СОДЕРЖАНИЕ

1. Основное уравнение гидростатики……. 4
2. Режимы движения. Уравнение Бернулли…… 10
3. Гидравлические сопротивления…….. 15
4. Расчет трубопроводов…….. 20
5. Расчет элементов объёмного гидропривода…… 25
Библиографический список……. 43
Приложение 1 (обязательное)…….. 44
Приложение 2 (справочное)…….. 48

1. ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ ГИДРОСТАТИКИ

1.1. Краткие теоретические сведения

Давление, представляющее полное напряжение сжатия от действия всех внешних сил (поверхностных и массовых), приложенных к жидкости, называется абсолютным давлением.

В технике удобно отсчитывать давление от условного нуля, за который принимается давление атмосферного воздуха на поверхности земли, равное 101325 Па. В этом случае величина давления показывает избыток абсолютного давления p над атмосферным $p_а$ и называется манометрическим давлением $p_м$ (или избыточным давлением $p_и$) :

$$p_м = p_и = p - p_а \quad . \tag{1.1}$$

Избыточное давление отрицательно, если абсолютное давление меньше атмосферного. Недостаток давления до атмосферного называется вакуумом $p_в$

$$p_в = p_а - p \, . \tag{1.2}$$

Уравнение, выражающее *гидростатическое давление p* (Па) в любой точке неподвижной жидкости в том случае, когда на неё действует из массовых сил лишь сила тяжести, называется основным уравнением гидростатики

$$p = p_о + \rho g h \, , \tag{1.3}$$

где p_0 - давление на свободной поверхности (Па);

h - глубина погружения рассматриваемой точки под свободную поверхность (м).

Если сосуд открыт, то (1.3) можно переписать в следующем виде:

$$p = p_а + \rho g h. \tag{1.4}$$

Избыточное давление, создаваемое в данном случае только весом жидкости, равно:

$$p_и = \rho g h. \tag{1.5}$$

Формула (1.5) дает возможность выражать избыточное давление в любой точке жидкости высотой столба жидкости определенной плотности.

Сила давления F жидкости на плоскую стенку равна произведению *гидростатического давления* p_c в центре тяжести площади стенки на *площадь стенки S*:

$$F=p_cS=\rho g h_c S. \qquad (1.6)$$

Центр давления (точка приложения силы *F*) расположен ниже центра тяжести площади или совпадает с последним в случае горизонтальной стенки.

Расстояние между центром тяжести площади и центром давления в направлении нормали к линии пересечения плоскости стенки со свободной поверхностью жидкости равно:

$$\Delta y = \frac{J_0}{y_c S}, \qquad (1.7)$$

где J_o - момент инерции площади стенки относительно оси, проходящей через центр тяжести площади и параллельной линии пересечения плоскости стенки со свободной поверхностью;

y_c - координата центра тяжести площади.

Сила давления жидкости на криволинейную стенку складывается из горизонтальной $F_г$ и вертикальной $F_в$ составляющих:

$$F = \sqrt{F_г^2 + F_в^2}\,. \qquad (1.8)$$

Горизонтальная составляющая $F_г$ равна силе давления жидкости на вертикальную проекцию данной стенки:

$$F_г = \rho g h_c S_в\,, \qquad (1.9)$$

где $S_в$ - проекция криволинейной стенки на вертикальную плоскость;

h_c - глубина погружения центра тяжести проекции $S_в$.

Вертикальная составляющая $F_в$ равна весу жидкости в объеме *V,* заключенном между данной стенкой, свободной поверхностью жидкости и вертикальной проецирующей поверхностью, проведенной по контуру стенки.

1.2. Указания и примеры решения задач

Задачи на определение давления в несжимаемой жидкости могут быть решены с помощью уравнений, выражающих:

1) условие равновесия жидкости;

2) условие равновесия твердого тела, на которое действует сила давления со стороны жидкости;

3) условие постоянства объемов жидкости в рассматриваемой системе при ее переходе из одного равновесного состояния в другое.

Для иллюстрации рассмотрим некоторые примеры.

Пример 1. Определите абсолютное и избыточное гидростатическое давление в точке дна открытого сосуда, наполненного жидкостью с плотностью ρ=1000 кг/м^3 на глубину h=2 м.

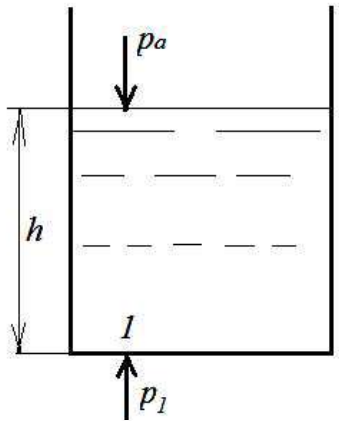
Дано:

h=2 м

ρ=1000 кг/м^3

$p_а$ = 101325 Па

$p_и$-? p_1-?



Решение.

Избыточное давление в точке 1 определим по формуле (1.5)

$p_и = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 2 = 19620$ Па.

Абсолютное давление в точке 1 определим по формуле (1.4)

$p_1 = p_а + \rho g h = p_а + p_и = 101325 + 19620 = 120945$ Па.

Ответ: $p_и = 19620$ Па; $p_1 = 120945$ Па.

Пример 2. В U-образную трубку налиты две жидкости Ж$_1$ и Ж$_2$. Определить плотность жидкости Ж$_1$, если известно, что плотность жидкости Ж$_2$ равна ρ_2=1000 кг/м^3 и известны высоты h_1 =500 мм и h_2 =350 мм. Капиллярный эффект не учитывать.

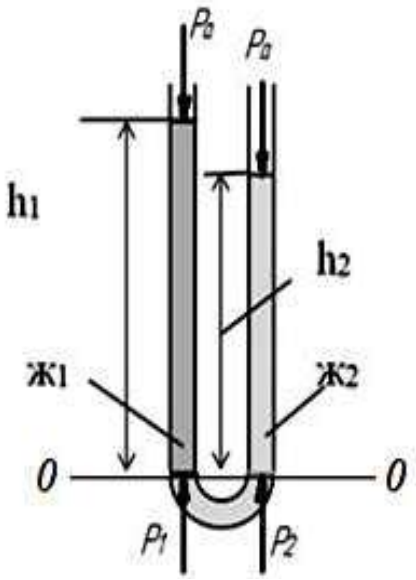
Дано:

h_1 =500 мм = 0,50 м

h_2 =350 мм = 0,35 м

ρ_2=1000 кг/м^3

ρ_1 - ?



Проведем горизонтальную плоскость 0-0 через границу раздела жидкостей Ж$_1$ и Ж$_2$.Далее будем рассматривать левую трубку пьезометра, заполненную жидкостью Ж$_1$ и правую, заполненную жидкостью Ж$_2$.

Применяя к каждой из трубок основное уравнение гидростатики, получим:

$p_1 = p_a + \rho_1 \cdot g \cdot h_1$.

$p_2 = p_a + \rho_2 \cdot g \cdot h_2$.

Поскольку $p_1 = p_2$ имеем:

$p_a + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 = p_a + \rho_2 \cdot g \cdot h_2 \longrightarrow \rho_1 \cdot h_1 = \rho_2 \cdot h_2$

Таким образом $\rho_1 \cdot = \rho_2 \cdot (h_2 / h_1) = 1000 \cdot (0{,}35/0{,}50) = 700$ кг/м^3.

Ответ: ρ_1 =700 кг/м^3.

Пример 3. Рассчитать величину силы F на штоке поршня гидроцилиндра диаметром D =100 мм, если давление p_1 = 6·МПа и p_2 = 0. Силой трения и инерции пренебречь.

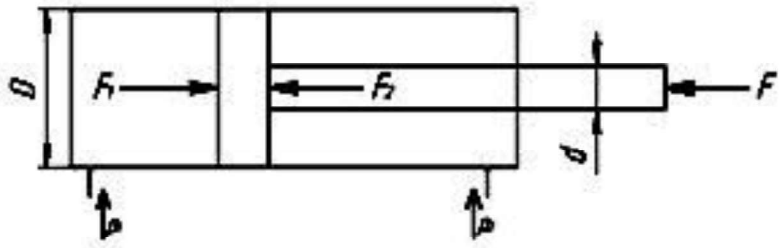
Дано:

D = 100 мм = 0,1 м

p_1 =6 МПа = 6·10^6 Па

p_2 = 0

F - ?



Решение.

Сумма всех сил на горизонтальную ось:

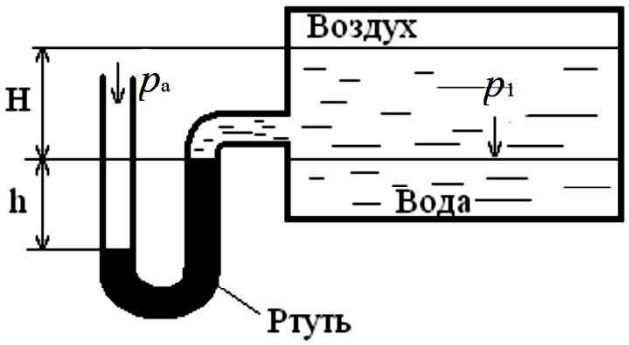
$F_1 - F_2 - F - F_{тр} - F_и = 0$.

По условию задачи $F_{тр} = 0$ и $F_и = 0$.

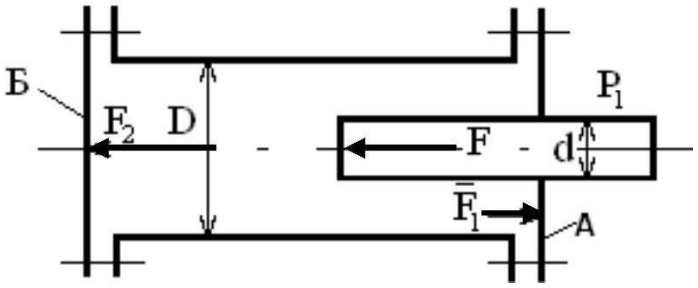
$F = F_1 - F_2 = p_1 \cdot \pi \cdot D^2/4 - p_2 \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2)/ 4 =$

$= 6 \cdot 10^6 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}1^2 /4 + 0 = 47100$ *Н*.

1.3. Контрольные задачи

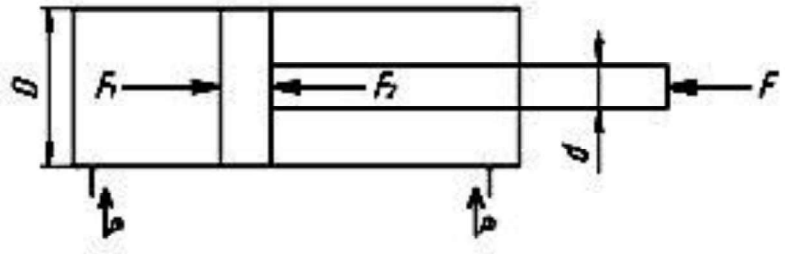


Задача 1.1 Определить абсолютное давление воздуха в сосуде, если показание ртутного прибора равно *h*, высота - *H*. Плотность ртути принять равной ρ_p=13600 кг/м^3. Атмосферное давление p_a.



Задача 1.2. Определить нагрузки на болты крышек А и Б гидравлического цилиндра диаметром *D*, если к плунжеру диаметром *d* приложена сила *F* . Найти F_1 и F_2.

Задача 1.3. Рассчитать величину силы *F* на штоке гидроцилиндра, диаметр поршня которого *D* и диаметр штока *d*, если давление жидкости в поршневой полости p_1 и в штоковой полости p_2. Силой трения и инерции пренебречь.



Исходные данные для задачи 1.1 - 1.3 приведены в табл.1.1.

Таблица 1.1

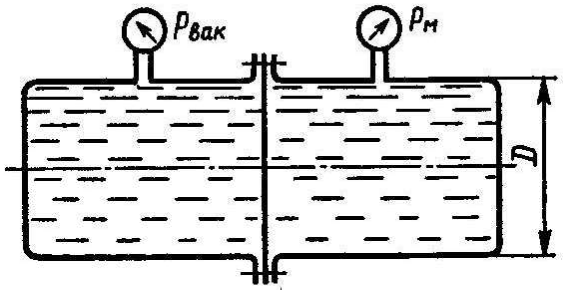
Исходные данные для задач 1.1 - 1.3

Номер варианта	Задача 1.1			Задача 1.2			Задача 1.3			
	H, м	*h*, мм	p_a, мм	*D*, мм	*d*, мм	*F*, кН	*D*, мм	*d*, мм	p_1, МПа	p_2, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,0	368	736	160	120	20	36	20	2	0,10
2	1,1	370	740	150	100	25	40	22	0,15	3
3	1,2	373	745	140	110	30	50	24	4	0,20
4	1,3	375	750	130	90	15	55	26	0,25	5

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	1,4	377	755	120	80	10	60	28	6	0,30
6	1,5	380	760	145	95	30	65	30	0,35	7
7	1,6	383	765	125	75	20	70	32	8	0,40
8	1,7	385	770	155	105	35	75	34	0,45	9
9	1,8	387	775	160	100	40	80	36	10	0,50
0	1,9	390	780	150	110	30	32	15	0,05	1

Задача 1.4. Определить значение силы, действующей на перегородку, которая разделяет бак, если ее диаметр равен D, показания вакуумметра - $p_в$ и манометра - $p_м$.



Задача 1.5. Определить силу, действующую на болты крышки бака, если показание манометра равно $p_м$, а угол наклона крышки - α. В сечении бак имеет форму квадрата со стороной a.

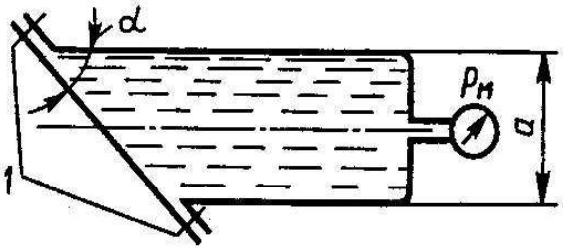


Таблица 1.2

Исходные данные для задач 1.4 и 1.5

Номер варианта	Задача 1.4			Задача 1.5		
	D, м	$p_в$, МПа	$p_м$, МПа	$p_м$, МПа	α, град	a, мм
1	0,5	0.08	0.10	2,0	45	200
2	0,4	0,07	0,09	2,1	60	300
3	0,3	0,06	0,08	2,2	30	250
4	0,2	0,05	0,07	2,3	60	150
5	0,6	0,04	0,06	2,4	45	350
6	0,7	0,03	0,05	2,5	30	400
7	0,8	0,02	0,04	2,6	60	450
8	0,9	0,01	0,03	2,7	45	500
9	1,0	0,09	0,02	2,8	30	300
0	1,1	0,10	0,01	2,9	60	200