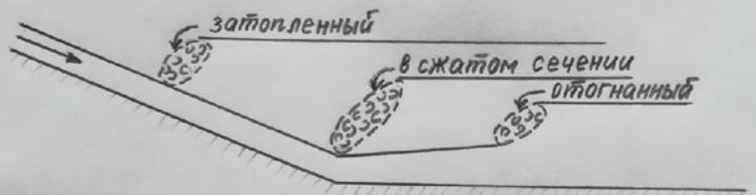

Рис. Виды гидравлического прыжка.

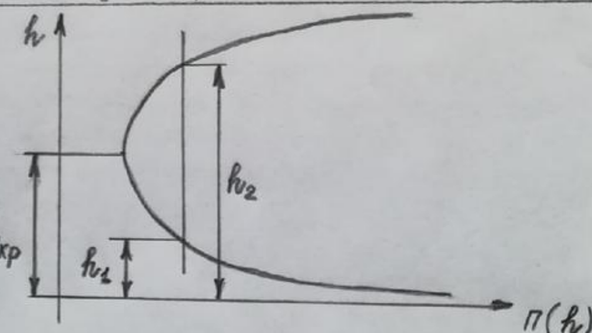

Рис. График прыжковой функции П(h).

Рисунки к теме „Гидравлический прыжок."