

Гидравлика и ГП

Роман Владимирович Чернухин

Кафедра проектирования технологических
машин

Chernuxin@corp.nstu.ru

Тематика лекционных занятий:

- Основы гидравлики
- Общие сведения об объемных гидроприводах
- Объемные гидромашины
- Гидроаппараты
- Кондиционеры рабочей жидкости, гидроемкости, гидролинии и уплотнительные устройства
- Схемы объемных гидроприводов и гидропередат
- Расчет гидропривода

1. Основы гидравлики

- 1.1 Определение гидравлики
- 1.2 Общие сведения о жидкостях
- 1.3 Основное уравнение гидростатики
- 1.4 Закон Архимеда
- 1.5 Кинематика и динамика жидкости
- 1.6 Уравнение Бернулли
- 1.7 Режимы течения жидкости
- 1.8 Расчет простых трубопроводов. Потери давления в трубопроводах
- 1.9 Истечение жидкости через отверстия и насадки
- 1.10 Понятие о гидравлическом ударе

1.9 Истечение жидкости через отверстия и насадки

1.9.1. Истечение жидкости через отверстия

Расчет истечения жидкости через отверстие сводится к определению **скорости** истечения и **расхода**

Малое отверстие – $d < 0,1 H$

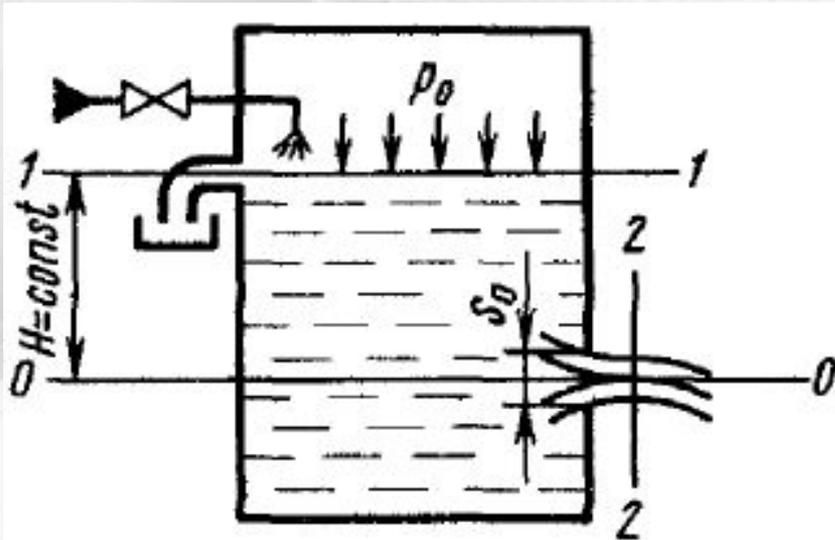
Незатопленное – отверстие из которого жидкость вытекает в атмосферу

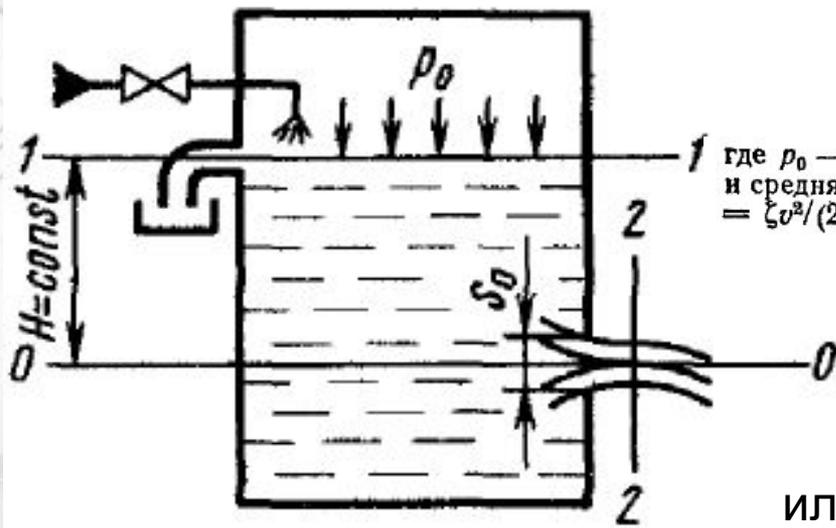
Тонкая стенка – толщина меньше $3d$

Коэффициент сжатия струи – отношение площади сжатого сечения к площади

$$\epsilon = S_{сж}/S_0 = d_{сж}^2/d_0^2,$$

где $d_{сж}$ – диаметр сжатого сечения струи; d_0 – диаметр отверстия





где p_0 — давление на свободной поверхности жидкости; p_2 и v_2 — давление и средняя скорость жидкости в сечении 2—2; h_M — местные потери напора [$h_M = \zeta v^2 / (2g)$].

$$H + \frac{p_0}{\rho g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_M,$$

$$H + \frac{p_0}{\rho g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \zeta \frac{v_2^2}{2g}$$

$$H + \frac{p_0}{\rho g} = \frac{p_2}{\rho g} + (1 + \zeta) \frac{v_2^2}{2g}.$$

ил
и

Если $p_2 = p_0$, то $H = (1 + \zeta) \frac{v_2^2}{2g}$

Отсюда выразим скорость $v_2 = v = \frac{\sqrt{2gH}}{\sqrt{1 + \zeta}} = \varphi \sqrt{2gH}$

Введем коэффициент скорости $\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta}}$

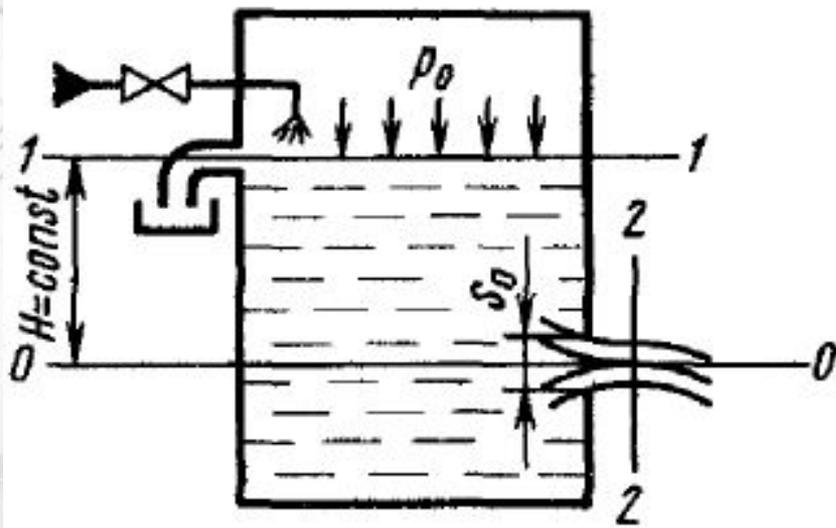
Коэффициент скорости для идеальной жидкости равен 1. (идеальная жидкость — в ней отсутствует вязкость и теплопроводность)

$$v = \sqrt{2gH}.$$

Формула Торричелли:

$$Q = \varepsilon \varphi S \sqrt{2gH} = \mu S \sqrt{2gH},$$

где $\mu = \varepsilon \varphi$ — коэффициент расхода.



Расход через малое отверстие:

$$Q = Sl/t = Sv,$$

$$v_2 = v = \frac{\sqrt{2gH}}{\sqrt{1+\zeta}} = \varphi \sqrt{2gH},$$

$$Q = \varepsilon \varphi S \sqrt{2gH} = \mu S \sqrt{2gH}$$

где $\mu = \varepsilon \varphi$ — коэффициент расхода.

Коэффициенты истечения ε , φ , μ зависят от числа Рейнольдса.

При $Re > 10^4$ они практически постоянны

$$\varepsilon = 0,64; \quad \varphi = 0,97; \quad \mu = 0,62$$

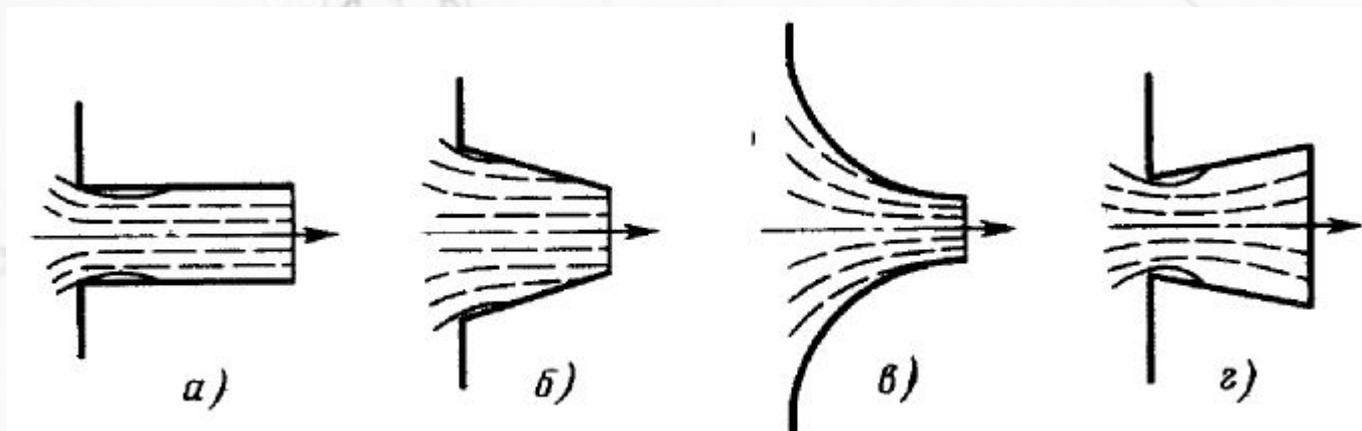
1.9.2. Истечение жидкости из насадков

Гидравлический насадок – короткий напорный патрубок, присоединенный к отверстию в резервуаре.

Потерями по длине пренебрегают. Длина насадка равна $3...4d$

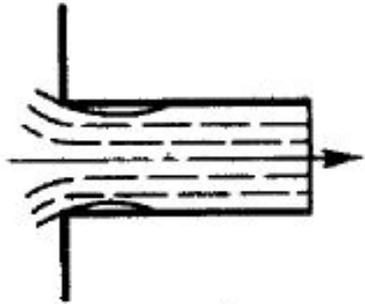
Насадки бывают:

1. По расположению - внутренние и внешние
2. По форму конструкции – цилиндрические (а), конические (сходящиеся и расходящиеся) (б, г), коноидальные (в)



$$v_2 = v = \frac{\sqrt{2gH}}{\sqrt{1+\zeta}} = \varphi \sqrt{2gH} \quad Q = \varepsilon \varphi S \sqrt{2gH} = \mu S \sqrt{2gH}$$

Струя жидкости сначала сжимается, а затем постепенно расширяется, заполняет насадок и истекает из него полным сечением. Внутри насадка в месте сжатия образуется разрежение.



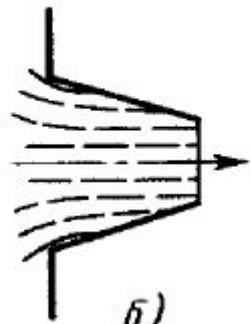
a)

Сжатия струи на $\varepsilon = 1$
 происходит $\mu = \varepsilon \varphi$ — коэффициент расхода.
 $\mu = \varphi$

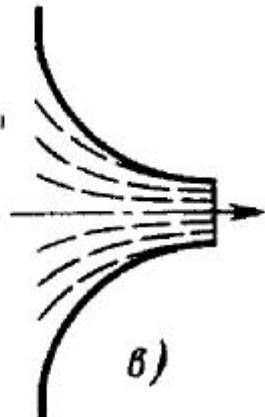
Среднее значение коэффициента сопротивления цилиндрического насадка

$$\zeta = 0,5$$

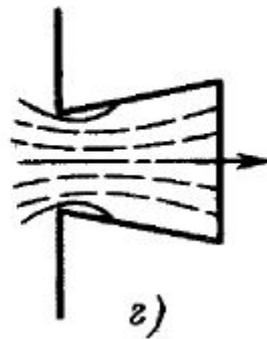
Значит, коэффициент скорости $\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}} = \frac{1}{\sqrt{1+0,5}} = 0,82$.



б)



в)



г)

В конических сходящихся насадках увеличивается не только расход, но и **кинетическая энергия струи**. Коэффициенты φ , μ зависят от угла коничности

$$\varphi = 0,96 \text{ и } \mu = 0,96$$

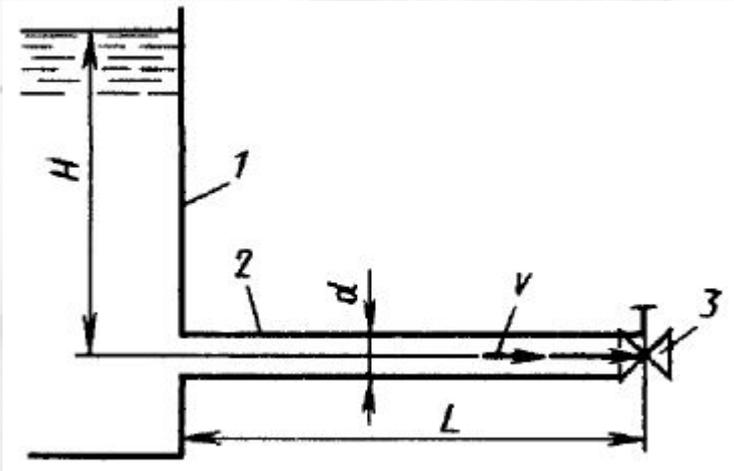
$$\alpha = 13^\circ 24'$$

кинетическая энергия больше

потери меньше

больше разрежение

1.10 Понятие о гидравлическом ударе



- 1 - напорный резервуар;
- 2 - трубопровод;
- 3 - Задвижка.
- v_y - скорость повышения давления

Фаза гидравлического удара

$$T = 2L/v_y.$$

Максимально увеличение давления $\Delta p_{уд} = 10^{-6} \rho v_y v$

Скорость распространения ударной волны

$$v_y = \sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho} / \sqrt{1 + \frac{d}{\delta} \frac{E_{ж}}{E}}},$$

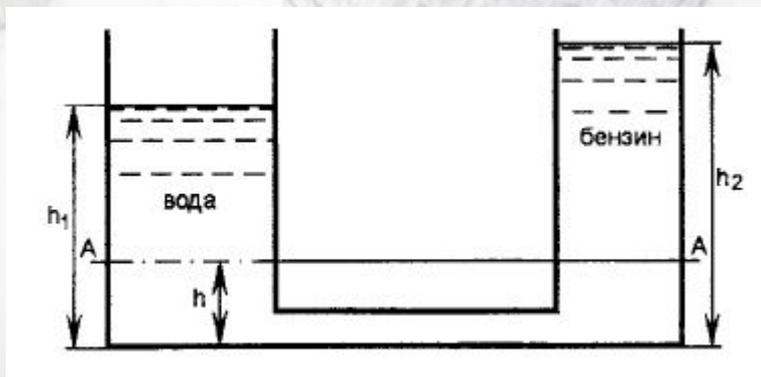
где $E_{ж}$ — модуль объемного сжатия жидкости, E — модуль упругости материала трубы, d — диаметр трубы, δ — толщина стенки трубы

Способы предотвращения гидравлического удара:

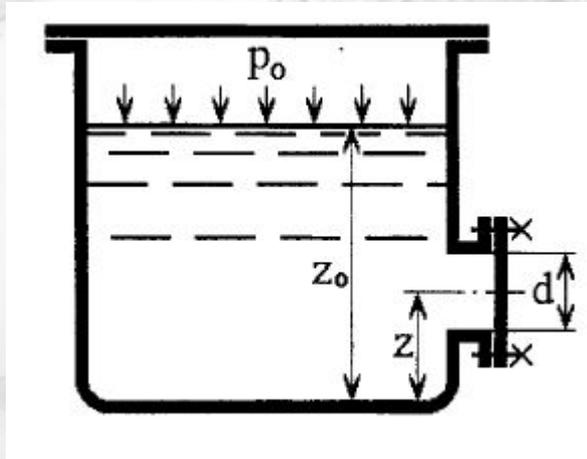
1. Увеличение времени закрытие задвижки
2. Уменьшение скорости течения жидкости (увеличение диаметра труб)
3. Уменьшение длины трубопроводов
4. Повышение прочности слабых звеньев
5. Применение гидроаккумуляторов

Пример. Определить увеличение давления минеральной жидкости в стальном трубопроводе длиной $L = 120$ м при закрытии задвижки в течение $\tau_{\text{зак}} = 2$ с, если скорость жидкости $v = 3$ м/с

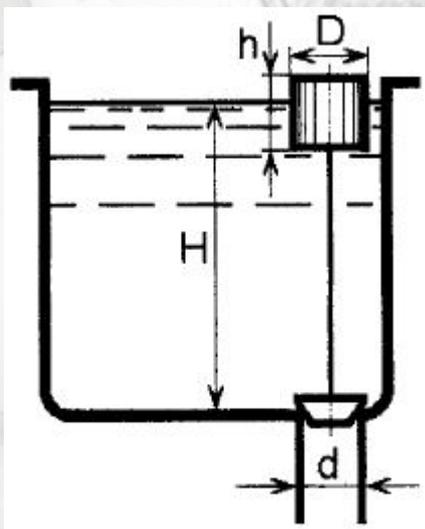
Принимаем плотность жидкости $\rho = 900$ кг/м³. Скорость распространения ударной волны в жидкости $v_{\text{уд}} = 1200$ м/с



В сообщающиеся сосуды налиты вода и бензин. Определить плотность бензина, если высота столба жидкости в левом сосуде $h_1 = 350$ мм, а в правом сосуде $h_2 = 460$ мм. Граница раздела воды и бензина находится на высоте $h = 100$ мм



В боковой стенке закрытого сосуда имеется боковое отверстие круглого сечения диаметром 200 мм, закрытое плоской крышкой. Сосуд заполнен водой до уровня z_0 1,5 м. Центр отверстия находится на расстоянии $Z = 150$ мм от дна сосуда. Определить разрывное усилие, действующее на один из четырех болтов, крепящих крышку, если давление на свободной поверхности жидкости $p_0 = 10$ МПа



Пример 11. Во избежание переполнения водой резервуар снабжен клапаном с поплавком (рис. 10.11). При достижении в резервуаре определенного уровня воды всплывающий поплавок откроет сливной клапан.

Определить диаметр D цилиндрического поплавка высотой $h = 100$ мм, при котором максимальный уровень воды в резервуаре не будет превышать $H = 1,3$ м. Поплавок погружен в жидкость на $2/3$ своего объема. Вес клапана с тягой и поплавком составляет $G = 20$ Н, а диаметр седла клапана $d = 90$ мм.

