

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

ПЛАН ЛЕКЦИИ

ВВЕДЕНИЕ.

1. ОСНОВЫ ГИДРОСТАТИКИ.
2. ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ.
3. ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ПОДОБИЕ И ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ.
4. ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ.
5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ.



ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

ВВЕДЕНИЕ

Гидравлика – наука, изучающая законы движения и равновесия жидкостей и способы приложения этих законов к решению инженерных задач.

Жидкость в гидравлике – это капельная жидкость, газы и пластично-вязкие тела, обладающие текучестью, т.е. они не способны самостоятельно сохранять свою форму.

Идеальная жидкость обладает абсолютной текучестью, не сопротивляется сдвигу и растяжению, абсолютно несжимаема.

Гидравлика делится на две части:

гидростатику и гидродинамику

ВВЕДЕНИЕ

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ - 1

- ПЛОТНОСТЬ – масса единичного объема вещества
 - $\rho = dm/dV$
- УДЕЛЬНЫЙ ОБЪЕМ – величина, обратная плотности
 - $V_{уд} = dV/dm$
- УПРУГОСТЬ характеризует степень сжимаемости, оценивается коэффициентом объемного сжатия
 - $\beta_{сж} = dV/dP \cdot V$
- МОДУЛЬ ОБЪЕМНОЙ УПРУГОСТИ – величина обратная упругости $E = 1/\beta_{сж}$
- РАСШИРЕНИЕ ЖИДКОСТИ при нагревании характеризуется тепловым коэффициентом объемного расширения или коэффициентом температурного расширения
 - $\beta_t = dV/dt \cdot V$
- ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ - величина, равная отношению силы dF , действующей на участок контура поверхности жидкости, к длине dl этого участка
 - $\sigma_n = dF/dl$

ВВЕДЕНИЕ

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ - 2

- КАПИЛЛЯРНОСТЬ – свойство жидкости подниматься или опускаться в трубках и каналах малого диаметра на некоторую высоту под действием сил поверхностного натяжения.
- ВЯЗКОСТЬ – характеризует сопротивление, оказываемое при перемещении одних слоев относительно других.

□ По закону Ньютона сила внутреннего трения

$$□ F_m = \eta \Delta S \, dV/dH, \text{ где}$$

□ dV/dH – градиент скорости;

□ ΔS - площадь поверхностного слоя, на которую рассчитывается сила внутреннего трения, m^2

□ Коэффициент динамической вязкости $\eta = F/\Delta S \cdot (dV/dH)$, Па·с.

□ Кинематический коэффициент вязкости $\gamma = \eta/\rho$, m^2/c

□ Для неньютоновских жидкостей **УДЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ СДВИГА (УДЕЛЬНАЯ СИЛА ТРЕНИЯ)** определяется по формуле:

$$□ \sigma_{уд} = \sigma_{п.т.} + \eta \cdot dV/dH$$

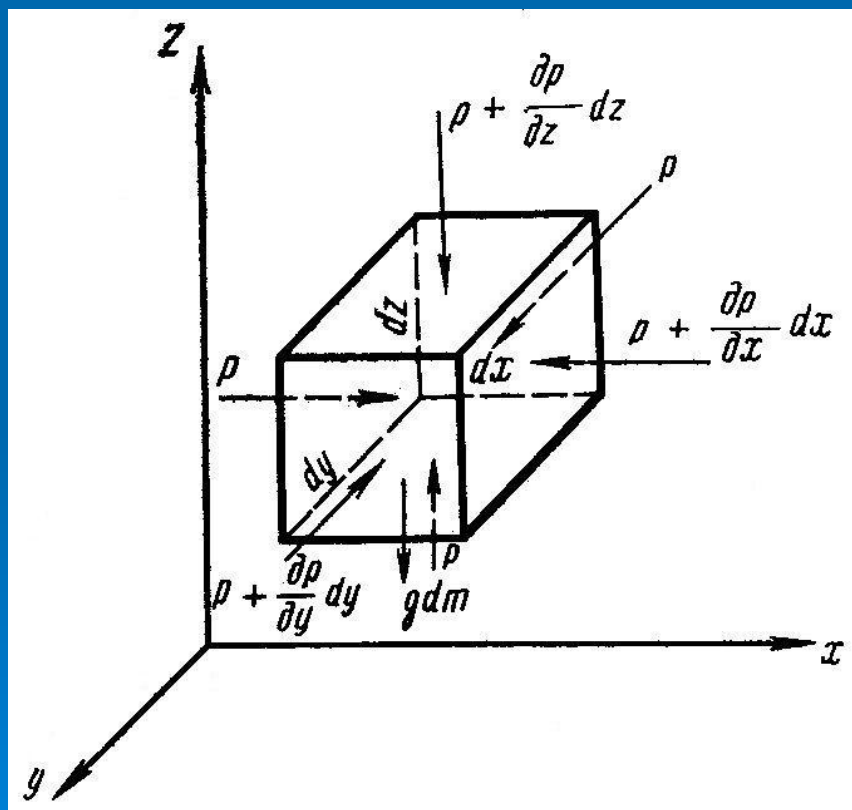
ОСНОВЫ ГИДРОСТАТИКИ

- 1. Давление в покоящейся жидкости и уравнение равновесия Эйлера.
- 2. Основное уравнение гидростатики.
- 3. Законы Паскаля и Архимеда.
- 4. Давление жидкости на стенки и дно сосудов.

ОСНОВЫ ГИДРОСТАТИКИ

ДАВЛЕНИЕ В ПОКОЯЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ И УРАВНЕНИЕ РАВНОВЕСИЕ ЭЙЛЕРА - 1

К ВЫВОДУ УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ЭЙЛЕРА



- ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ ВЫРАЖАЕТСЯ ОТНОШЕНИЕМ:
 - $P = \Delta F / \Delta S.$
- НА ПАРАЛЛЕПИПЕД ДЕЙСТВУЕТ СИЛА ТЯЖЕСТИ И СИЛА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ.
- СИЛА ТЯЖЕСТИ РАВНА:
 - $F_T = gdm.$
- ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ Р ДЕЙСТВУЕТ ПО НОРМАЛИ К ПОВЕРХНОСТИ И НА ПРОТИВОПОЛОЖНЫХ ГРЯНЯХ БУДЕТ ИМЕТЬ СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ПРИРАЩЕНИЯ:

$$\frac{\partial p}{\partial z} dz; \frac{\partial p}{\partial y} dy; \frac{\partial p}{\partial x} dx$$

СОГЛАСНО ОСНОВНОМУ ПРИНЦИПУ СТАТИКИ СУММА ПРОЕКЦИЙ НА ОСИ КООРДИНАТ ВСЕХ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ ОБЪЕМ, НАХОДЯЩИЙСЯ В РАВНОВЕСИИ, РАВНА НУЛЮ.

ОСНОВЫ ГИДРОСТАТИКИ

ДАВЛЕНИЕ В ПОКОЯЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ И УРАВНЕНИЕ РАВНОВЕСИЯ ЭЙЛЕРА - 2

- Ось Z
- СИЛА ТЯЖЕСТИ ПРОЕКТИРУЕТСЯ НА ЭТУ ОСЬ СО ЗНАКОМ «МИНУС», Т.Е.
 - $F = - gdm = - g\rho dV = - g\rho dx dy dz.$
- ПРОЕКЦИЯ СИЛЫ ГИДРАСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ, ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА НИЖНЮЮ ГРАНЬ ПАРАЛЛЕПИПЕДА, БУДЕТ РАВНА $p dx dy$, НА ВЕРХНЮЮ ГРАНЬ – БУДЕТ ИМЕТЬ ЗНАК «МИНУС» И РАВНА

$$- \left(p + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) dx dy$$

- ТАК КАК СУММА ПРОЕКЦИЙ РАВНА, МОЖНО ЗАПИСАТЬ УРАВНЕНИЕ:

$$- g\rho dx dy dz + p dx dy - \left(p + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) dx dy = 0$$

ПОСЛЕ УПРОЩЕНИЯ ОНО ПРИМЕТ ВИД:

$$- g\rho dx dy dz - \frac{\partial p}{\partial z} dx dy dz = 0$$

ТАК КАК $dV = dx dy dz \neq 0$, ТО ОКОНЧАТЕЛЬНО ПОЛУЧИМ:

$$\underline{- g\rho - \partial p / \partial z = 0}$$

ОСНОВЫ ГИДРОСТАТИКИ

ДАВЛЕНИЕ В ПОКОЯЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ И УРАВНЕНИЕ РАВНОВЕСИ ЭЙЛЕРА - 3

ПРОЕКЦИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НА ОСИ X И Y РАВНА НУЛЮ.

СЛЕДОВАТЕЛЬНО, СУММА ПРОЕКЦИЙ СИЛ НА ОСЬ X БУДЕТ ИМЕТЬ ВИД:

$$pdydz - \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dydz = 0$$

ПОСЛЕ УПРОЩЕНИЯ УРАВНЕНИЕ ПРИМЕТ ВИД:

$$- \partial p / \partial y = 0$$

СООТВЕТСТВЕННО СУММА ПРОЕКЦИЙ СИЛ НА ОСЬ Y БУДЕТ ИМЕТЬ ВИД:

$$\partial p / \partial y = 0$$

ТАКИМ ОБРАЗОМ, ПОЛУЧИЛИ СИСТЕМУ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ, КОТОРАЯ НАЗЫВАЕТСЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ РАВНОВЕСИЯ ЭЙЛЕРА:

$$-\partial p / \partial x = 0; \quad -\partial p / \partial y = 0; \quad -g\rho - \partial p / \partial z = 0$$

СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ДАВЛЕНИЕ В ПОКОЯЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ ИЗМЕНЯЕТСЯ ТОЛЬКО ПО ВЕРТИКАЛИ, ОСТАВАЯСЬ ОДИНАКОВЫМ ВО ВСЕХ ТОЧКАХ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

ОСНОВЫ ГИДРОСТАТИКИ

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ ГИДРОСТАТИКИ

- РАССМОТРИМ СИСТЕМУ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА.
- ТАК КАК $\partial p/\partial x$ и $\partial p/\partial y$ РАВНЫ НУЛЮ, ЧАСТНУЮ ПРОИЗВОДНУЮ $\partial p/\partial z$ МОЖНО ЗАМЕНИТЬ НА dp/dz , ТОГДА ПОСЛЕДНЕЕ УРАВНЕНИЕ В СИСТЕМЕ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА ПРИМЕТ ВИД:

$$\square -\rho g - dp/dz = 0.$$

- Представим это уравнение в виде: $-dp - \rho g dz = 0$.

- Разделим оба члена уравнения на ρg , переменим знаки и легко получим:
- $$dz + dp/\rho g = 0.$$

- Учитывая, что для несжимаемой жидкости ρ постоянно, имеем:

$$\square d(z + p/\rho g) = 0.$$

- После интегрирования получим основное уравнение гидростатики:

$$\square z + p/\rho g = \text{const},$$

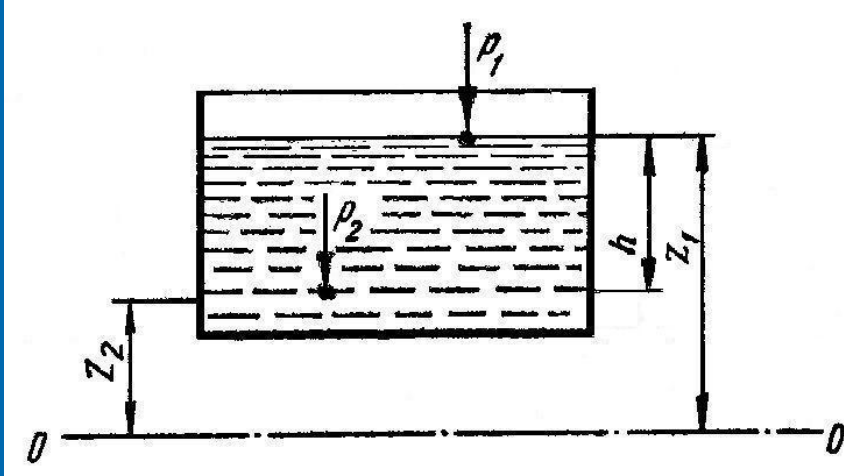
- где z – геометрический напор или нивелирная высота, м;

- $p/\rho g$ – статический или пьезометрический напор, м

ДЛЯ КАЖДОЙ ТОЧКИ ПОКОЯЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ СУММА НИВЕЛИРНОЙ ВЫСОТЫ И ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОГО НАПОРА ЕСТЬ ВЕЛИЧИНА ПОСТОЯННАЯ

ОСНОВЫ ГИДРОСТАТИКИ

ЗАКОНЫ ПАСКАЛЯ И АРХИМЕДА - 1



p_1 и p_2 – гидростатическое давление в точках 1 и 2; z_1 и z_2 – высота выбранных точек от плоскости отчета 0-0

Для данного случая основное уравнение гидростатики представим в виде:

$$z_1 + p_1/\rho g = z_2 + p_2/\rho g$$

или
$$z_1 - z_2 = (p_2 - p_1)/\rho g$$

ЗАПИШЕМ ПОСЛЕДНЕЕ УРАВНЕНИЕ В ВИДЕ:

$$\rho g (z_1 - z_2) = p_2 - p_1,$$

ОТКУДА

$$\underline{p_2 = p_1 + \rho g(z_1 - z_2) = p_1 + \rho g h.}$$

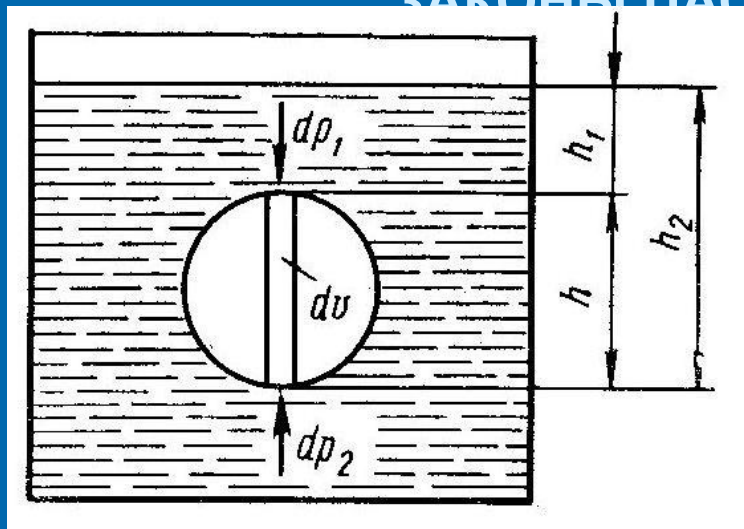
где z_1 - нивелирная высота, м; h – глубина погружения рассматриваемой точки в жидкость, м.

**ЭТО МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
ВЫРАЖЕНИЕ ЗАКОНА
ПАСКАЛЯ. ОН ГЛАСИТ:**

**ДАВЛЕНИЕ, СОЗДАВАЕМОЕ В
ЛЮБОЙ ТОЧКЕ ПОКОЯЩЕЙСЯ
НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ,
ПЕРЕДАЕТСЯ ВСЕМ ТОЧКАМ
ЕЕ ОБЪЕМА**

ОСНОВЫ ГИДРОСТАТИКИ

ЗАКОНЫ ПАСКАЛЯ И АРХИМЕДА - 2



СУММАРНАЯ СИЛА ДАВЛЕНИЯ НА
ВЕРХНЮЮ ПЛОЩАДКУ БУДЕТ РАВНА:

$$dp_1 = \rho_{\text{ж}} g h_1 dS,$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м^3 ; g –
ускорение свободного падения, м/с^2 ;
 $h_1 \cdot dS$ – элементарный объем жидкости,
находящийся над верхней площадкой, м^3 .

СУММАРНАЯ СИЛА ДАВЛЕНИЯ НА
НИЖНЮЮ ПЛОЩАДКУ СОСТАВИТ:

$$dp_2 = \rho_{\text{ж}} g h_2 dS.$$

РАЗНОСТЬ СИЛ БУДЕТ ПРЕДСТАВЛЯТЬ СОБОЙ
ВЫТАЛКИВАЮЩУЮ (ПОДЪЕМНУЮ) СИЛУ, К-
РАЯ ДЕЙСТВУЕТ НА ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ
ОБЪЕМ ПОГРУЖЕННОГО ТЕЛА И
НАПРАВЛЕНА ВЕРТИКАЛЬНО ВВЕРХ:

$$dp_{\text{в}} = dp_2 - dp_1 = \rho_{\text{ж}} g (h_2 - h_1) dS = \rho_{\text{ж}} g h dS,$$

ГДЕ $h dS$ – ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ ОБЪЕМ ТЕЛА.

ПРОИНТЕГРИРОВАВ ЭТО ВЫРАЖЕНИЕ,

ПОЛУЧИМ:
$$p_{\text{в}} = \rho_{\text{ж}} g h S = \rho_{\text{ж}} g V.$$

□ ЭТО МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ
ЗАКОНА АРХИМЕДА

НА ПОГРУЖЕННОЕ ТЕЛО ЕЩЕ ДЕЙСТВУЕТ
СИЛА ТЯЖЕСТИ: $F_{\text{т}} = \rho_{\text{т}} g V.$

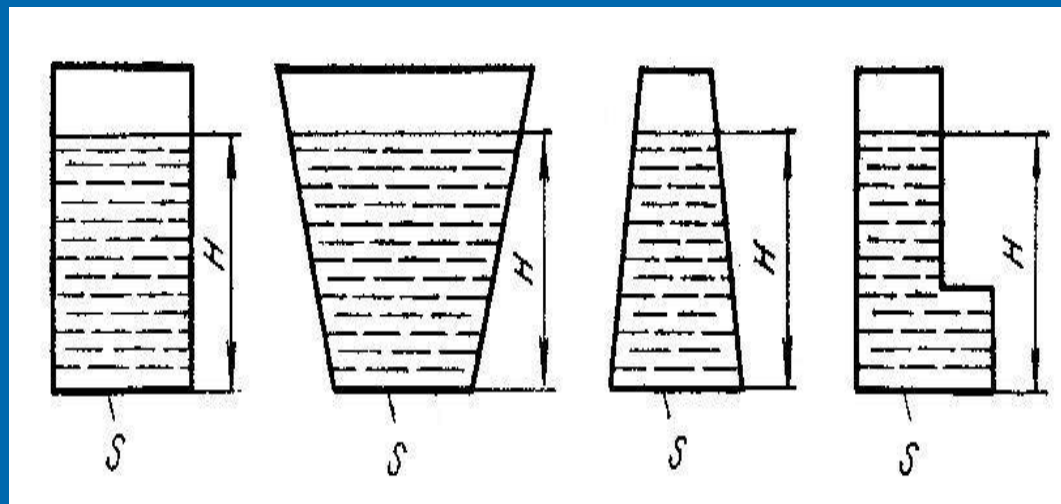
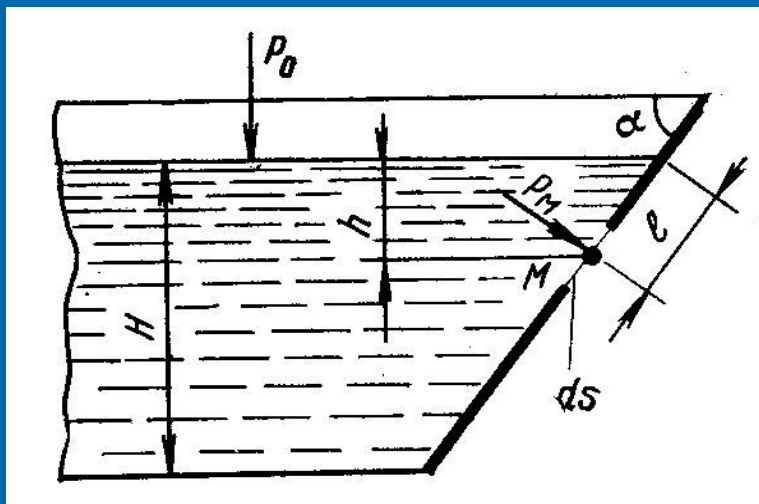
Следовательно, результирующую силу
можно представить как разность этих
двух сил: $p_{\text{р}} = F_{\text{т}} - p_{\text{в}} = V (\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{ж}}) g$

Знак результирующей силы показывает
либо погружение, либо всплытие тела:

$$\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{ж}}; \quad \rho_{\text{т}} < \rho_{\text{ж}}; \quad \rho_{\text{т}} = \rho_{\text{ж}}$$

ОСНОВЫ ГИДРОСТАТИКИ

ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ НА СТЕНКИ И ДНО СОСУДОВ



ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ НА СТЕНКУ СОСУДА В ТОЧКЕ M СОГЛАСНО ЗАКОНУ ПАСКАЛЯ:

$$p_M = p_0 + \rho \cdot g \cdot h = p_0 + \rho \cdot g \cdot l \cdot \sin \alpha.$$

СИЛА ПОЛНОГО СУММАРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТАРНУЮ ПЛОЩАДКУ dS БУДЕТ РАВНА:

$P = (p_0 + \rho g l \sin \alpha) dS$, где l – расстояние до центра тяжести стенки от поверхности жидкости
ИНТЕГРИРОВАНИЕ ЭТОГО УРАВНЕНИЯ ПОЗВОЛЯЕТ ПОЛУЧИТЬ ВЕЛИЧИНУ ПОЛНОГО ДАВЛЕНИЯ
НА БОКОВУЮ СТЕНКУ СОСУДА:

$$P_{\text{ст}} = (p_0 + \rho \cdot g \cdot l \cdot \sin \alpha) \cdot S.$$

НА ДНО СОСУДА БУДЕТ ДЕЙСТВОВАТЬ ПОЛНАЯ СИЛА ДАВЛЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЯЕМАЯ ПО

ФОРМУЛЕ: $P \cdot g = (p_0 + \rho \cdot g \cdot H) \cdot S.$

ВЫВОД: ПРИ РАВНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ H И S ДНО СОСУДОВ С ЖИДКОСТЬЮ БУДЕТ ИСПЫТЫВАТЬ ОДИНАКОВОЕ СУММАРНОЕ ДАВЛЕНИЕ ВНЕ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ФОРМЫ.

ЭТО ЯВЛЕНИЕ НОСИТ НАЗВАНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПАРАДОКСА (1642 ГИЛЛЕЯ)

ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ

- 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ.
- 2. РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ (ТЕЧЕНИЯ) ЖИДКОСТЕЙ.
- 3. УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЭЙЛЕРА.
- 4. УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ.

ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ -1

ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГИДРОДИНАМИКИ ВЫДЕЛЯЮТ *ВНУТРЕННЮЮ, ВНЕШНЮЮ И СМЕШАННУЮ* ЗАДАЧИ.

ВНУТРЕННЯЯ СВЯЗАНА С ДВИЖЕНИЕМ ЖИДКОСТИ ПО РАЗЛИЧНЫМ КАНАЛАМ И ТРУБАМ.

ВНЕШНЯЯ ПОСВЯЩЕНА ЗАДАЧАМ ПО ОБТЕКАНИЮ ЖИДКОСТЬЮ РАЗЛИЧНЫХ ТЕЛ ИЛИ ДВИЖЕНИЮ ЭТИХ ТЕЛ ВНУТРИ ЖИДКОСТИ.

СМЕШАННАЯ ИЗУЧАЕТ ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ ПО КАНАЛАМ ИЛИ ТРУБАМ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ОБТЕКАНИИ ЕЮ КАКИХ-ЛИБО ТЕЛ.

ЖИВЫМ ИЛИ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ ПОТОКА НАЗЫВАЮТ СЕЧЕНИЕ ПОТОКА, ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЕ К ЕГО ОСИ.

РАСХОДОМ НАЗЫВАЮТ КОЛИЧЕСТВО ЖИДКОСТИ, ПРОТЕКАЮЩЕЙ В ЕДИНИЦУ ВРЕМЕНИ ЧЕРЕЗ ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ ПОТОКА. РАЗЛИЧАЮТ *ОБЪЕМНЫЙ И МАССОВЫЙ РАСХОД*.

ОБЪЕМНЫЙ РАСХОД ЖИДКОСТИ ОПРЕДЕЛЯЮТ ПО ФОРМУЛЕ:

$$V = v_{\text{ср}} S,$$

где $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость течения жидкости, м/с; S - поперечное сечение потока, м².

МАССОВЫЙ РАСХОД ЖИДКОСТИ ОПРЕДЕЛЯЮТ ПО УРАВНЕНИЮ:

$$M = \rho v_{\text{ср}} S,$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³

ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ

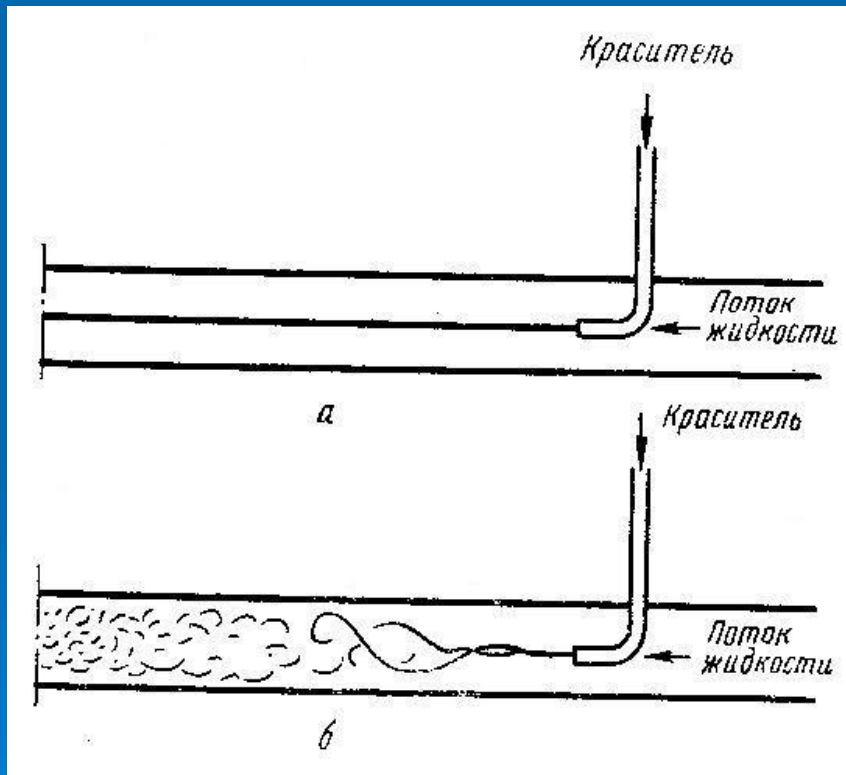
ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ- 2

- РАЗЛИЧАЮТ УСТАНОВИВШИЙСЯ И НЕУСТАНОВИВШИЙСЯ ВИДЫ ДВИЖЕНИЯ.
- УСТАНОВИВШЕЕСЯ, ИЛИ СТАЦИОНАРНОЕ, ДВИЖЕНИЕ ТАКОЕ, ПРИ КОТОРОМ СКОРОСТЬ ЖИДКОСТИ В КАЖДОЙ ФИКСИРОВАННОЙ ТОЧКЕ КАНАЛА НЕ ИЗМЕНЯЕТСЯ ВО ВРЕМЕНИ.
- Т.К. ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ ПРОИСХОДИТ В РАЗЛИЧНОГО РОДА КАНАЛАХ, ИМЕЮЩИХ ФОРМУ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ, ОТЛИЧНУЮ ОТ КРУГЛОЙ, ПРИБЕГАЮТ К ПОНЯТИЮ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ДИАМЕТРА ИЛИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАДИУСА.
- ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАДИУС ОПРЕДЕЛЯЮТ ПО ФОРМУЛЕ:
 - $r_{\text{гид.}} = S/\Pi,$
 - где Π – смоченный периметр, м.
 - ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ ДИАМЕТР РАВЕН ЧЕТЫРЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ РАДИУСАМ
 - $d_{\text{э}} = 4r_{\text{гид.}}$
- ДЛЯ ТРУБ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ ДИАМЕТР ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ СОВПАДАЕТ С ДИАМЕТРОМ ЭКВИВАЛЕНТНЫМ.

ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ

РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ (ТЕЧЕНИЯ) ЖИДКОСТИ

РЕЖИМЫ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ



а – ламинарный; б - турбулентный

□ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ ПЕРЕХОДА ОДНОГО РЕЖИМА В ДРУГОЙ ИСПОЛЬЗУЮТ БЕЗРАЗМЕРНЫЙ КРИТЕРИЙ РЕЙНОЛЬДСА, КОТОРЫЙ ИМЕЕТ СЛЕДУЮЩИЙ ВИД:

□ $Re = v_{\text{ср}} d_{\text{э}} \rho / \eta = v_{\text{ср}} d_{\text{э}} / \gamma$,
где γ – кинематический коэффициент вязкости.

УСТАНОВЛЕНО, ЧТО ПЕРЕХОД ЛАМИНАРНОГО ДВИЖЕНИЯ В ТУРБУЛЕНТНОЕ ПРОИСХОДИТ ПРИ ЗНАЧЕНИЯХ КРИТЕРИЯХ РЕЙНОЛЬДСА ВЫШЕ КРИТИЧЕСКОГО

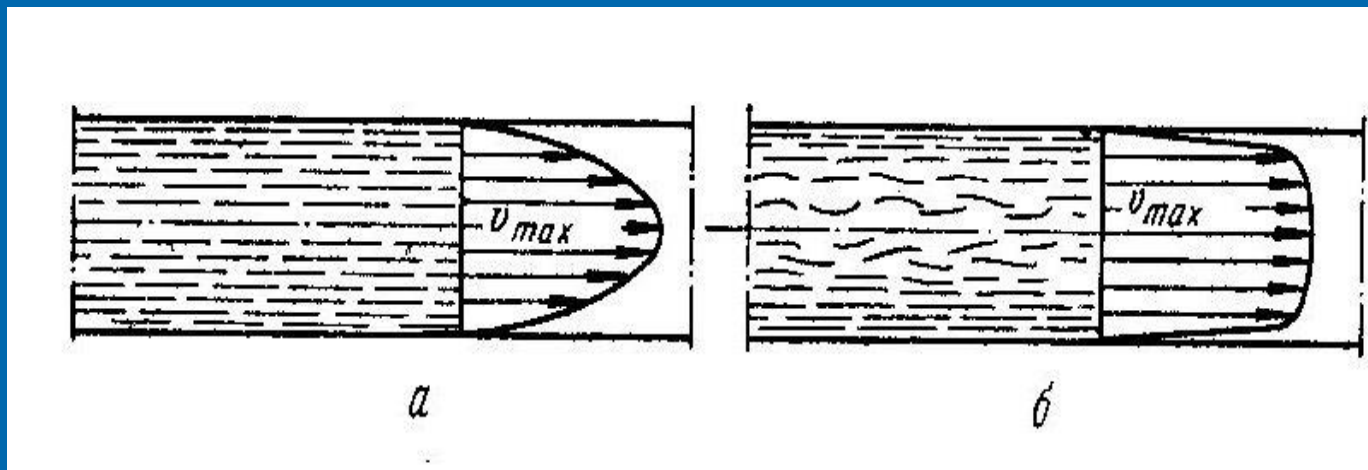
для круглых труб $Re_{\text{кр}} = 2320$.
ПРИ $Re_{\text{кр}} > Re$ РЕЖИМ ТЕЧЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНЫЙ.

ПРИ $Re_{\text{кр}} < Re$ РЕЖИМ ТЕЧЕНИЯ ЛАМИНАРНЫЙ.

ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ЖИДКОСТИ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ В ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ



а – ПРИ ЛАМИНАРНОМ РЕЖИМЕ ТЕЧЕНИЯ; б – ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ РЕЖИМЕ ТЕЧЕНИЯ

- МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ СКОРОСТИ БУДЕТ НА ОСИ ПОТОКА, КОГДА $r = 0$:

- $$v_{\max} = (p_1 - p_2) R^2 / 4\eta l.$$

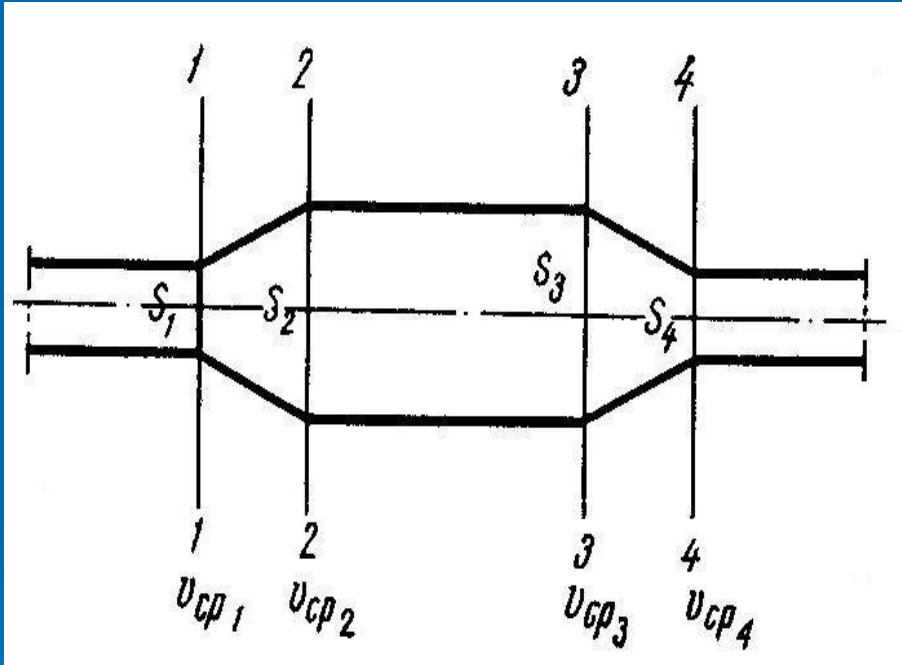
- ЗНАЧЕНИЕ СКОРОСТИ ПОТОКА В ЗАДАННОМ СЕЧЕНИИ МОЖНО ОПРЕДЕЛИТЬ ПО ФОРМУЛЕ:

- $$v_r = v (1 - r^2/R^2),$$

ГДЕ r – радиус заданного сечения

ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ

УРАВНЕНИЕ НЕРАЗРЫВНОСТИ ПОТОКА



ПРИНИМАЕМ:

- ТРУБОПРОВОД ПОЛНОСТЬЮ ЗАПОЛНЕН ЖИДКОСТЬЮ;
- ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ УСТАНОВИВШЕЕСЯ.

- ПРИ ЭТОМ В КАЖДОМ ФИКСИРОВАННОМ СЕЧЕНИИ S_1, S_2, S_3, S_4 СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ ДОЛЖНА БЫТЬ ПОСТОЯННОЙ, СЛЕДОВАТЕЛЬНО,

$$v_{cp1} \neq v_{cp2} \neq v_{cp3} \neq v_{cp4}$$

- ВМЕСТЕ С ТЕМ ЧЕРЕЗ ЛЮБОЕ СЕЧЕНИЕ ПРОТЕКАЕТ ОДИНАКОВОЕ КОЛИЧЕСТВО ЖИДКОСТИ, ТАК КАК ЕЕ ОБЪЕМ

$$V = \text{const.}$$

- СЛЕДОВАТЕЛЬНО, МОЖНО ЗАПИСАТЬ, ЧТО

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_4$$

- В СВОЮ ОЧЕРЕДЬ

$$V_1 = v_{cp1} S_1 = v_{cp2} S_2 = v_{cp3} S_3 = v_{cp4} S_4$$

- Т.Е., МОЖНО ЗАПИСАТЬ

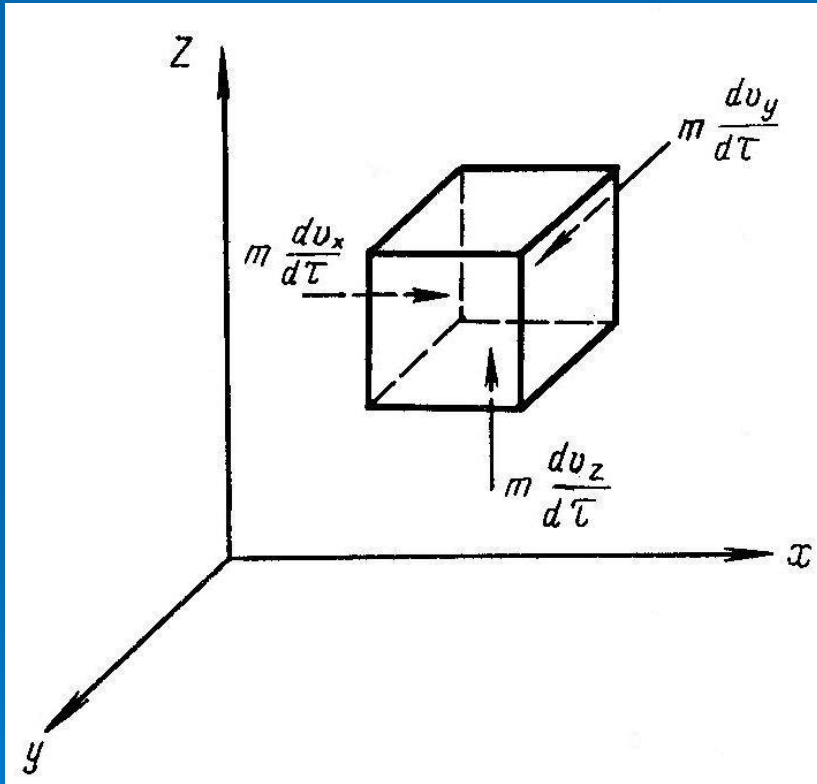
$$V = v_{cp} S = \text{const}$$

- ЭТО УРАВНЕНИЕ НЕРАЗРЫВНОСТИ ИЛИ СПЛОШНОСТИ (КОЛИЧЕСТВО ЖИДКОСТИ, ПРОТЕКАЮЩЕЙ ЧЕРЕЗ КАКОЙ-ЛИБО ОБЪЕМ, ОДИНАКОВО КАК ПРИ ВХОДЕ В НЕГО, ТАК И ПРИ ВЫХОДЕ ИЗ НЕГО.

- ЖИДКОСТЬ ДВИЖЕТСЯ СПЛОШНОЙ НЕРАЗРЫВНОЙ МАССОЙ

ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ

УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЭЙЛЕРА - 1



Известно, что проекции сил давления и тяжести проецируются на соответствующие оси следующим образом:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz;$$

$$-\frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz;$$

$$-\left(\rho g + \frac{\partial p}{\partial z} \right) dx dy dz.$$

ДЛЯ УПРОЩЕНИЯ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ И ТЯЖЕСТИ
НА РИСУНКЕ НЕ ПОКАЗАНЫ

ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЭЙЛЕРА - 2

- СИЛЫ, ПОД ДЕЙСТВИЕМ КОТОРЫХ ПРОИСХОДИТ ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ОБЪЕМА, РАВНЫ ЕГО МАССЕ, УМНОЖЕННОЙ НА УСКОРЕНИЕ. В НАШЕМ СЛУЧАЕ:

- $m \cdot dv_x / d\zeta; \quad m \cdot dv_y / d\zeta; \quad m \cdot dv_z / d\zeta.$

- ИЗВЕСТНО, ЧТО $m = \rho dV = \rho dx dy dz.$

- В СООТВЕТСТВИИ С ОСНОВНЫМ ПРИНЦИПОМ ДИНАМИКИ, ПОЛУЧИМ:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz = \rho dx dy dz dv_x / d\tau;$$

$$-\frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz = \rho dx dy dz dv_y / d\tau;$$

$$-\left(\rho g + \frac{\partial p}{\partial z} \right) dx dy dz = \rho dx dy dz dv_z / d\tau.$$

ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЭЙЛЕРА - 3

□ УПРОСТИВ ПОЛУЧЕННЫЕ УРАВНЕНИЯ, ПОЛУЧИМ:

$$\rho dv_x / d\tau = -\partial p / \partial x;$$

$$\rho dv_y / d\tau = -\partial p / \partial y;$$

$$\rho dv_z / d\tau = -\rho g - \partial p / \partial z.$$

Это система дифференциальных уравнений Эйлера для установившегося движения идеальной жидкости

ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ -1

ПРЕОБРАЗУЕМ УРАВНЕНИЯ ЭЙЛЕРА, УМНОЖИВ ПЕРВОЕ НА dx И РАЗДЕЛИВ НА ρ , ВТОРОЕ УМНОЖИВ НА dy И РАЗДЕЛИВ НА ρ , ТРЕТЬЕ УМНОЖИВ НА dz И РАЗДЕЛИВ НА ρ . ТАКИМ ОБРАЗОМ, ПОЛУЧИМ:

$$\frac{dx}{d\tau} dv_x = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} dx;$$

$$\frac{dy}{d\tau} dv_y = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} dy;$$

$$\frac{dz}{d\tau} dv_z = -gdz - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} dz.$$

ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ - 2

ОЧЕВИДНО, ЧТО dx/dz ; dy/dz ; dz/dz ПРЕДСТАВЛЯЮТ СОБОЙ ПРОЕКЦИИ СКОРОСТИ v_x , v_y , v_z НА СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ОСИ КОРРДИНАТ.

СЛОЖИВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ, ПОЛУЧИМ:

$$v_x dv_x + v_y dv_y + v_z dv_z = -gdz - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right).$$

КАЖДОЕ ИЗ СЛАГАЕМЫХ ЛЕВОЙ ЧАСТИ УРАВНЕНИЯ МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОМ: $v_x dv_x = d(v_x^2/2)$; $v_y dv_y = d(v_y^2/2)$; $v_z dv_z = d(v_z^2/2)$.

ОТСЮДА ЛЕВАЯ ЧАСТЬ УРАВНЕНИЯ ПРИМЕТ ВИД:

$$d(v_x^2/2) + d(v_y^2/2) + d(v_z^2/2) = d[(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)/2] = d(v^2/2).$$

КАК ВИДНО, ВТОРОЙ ЧЛЕН ПРАВОЙ ЧАСТИ УРАВНЕНИЯ, СТОЯЩИЙ В СКОБКАХ, ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ПОЛНЫЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ДАВЛЕНИЯ, СЛЕДОВАТЕЛЬНО, МОЖНО ЗАПИСАТЬ

$$d(v^2/2g) + dp/\rho g + dz = 0 \text{ или } d(z + p/\rho g + v^2/2g) = 0.$$

ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ - 3

ОТСЮДА МОЖНО ПОЛУЧИТЬ ОДНО ИЗ САМЫХ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
УРАВНЕНИЙ ГИДРАВЛИКИ - УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ:

$$z + p/\rho g + v^2/2g = \text{const},$$

где z – нивелирная высота, или геометрический, напор,
 $p/\rho g$ – пьезометрический напор,
 $v^2/2g$ – скоростной, или динамический, напор.

СУММА ВСЕХ ТРЕХ ЧЛЕНОВ УРАВНЕНИЯ БЕРНУЛЛИ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ
ВЫРАЖАЕМЫЙ В МЕТРАХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ НАПОР

УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ В ВИДЕ:

$$z_1 + p_1/\rho g + v_1^2/2g = z_2 + p_2/\rho g + v_2^2/2g.$$

ЭТО ОЗНАЧАЕТ, ЧТО ДЛЯ ВСЕХ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ
ПОТОКА ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ ВЕЛИЧИНА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО
НАПОРА ОСТАЕТСЯ НЕИЗМЕННОЙ.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ПОДОБИЕ И ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

- 1. Исходные предпосылки гидродинамического подобия.
- 2. Основные критерии гидродинамического подобия.
- 3. Гидравлические сопротивления.
- 4. Расчет диаметров трубопроводов.

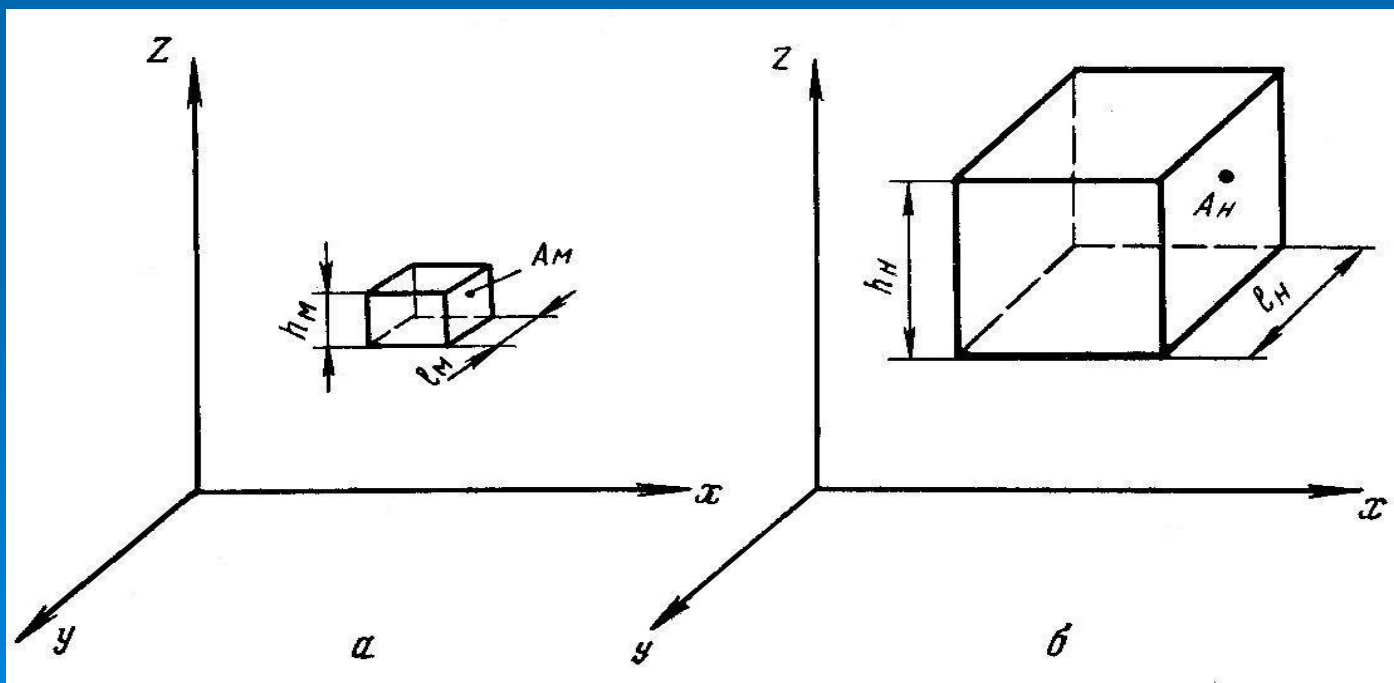
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ПОДОБИЕ И ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

ИСХОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ - 1

ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НАЗЫВАЮТСЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ ПОДОБНЫМИ, ЕСЛИ:

- 1) ЭТИ ЯВЛЕНИЯ ПРОТЕКАЮТ В ГЕОМЕТРИЧЕСКИ ПОДОБНЫХ СИСТЕМАХ;
- 2) ПОЛЯ ВСЕХ ОДНОИМЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЯВЛЕНИЯ, ПОДОБНЫ.

ПРОИЛЛЮСТРИРУЕМ ЭТО НА РИСУНКЕ, ГДЕ а – МОДЕЛЬ; б - НАТУРА



ИСХОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ - 2

СОГЛАСНО ПЕРВОМУ УСЛОВИЮ МОЖЕМ ПРЕДПОЛОЖИТЬ, ЧТО

$$l_m / l_n = h_m / h_n = x_m / x_n = y_m / y_n = z_m / z_n = \Gamma_n,$$

где l_m, h_m, l_n, h_n - некоторые линейные размеры модели и сходственные размеры натуре; $x_m, y_m, z_m, x_n, y_n, z_n$ - координаты любой пары сходственных точек А модели и натуре; Γ_n - константа, или критерий, геометрического подобия.

ПРИМЕМ, ЧТО НА РИС. ПРЕДСТАВЛЕНЫ ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ОБЪЕМЫ ДВИЖУЩИХСЯ ПОТОКОВ. ТОГДА СОГЛАСНО ВТОРОМУ УСЛОВИЮ ПОДОБИЯ СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА СХОДСТВЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ ПОТОКОВ МОДЕЛИ И НАТУРНОГО ОБРАЗЦА, ДОЛЖНЫ БЫТЬ ПОДОБНЫМИ, СЛЕДОВАТЕЛЬНО:

$$F_m / F_n = M_m a_m / M_n a_n = C_F,$$

где M_m, M_n - масса точки модели и натурального образца, кг; a_m, a_n - ускорение в точках A_m и A_n ; C_F - симплекс подобия сил. Отсюда

$$F_m / M_m a_m = F_n / M_n a_n.$$

УЧИТЫВАЯ, ЧТО $a = v / \zeta$ и $\zeta = l / v$, где v - скорость, м/с; ζ - время, с; l - путь, м, можно записать:

$$F_m \zeta_m / M_m v_m = F_n \zeta_n / M_n v_n = F \zeta / M v = Fl / M v^2 = Ne.$$

БЕЗРАЗМЕРНАЯ ВЕЛИЧИНА Ne НАЗЫВАЕТСЯ **КРИТЕРИЕМ НЬЮТОНА**.

ОН ХАРАКТЕРИЗУЕТ ПОДОБИЕ ПРОЦЕССОВ, В КОТОРЫХ НЕОБХОДИМО УЧИТЫВАТЬ ОТНОШЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА ЧАСТИЦУ СИЛЫ К СИЛЕ ИНЕРЦИИ

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ПОДОБИЕ И ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ КРИТЕРИЕВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ

КРИТЕРИИ: **ХАРАКТЕРИЗУЮТ ПОДОБИЕ:**

- Рейнольдса — процессов, в которых действуют силы вязкого трения и силы инерции, а также режим движения потока жидкости
- Фруда — процессов, в которых действуют силы тяжести и силы инерции
- Эйлера — процессов в потоках, в которых действуют силы давления и силы инерции
- Галилея — потоков, в которых действуют силы вязкого трения и силы тяжести
- Архимеда — движения жидкости вследствие разности плотностей в различных ее слоях
- Грасгофа — потоков, в которых действуют силы вязкого трения и подъемная сила, возникающие вследствие разности температур в различных слоях жидкости
- Гомохронности — явлений в модели и натурном образце в определенный момент времени. Кроме того, критерий гомохронности учитывает неустановившийся характер движения в подобных потоках

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ПОДОБИЕ И ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ – 1

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОДРАЗДЕЛЯЮТСЯ НА ДВА ВИДА:

1) СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЯ; 2) СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕСТНЫЕ.

В СУММЕ ЭТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРЕДСТАВЛЯЮТ СОБОЙ ПОТЕРИ НАПОРА:

$$\square h_{гс} = h_{тр} + h_{мс},$$

где $h_{гс}$ - гидравлические сопротивления, или потери напора, м; $h_{тр}$ – сопротивления трения, м; $h_{мс}$ – местные сопротивления, м.

НА ВЕЛИЧИНУ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТРЕНИЯ ОКАЗЫВАЮТ ВЛИЯНИЕ ДЛИНА ТРУБОПРОВОДА, ЕГО РАЗМЕРЫ, РЕЖИМ ТЕЧЕНИЯ И СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ.

ВЕЛИЧИНА СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЯ МОЖЕТ БЫТЬ ОПРЕДЕЛЕНА ИЗ УРАВНЕНИЯ БЕРНУЛЛИ ПО ФОРМУЛЕ:

$$h_{тр} = \varphi_{тр} (l / d) (v_{ср}^2 / 2g),$$

где $v_{ср}$ – средняя скорость потока, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; l – длина трубопровода, м; d – диаметр трубопровода, м; $\varphi_{тр}$ – коэффициент сопротивления по длине, или коэффициент потерь энергии (он зависит от режима течения жидкости).

ПРИ ДВИЖЕНИИ В ТРУБАХ ДЛЯ ЛАМИНАРНОГО ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ:

$$\varphi_{тр} = 64 / Re;$$

ДЛЯ ТУРБУЛЕНТНОГО:

$$\varphi_{тр} = 0,3164 / \sqrt[4]{Re}$$

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ПОДОБИЕ И ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ – 2

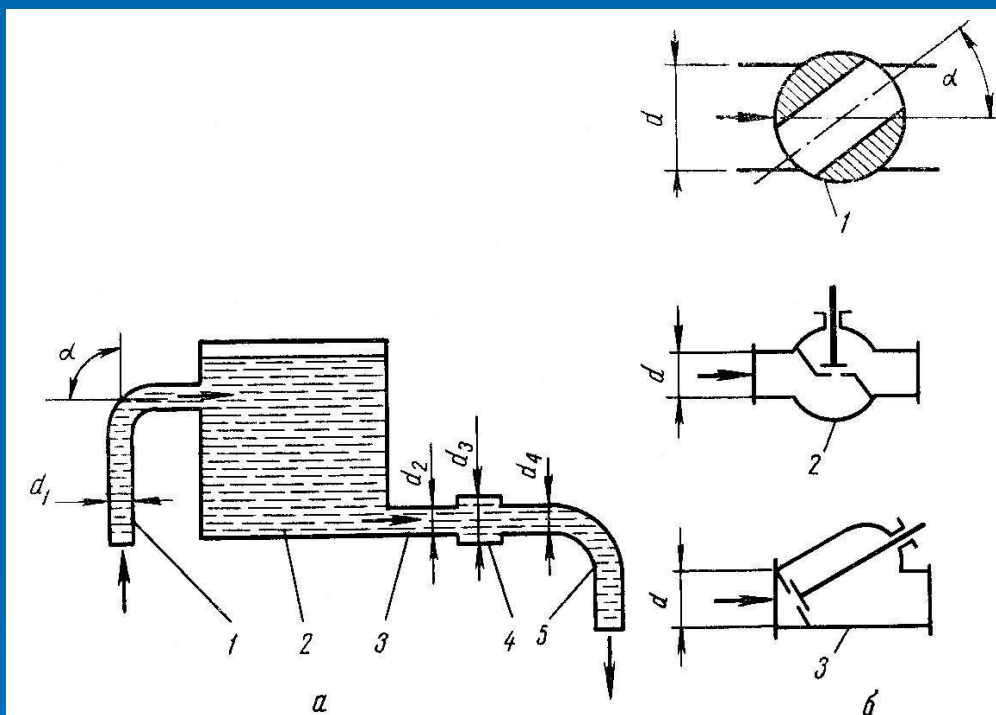


Схема к пояснению местных сопротивлений:

a — некоторые виды местных сопротивлений: 1 — вводный патрубок; 2 — сосуд большого объема; 3 — переходной патрубок; 4 — трубопровод увеличенного диаметра; 5 — отводной патрубок; *б* — некоторые виды запорно-регулирующих устройств: 1 — пробковый кран; 2 — стандартный вентиль; 3 — прямооточный вентиль с наклонным шпинделем

ДЛЯ КОНКРЕТНОГО СЛУЧАЯ:

$$h_{мс} = \varphi_{мс} v_{ср}^2 / 2g.$$

СУММАРНЫЕ МЕСТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ:

$$h_{мс} = \sum \varphi_{мс} v_{ср}^2 / 2g.$$

ОБЩИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ (ПОТЕРИ НАПОРА) МОЖНО ОПРЕДЕЛИТЬ СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОМ:

$$h_{гс} = \varphi_{тр} (l / d) (v_{ср}^2 / 2g) + \sum \varphi_{мс} v_{ср}^2 / 2g$$

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ПОДОБИЕ И ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

РАСЧЕТ ДИАМЕТРА ТРУБОПРОВОДА

- Для определения диаметра трубопровода используют уравнение объемного расхода жидкости:

$$\square V = v_{\text{ср}} S = v_{\text{ср}} \pi d^2 / 4.$$

- Преобразовав это уравнение, получим:

$$\square d = 2 \sqrt{V / \pi v_{\text{ср}}}.$$

- При определении диаметров трубопроводов нужно знать:

- - секундный расход жидкости или газа;
- - среднюю скорость движения жидкости.

- При расчетах принимают:

- - скорость капельных жидкостей 1...3 м/с;
- - скорость газа и воздуха под небольшим давлением 8...15 м/с;
- - скорость газов с большим давлением 15...20 м/с;
- - скорость насыщенного водяного пара 20...30 м/с;
- - скорость перегретого водяного пара 30...50 м/с.

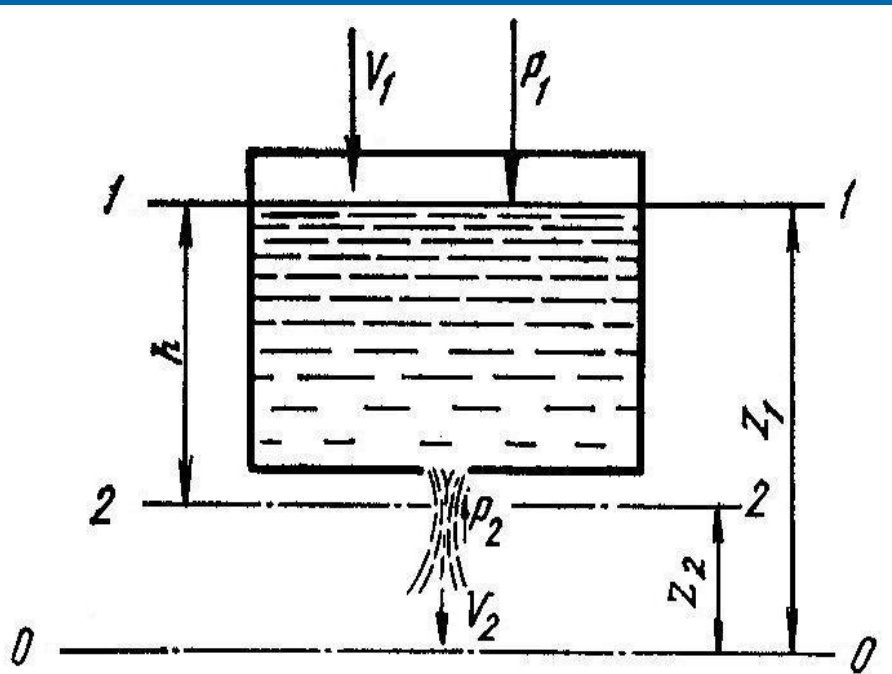
ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ

- 1. Истечение жидкости из резервуаров.
- 2. Струи жидкости и их воздействие на стенки сосудов.

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ РЕЗЕРВУАРОВ - 1

А – ПРИ ПОСТОЯННОМ УРОВНЕ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРЕ



Истечение жидкости
из резервуара при постоянном ее уровне

УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ ДЛЯ СЕЧЕНИЙ
1-1 И 2-2 БУДЕТ ИМЕТЬ ВИД:

$$z_1 + p_1 / \rho g + v_1^2 / 2g =$$
$$z_2 + p_2 / \rho g + v_2^2 / 2g$$

В НАШЕМ СЛУЧАЕ ИСТЕЧЕНИЕ ВЕДЕТСЯ
ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ, Т.Е.
 $p_1 = p_2$. Т.К. УРОВЕНЬ ЖИДКОСТИ
ПОСТОЯНЕН, СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ
ЖИДКОСТИ В СЕЧЕНИИ 1-1 БУДЕТ
РАВНА НУЛЮ ($v_1 = 0$). ТОГДА
УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ ПРИМЕТ ВИД

$$z_1 - z_2 = h = v_2^2 / 2g.$$

ОТСЮДА СКОРОСТЬ ИСТЕЧЕНИЯ РАВНА:

$$v_1 = v_2 = \varphi \sqrt{2gh},$$

ГДЕ φ – КОЭФФИЦИЕНТ ИСТЕЧЕНИЯ. ОН
УЧИТЫВАЕТ РЕАЛЬНОЕ ИСТЕЧЕНИЕ
(ТРЕНИЕ, ПОТЕРИ НАПОРА ПРИ МЕСТНЫХ
СОПРОТИВЛЕНИЯХ.

ВЕЛИЧИНА φ ПРИНИМАЕТСЯ РАВНОЙ В
ПРЕДЕЛАХ 0,55...0,95

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ РЕЗЕРВУАРОВ - 2

**Б – ПРИ ПОСТОЯННОМ УРОВНЕ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРЕ,
НО ПРИ ИЗБЫТОЧНОМ ДАВЛЕНИИ НАД УРОВНЕМ ЖИДКОСТИ**

В ЭТОМ СЛУЧАЕ УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ МОЖНО ЗАПИСАТЬ В ВИДЕ:

$$z_1 + p_1 / \rho g + v_1^2 / 2g = z_2 + p_2 / \rho g + v_2^2 / 2g.$$

КАК И В ПЕРВОМ СЛУЧАЕ, $z_1 - z_2 = h$; $v_1 = 0$. СЛЕДОВАТЕЛЬНО,
 $v_2^2 / 2g = h + (p_1 - p_2) / \rho g$.

ОТКУДА С УЧЕТОМ КОЭФФИЦИЕНТА ИСТЕЧЕНИЯ ПОЛУЧИМ:

$$v_2 = \varphi_{и} \sqrt{2g [h + (p_1 - p_2) / \rho g]}.$$

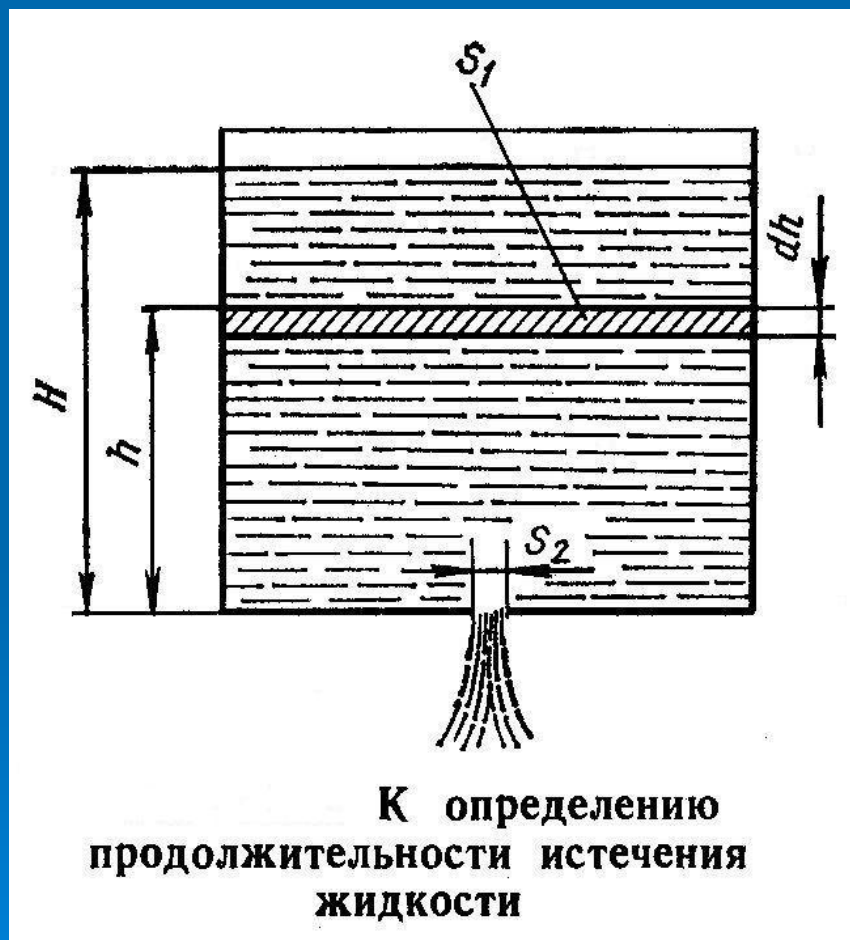
ВЕЛИЧИНУ, НАХОДЯЩУЮСЯ В СКОБКАХ, ПРИНЯТО СЧИТАТЬ ПОЛНЫМ НАПОРОМ
ИСТЕЧЕНИЯ:

$$H_{и} = h + (p_1 - p_2) / \rho g$$

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ РЕЗЕРВУАРОВ – 3

В – ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИСТЕЧЕНИЯ - 1



ВЫДЕЛИМ ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ СЛОЙ ТОЛЩИНОЙ dh . ЕГО ОБЪЕМ БУДЕТ

$$dV = S_1 dh.$$

ЗА МАЛЫЙ ОТРЕЗОК ВРЕМЕНИ $d\zeta$ СКОРОСТЬ ИСТЕЧЕНИЯ МОЖНО ПРИНЯТЬ ПОСТОЯННОЙ И РАВНОЙ

$$v_{и} = \varphi_{и} \sqrt{2gh}.$$

СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ЗА ВРЕМЯ $d\zeta$ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЕ, ИМЕЮЩЕЕ СЕЧЕНИЕ S_2 , ВЫТЕКАЕТ ПРИНЯТЫЙ НАМИ ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ ОБЪЕМ ЖИДКОСТИ.

ИСХОДЯ ИЗ УРАВНЕНИЯ РАСХОДА

жидкости $V = v_{ср} S$, МОЖНО ЗАПИСАТЬ,

$$dV = S_2 \varphi_{и} \sqrt{2gh} \cdot d\zeta = - S_1 dh.$$

ЗНАК «МИНУС» ПОКАЗЫВАЕТ, ЧТО h УМЕНЬШАЕТСЯ ВО ВРЕМЕНИ

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ РЕЗЕРВУАРОВ – 4

В – ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИСТЕЧЕНИЯ - 2

ПРЕОБРАЗОВАВ ЭТО ВЫРАЖЕНИЕ, ПОЛУЧИМ:

$$d\zeta = - (S_1 / S_2 \varphi_{и} \sqrt{2g}) (dh / \sqrt{h}).$$

ИНТЕГРИРОВАНИЕ ЭТОГО ВЫРАЖЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ОТ 0 ДО ζ И ОТ H ДО 0

$$\int_0^{\tau} d\tau = - \left(S_1 / S_2 \varphi_{и} \sqrt{2g} \right) \int_H^0 dh / \sqrt{h}$$

ДАЕТ

$$\zeta = 2 S_1 \sqrt{H} / S_2 \varphi_{и} \sqrt{2g}.$$

УМНОЖИВ ЧИСЛИТЕЛЬ И ЗНАМЕНАТЕЛЬ НА \sqrt{H} , ПРИВЕДЕМ УРАВНЕНИЕ К ВИДУ:

$$\zeta = 2 S_1 H / S_2 \varphi_{и} \sqrt{2gH}.$$

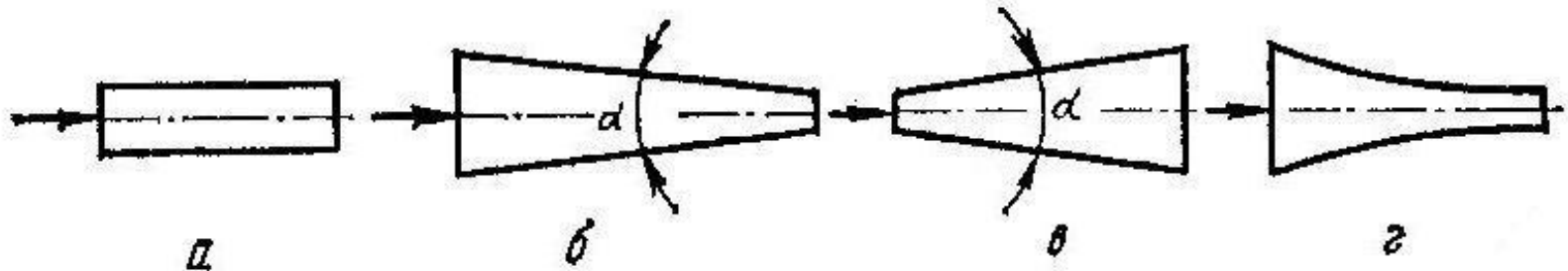
УЧИТЫВАЯ, ЧТО $S_1 H = V$ (ОБЪЕМ ЖИДКОСТИ В СОСУДЕ), ПОЛУЧАЕМ

$$\zeta = 2V / S_2 \varphi_{и} \sqrt{2gH},$$

где V – объем жидкости, м³; $\varphi_{и}$ – коэффициент истечения; S_2 – площадь сечения выходного отверстия, м²; H – первоначальная высота столба жидкости, м

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ




СТРУИ ЖИДКОСТИ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА СТЕНКИ СОСУДА-1



Типы насадок:

a — цилиндрическая; *б* — коническая сходящаяся;
в — коническая расширяющаяся; *з* — коноидальная

Коэффициент истечения ($\varphi_{и}$) принимается равным:

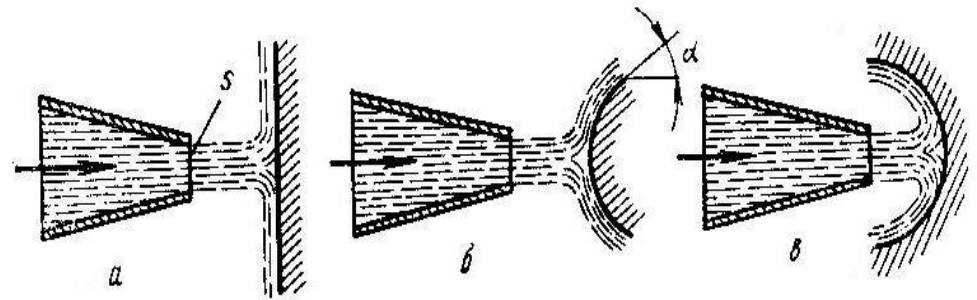
- Для цилиндрических насадок – 0,8;
-  Для конических сходящихся насадок - 0,9...0,95;
-  Для конических расширяющихся насадок – 0,5...0,55;
-  Для коноидальных насадок – 0,97

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ

СТРУИ ЖИДКОСТИ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА СТЕНКИ СОСУДА-2

Схема воздействия
жидкости на стену:

a — плоскую; *б* — выпуклую;
в — вогнутую



Воздействие жидкостной струи на стенку сосуда зависит от:

- плотности жидкости;
- расхода жидкости;
- скорости движения жидкости.

Сила воздействия струи жидкости на плоскую стенку (рис. а) определяется по формуле $F = \rho V v$, где

ρ — плотность жидкости, кг/м³; V — расход жидкости, м³/с; v — скорость жидкости, м/с.

Сила воздействия струи на выпуклую стенку (рис. б) может быть определена по формуле $F = \rho V v (1 - \cos \alpha)$.

В случае вогнутой стенки ($\cos 180^\circ = -1$) сила воздействия будет равна (рис. в) $F = 2\rho V v$.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

- 1. Основные параметры работы насосов.
- 2. Насосы (устройство, работа)

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ НАСОСОВ - 1

Насос – устройство для перемещения жидкостей.

Компрессорная машина – устройство для перемещения газов.

Различают следующие основные типы насосов:

поршневые, центробежные, роторные, мембранные, винтовые, струйные.

Совокупность насоса и двух емкостей (жидкость перекачивается из одной в другую) или аппаратов можно рассматривать как насосную установку.

Основные характеристики насосов:

- высота всасывания H_B ;
- высота нагнетания H_H ;
- высота геометрического подъема жидкости H_r , которую часто называют полным напором, создаваемым насосом.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ НАСОСОВ - 2

Высота всасывания - высота от уровня жидкости в нижнем резервуаре до оси насоса.

Высота нагнетания – это расстояние по вертикали от оси насоса до уровня жидкости в верхней емкости.

Геометрическая высота нагнетания – это расстояние по вертикали от уровня жидкости в нижней емкости до уровня жидкости в верхней емкости.

Полный напор в случае, когда давление жидкости в нижнем и верхнем резервуарах одинаково, представляет собой сумму высот всасывания и нагнетания, сумму гидравлических сопротивлений во всасывающем и нагнетательном трубопроводах.

Схема насосной установки в общем виде приведена на рис. (см. след. стр.).

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ НАСОСОВ - 3

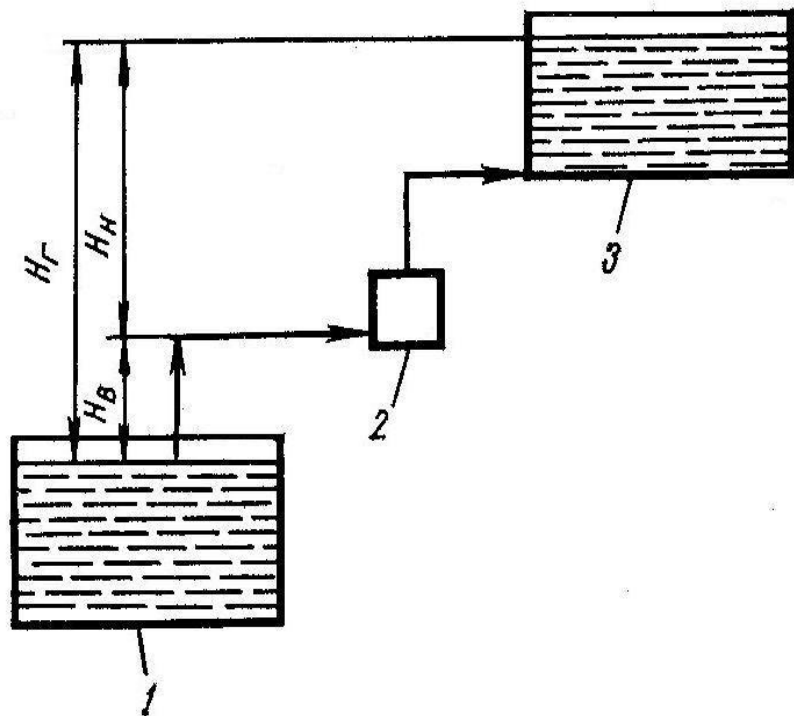


Схема насосной установки:

1 — нижний резервуар; 2 — насос; 3 — верхний резервуар

Полный напор, создаваемый насосом для случая, когда давление в резервуарах одинаково, можно определить по уравнению

$$H_{\text{п}} = H_{\text{в}} + H_{\text{н}} + H_{\text{гсв}} + H_{\text{гсн}},$$

где $H_{\text{гсв}}$ и $H_{\text{гсн}}$ - гидравлические сопротивления соответственно во всасывающем и нагнетающем трубопроводе.

Если давление в резервуарах различно, то

$$H_{\text{п}} = H_{\text{в}} + H_{\text{н}} + H_{\text{гсв}} + H_{\text{гсн}} + (p_2 - p_1) / \rho g$$

Если трубопровод горизонтальный, то

$$H_{\text{п}} = H_{\text{гсв}} + H_{\text{гсн}}$$

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ НАСОСОВ - 4

ВЫСОТА ВСАСЫВАНИЯ ПРЕДОПРЕДЕЛЯЕТСЯ НЕ СТОЛЬКО ТЕХНИЧЕСКИМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ НАСОСА, СКОЛЬКО ВЕЛИЧИНОЙ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРОЙ ЖИДКОСТИ.

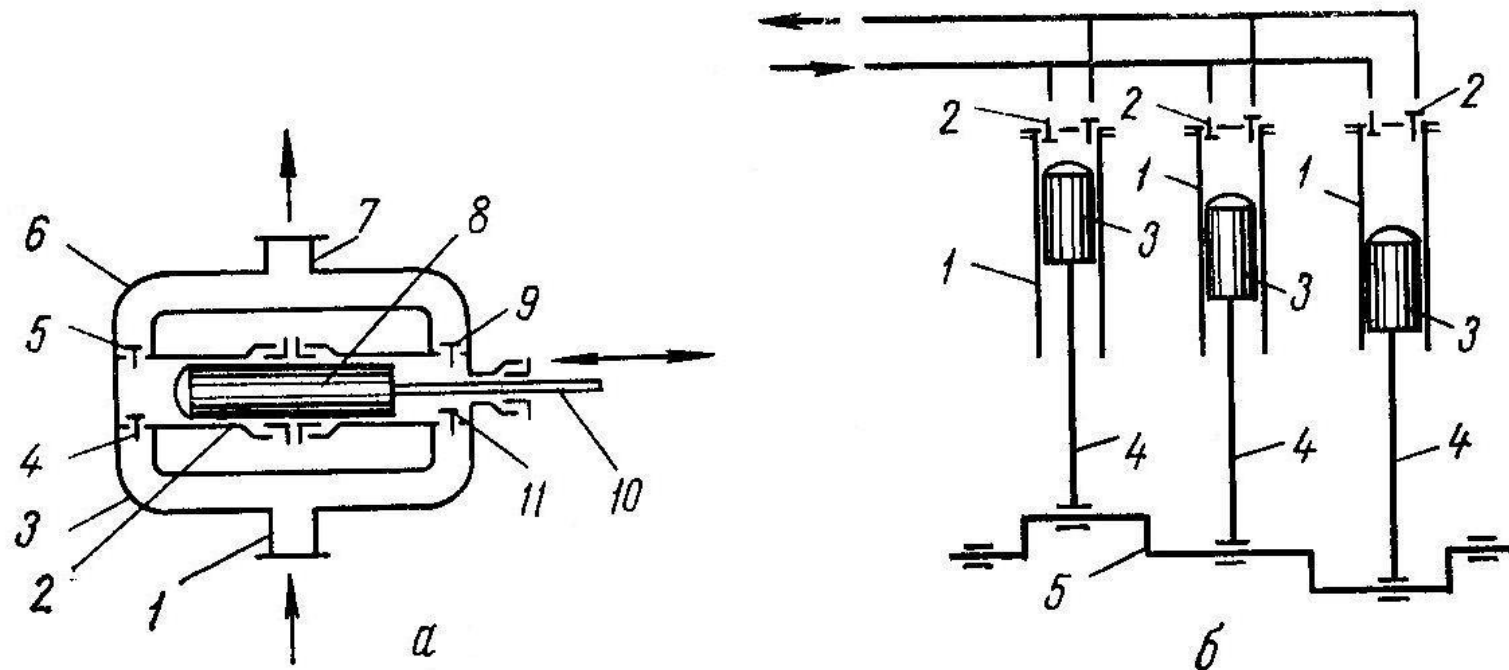
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ВЫСОТА ЕЕ ВСАСЫВАНИЯ ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ СЛЕДУЮЩИМИ ДАННЫМИ (СМ. ТАБЛ.)

ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ, °С	0	10	20	40	60	65
ВОЗМОЖНАЯ ВЫСОТА ВСАСЫВАНИЯ, М	9	6	5	3	1	0

ТАКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ВЫСОТОЙ ВСАСЫВАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОДЫ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ УПРУГОСТЬЮ ПАРОВ НАД ЖИДКОСТЬЮ ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

НАСОСЫ - 1

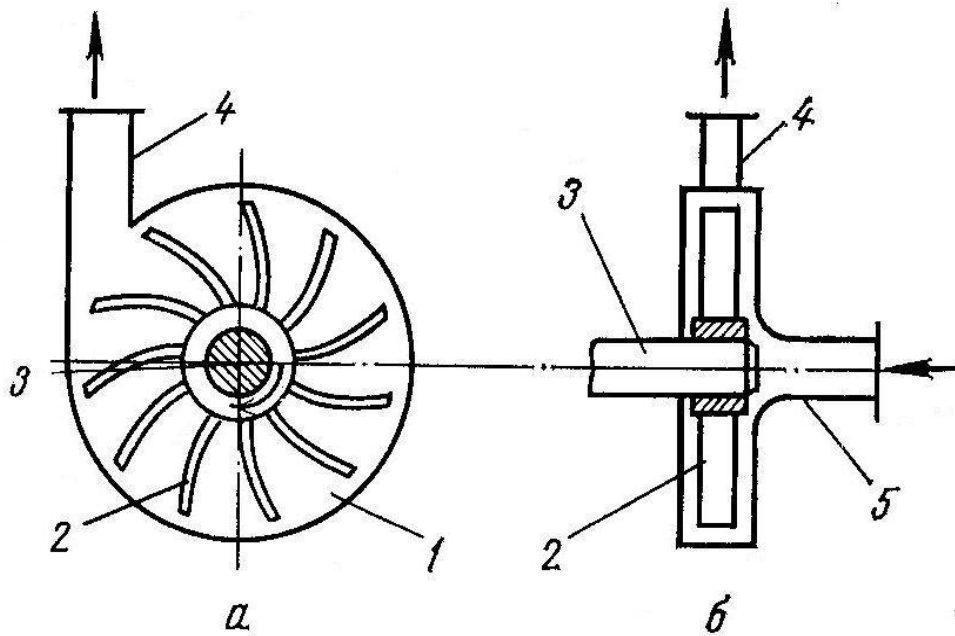


Схемы поршневых насосов:

a — горизонтальный плунжерный насос двойного действия: 1 — всасывающий патрубок; 2 — цилиндры; 3, 6 — коллекторы; 4, 11 — всасывающие клапаны; 5, 9 — нагнетательные клапаны; 7 — нагнетательный патрубок; 8 — плунжер; 10 — шток; *б* — вертикальный трехплунжерный насос: 1 — цилиндры; 2 — клапаны; 3 — плунжеры; 4 — штоки; 5 — коленчатый вал

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

НАСОСЫ - 2



Одноступенчатый горизонтальный центробежный насос:

a — схема рабочей камеры; *б* — общий вид насоса; 1 — камера насоса; 2 — лопатки рабочего колеса; 3 — вал рабочего колеса; 4 — нагнетательный патрубок; 5 — всасывающий патрубок

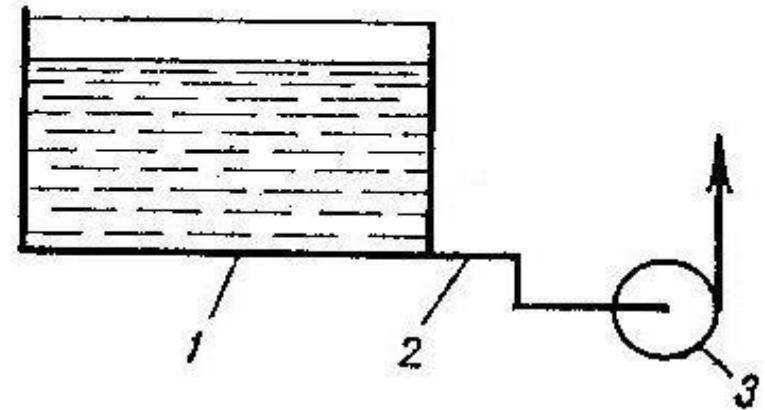
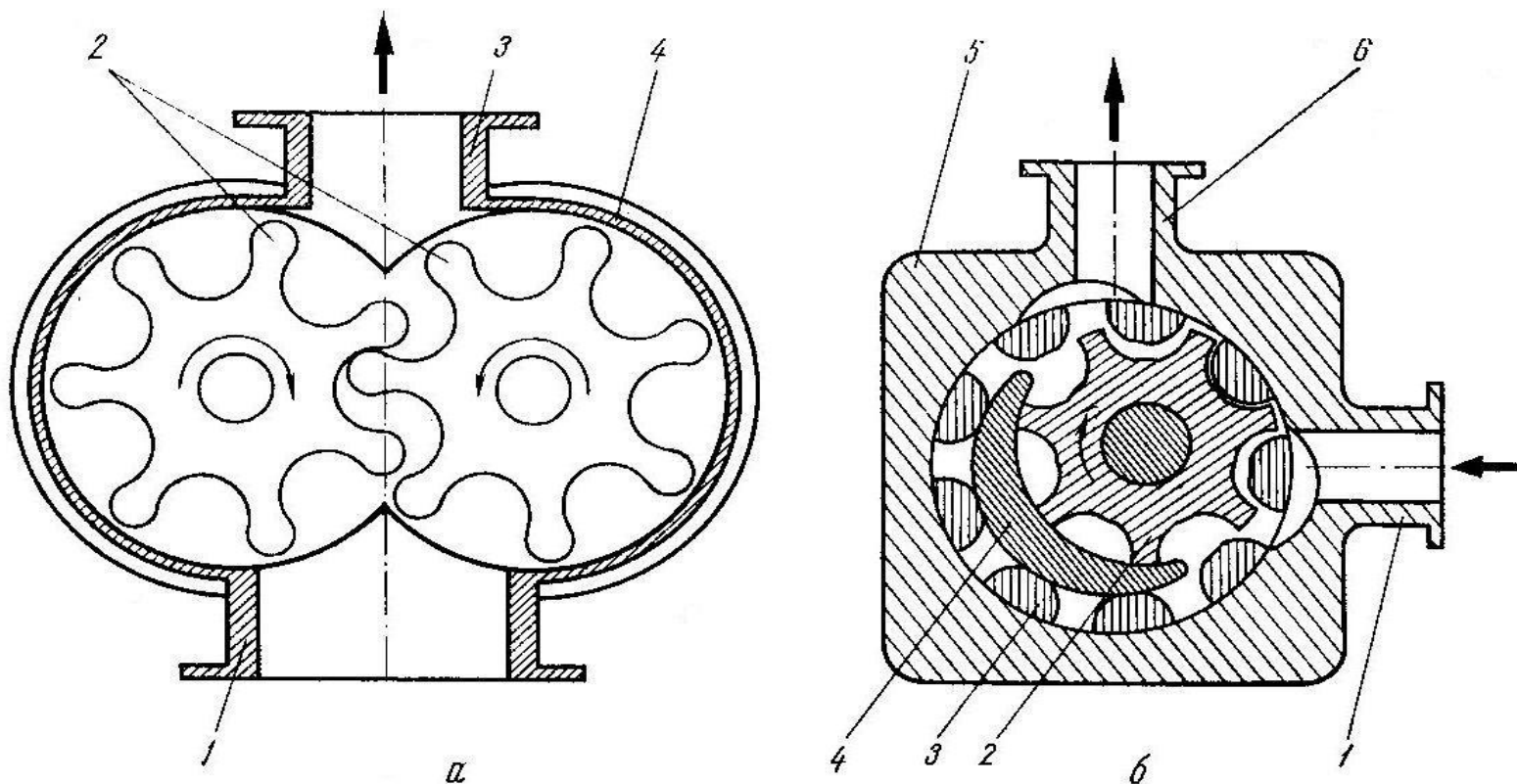


Схема установки центробежного насоса:
1 — резервуар; 2 — трубопровод; 3 — насос

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

НАСОСЫ - 3

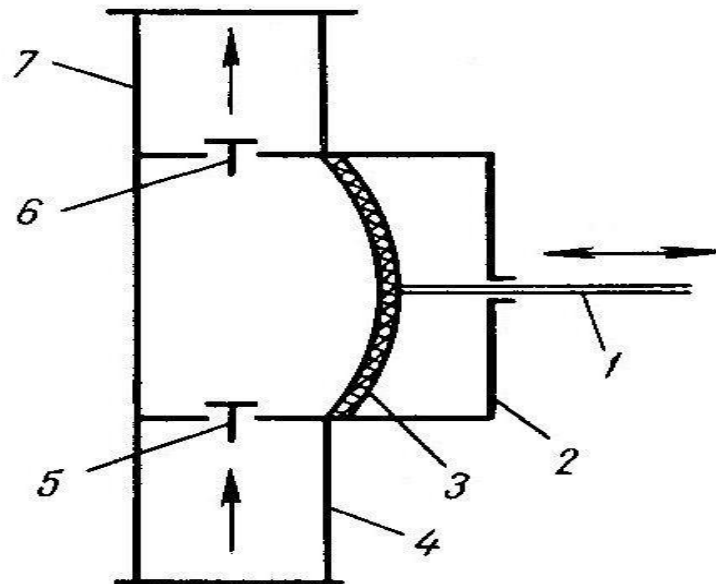


Шестеренные насосы:

a — с внешним зацеплением: 1 — всасывающий патрубок; 2 — шестерни; 3 — нагнетательный патрубок; 4 — корпус насоса; *б* — с внутренним зацеплением: 1 — всасывающий патрубок; 2 — ведомая (внутренняя) шестерня; 3 — ведущая (внешняя) шестерня; 4 — серповидный вкладыш; 5 — корпус насоса; 6 — нагнетательный патрубок

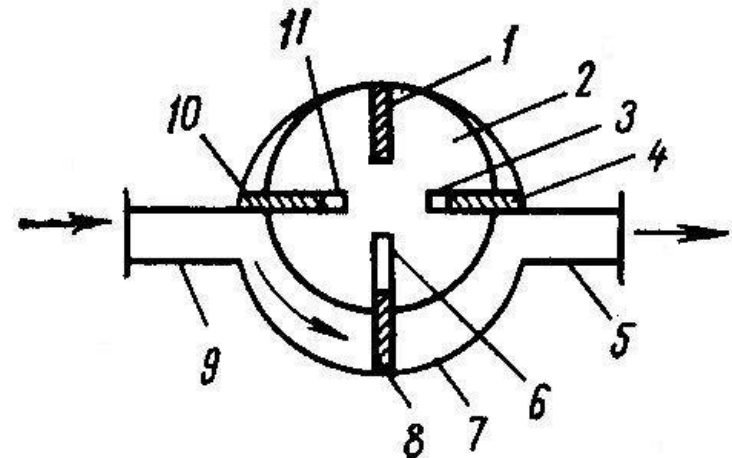
ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

НАСОСЫ - 4



Мембранный насос:

1 — шток; 2 — камера насоса; 3 — мембрана; 4 — всасывающий патрубок; 5 — всасывающий клапан; 6 — нагнетательный клапан; 7 — нагнетательный патрубок

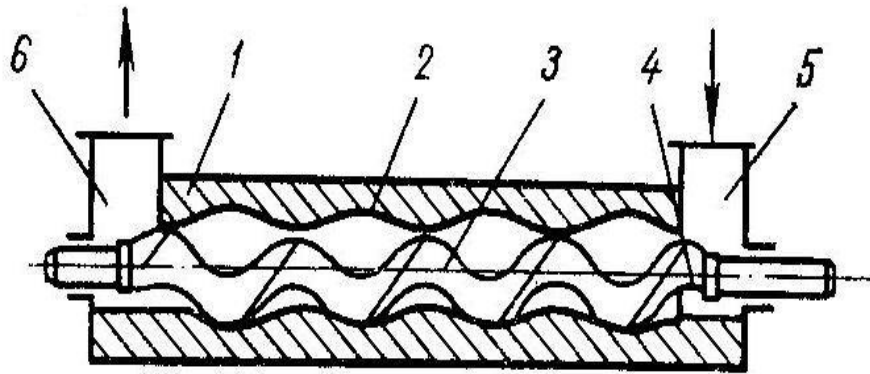


Шиберный роторный насос:

1, 4, 8, 10 — выдвижные шиберы (пластины); 2 — ротор; 3, 6, 11 — пазы ротора; 5 — нагнетательный патрубок; 7 — корпус насоса; 9 — всасывающий патрубок

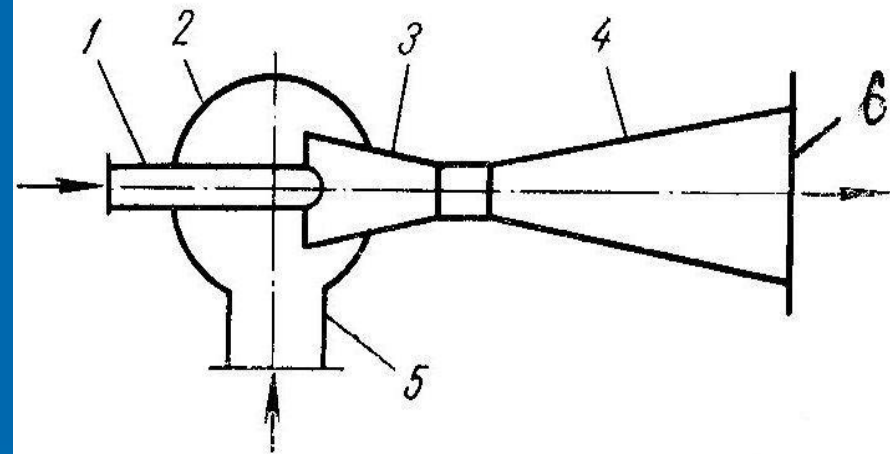
ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

НАСОСЫ- 5



Винтовой насос:

1 — корпус насоса; 2 — цилиндр; 3 — винт;
4 — шейка винта; 5 — всасывающий патрубок;
6 — нагнетательный патрубок



Струйный насос:

1 — сопло; 2 — камера всасывания; 3 — кон-
фузор; 4 — диффузор; 5 — всасывающий па-
трубок

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ КОМПРЕССОРНЫЕ МАШИНЫ

Схема вентилятора:

1 — корпус; 2 — рабочее колесо; 3 — всасывающий патрубок; 4 — нагнетательный патрубок

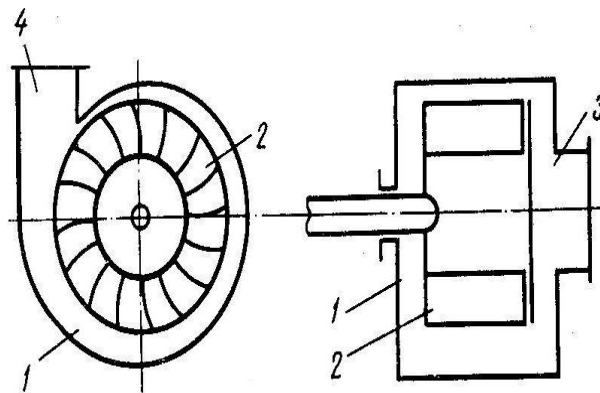
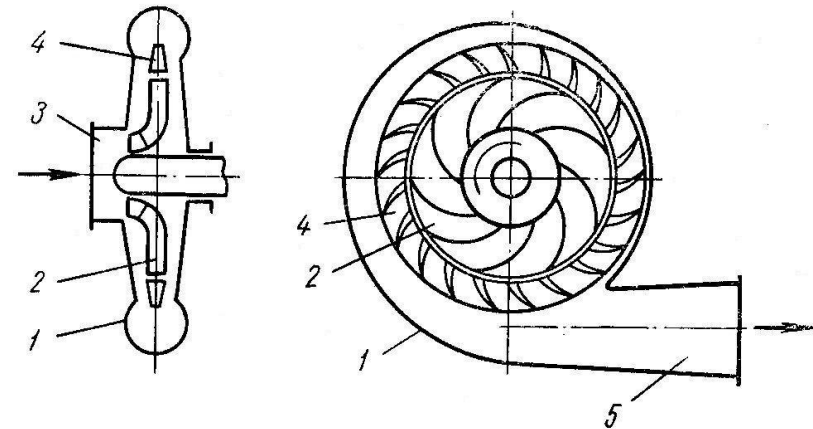
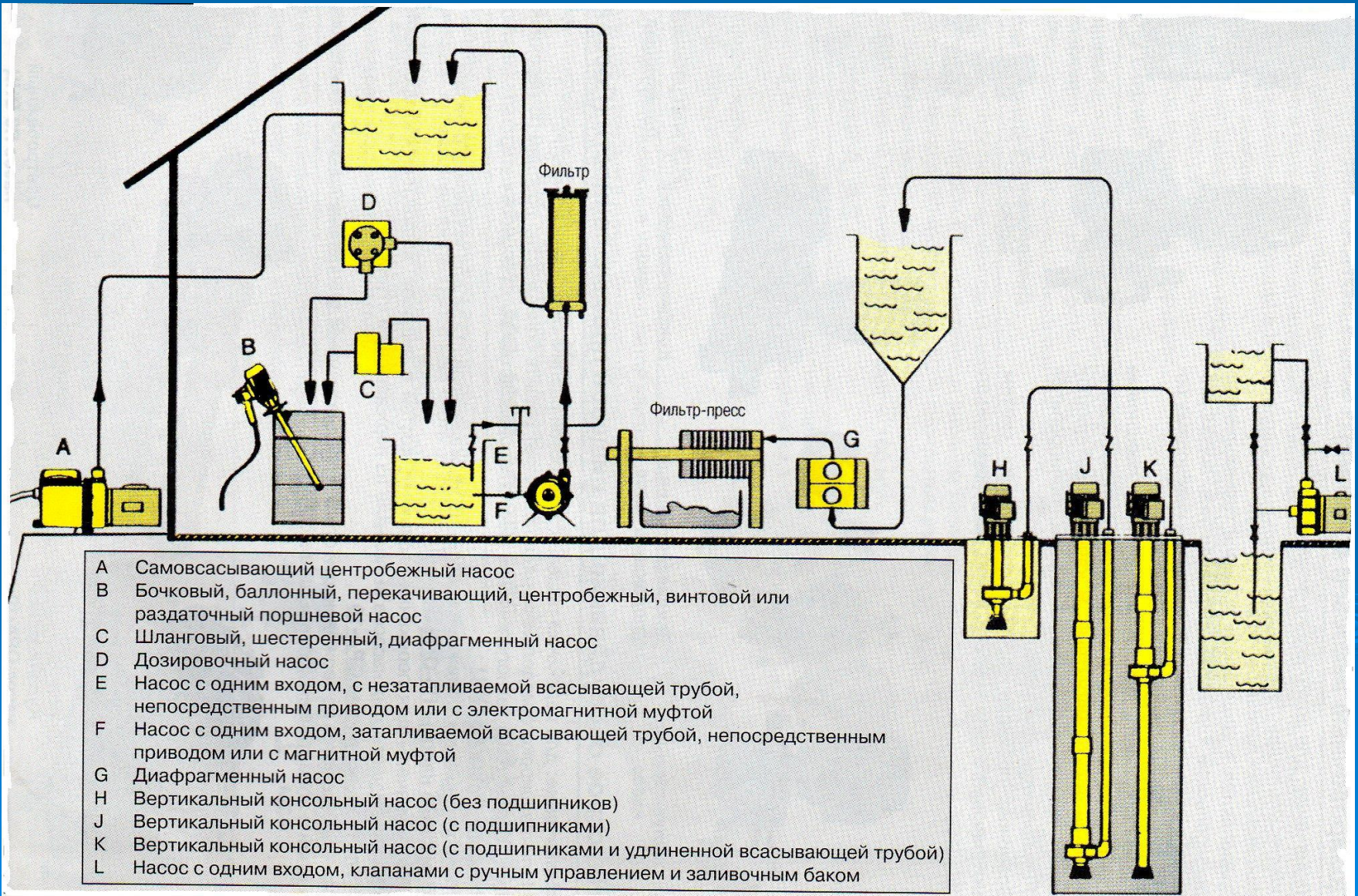


Схема газодувки:

1 — корпус; 2 — рабочее колесо; 3 — всасывающий патрубок; 4 — направляющий аппарат; 5 — нагнетательный патрубок

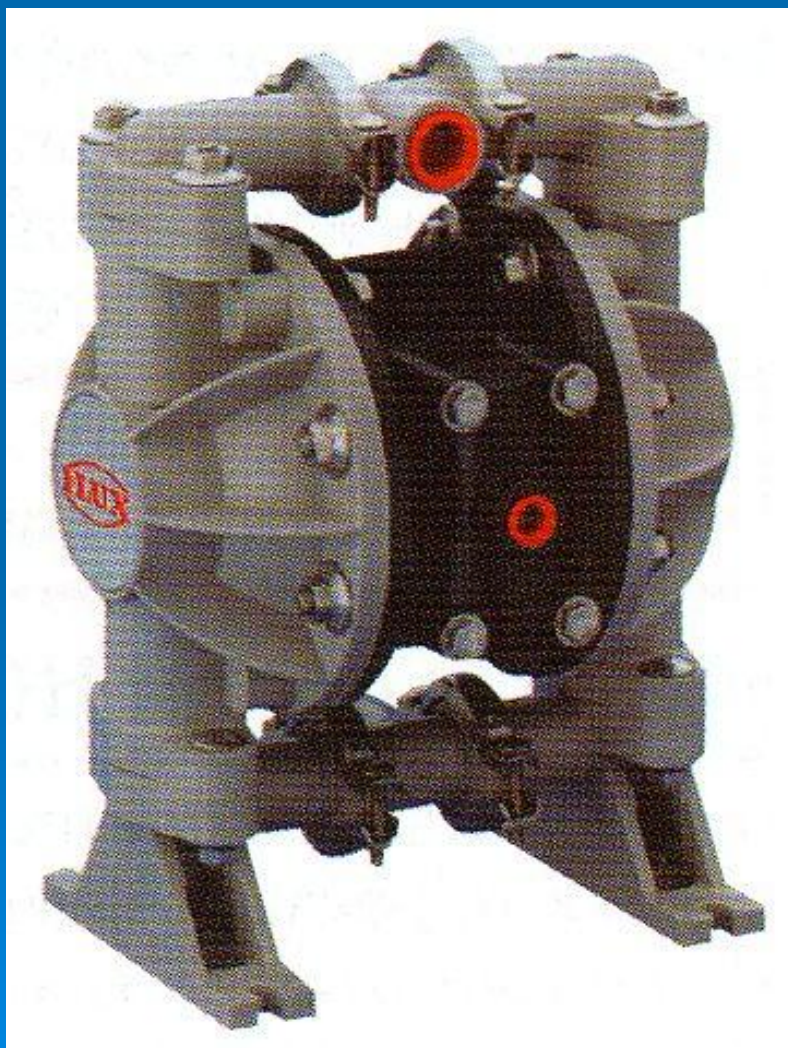


ТИПИЧНЫЕ ВИДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАСОСОВ

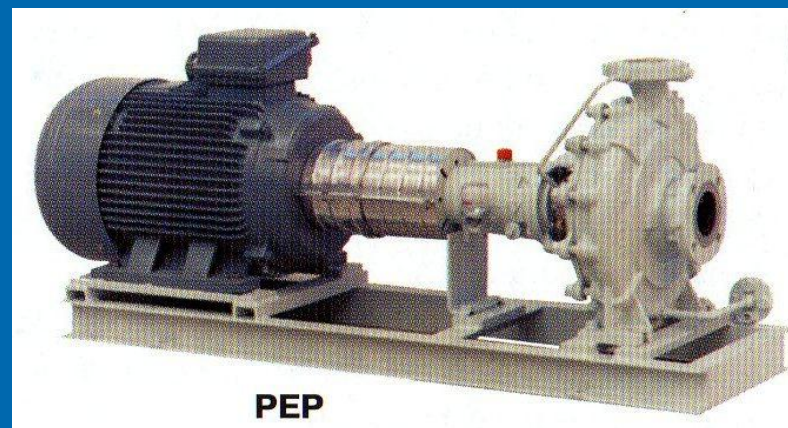


НАСОСЫ - 1

МЕМБРАННЫЙ НАСОСНЫЙ АГРЕГАТ



ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ НАСОС



PEP

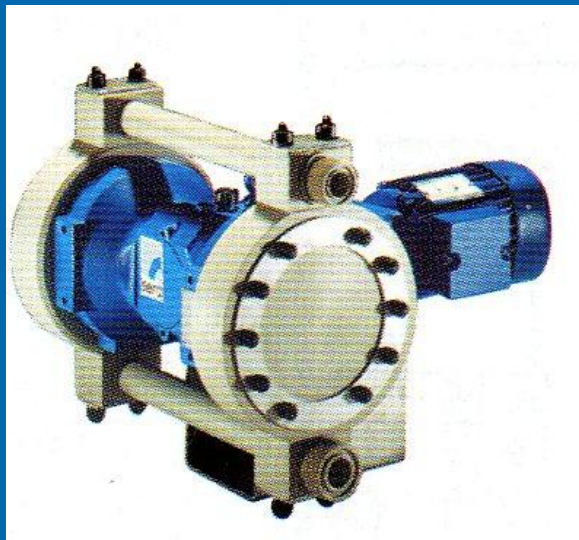
ВИНТОВОЙ НАСОС



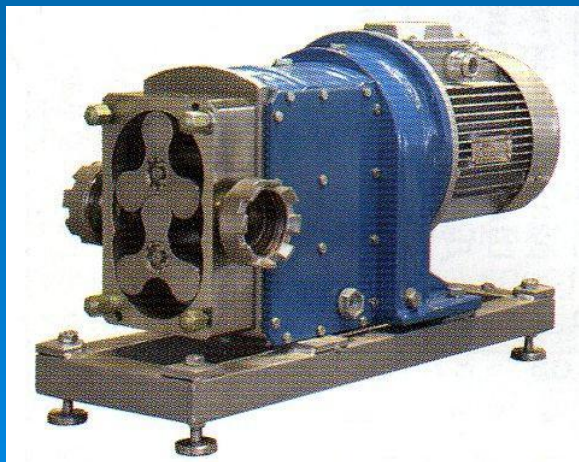
НАСОСЫ – 2

ДВУДИАФРАГМЕННЫЙ ПОДАЮЩИЙ НАСОС

ПЛУНЖЕРНЫЙ НАСОС



КУЛАЧКОВЫЙ НАСОС



П-ГП



52