ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»

Кафедра «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика»

Решения задач размещены на сайте zadachi24.ru

А. Б. Пономарёв
Е.В. Русанова

Б1.В.ОД.2 «Гидравлика и гидропривод»

Методические рекомендации по выполнению контрольной работы

по специальности 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог»
специализация «Вагоны»

форма обучения – заочная

Санкт-Петербург 2016

Контрольная работа для заочной формы обучения включают в себя следующие типовые задачи.

Задача 1

На рис.1.1 представлено начальное положение гидравлической системы дистанционного управления (рабочая жидкость между поршнями не сжата). При перемещении ведущего поршня (его диаметр *D*) вправо жидкость постепенно сжимается и давление в ней повышается. Когда манометрическое давление $p_м$достигает определённой величины, сила давления на ведомый поршень (его диаметр *d*) становится больше силы сопротивления *F*, приложенной к штоку ведомого поршня. С этого момента приходит в движение вправо и ведомый поршень. Диаметр соединительной части δ, длина *l*.

Требуется определить диаметр ведущего поршня *D*, необходимый для того, чтобы при заданной величине силы *F* ход обоих поршней был один и тот же.

Коэффициент объёмного сжатия рабочей жидкости принять β_W = 0,0005 1/МПа.

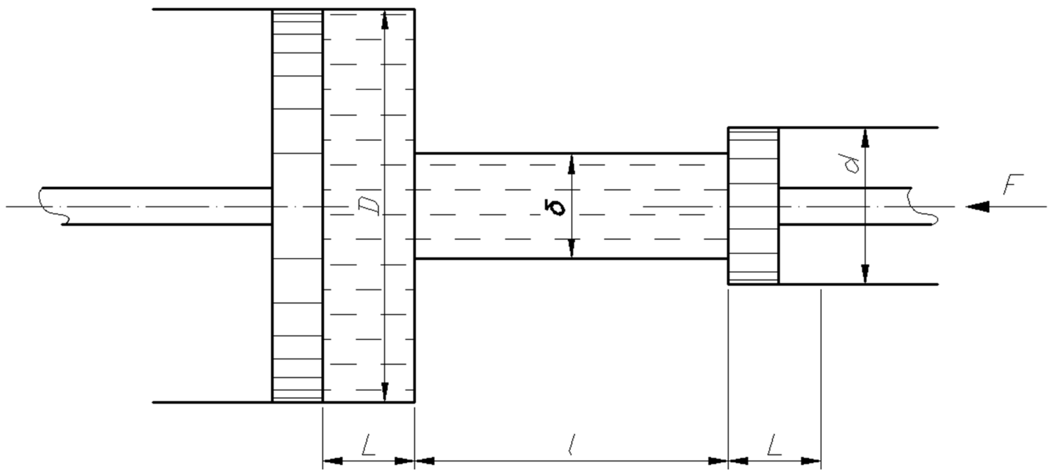

Рис.1.1

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d, мм	40	36	48	56	40	50	60	52	45	25
L, мм	60	50	64	72	80	40	72	54	50	34
δ, мм	20	16	24	28	20	34	40	22	30	10
l, м	5	2,2	2	2,4	3,8	2	2,3	2,5	2,5	1,75
F, кН	30,2	23,7	34,6	67,9	19,8	33,9	50,8	35,5	31,8	13

Указания к решению задачи 1

Ведомый поршень начнёт движение вправо, когда сила давления на него жидкости станет равной силе трения *F*, приложенной к штоку. Исходя из этого, следует определить манометрическое давление $p_м$, при котором начнётся движение ведомого поршня. Для достижения этого давления при сжатии жидкости ведущий поршень должен пройти некоторый путь ΔL, соответствующий уменьшению первоначального объёма жидкости на величину ΔW, после чего начинается движение обоих поршней. При этом объём жидкости, вытесняемый из левой полости системы, равен объёму, поступающему в правую полость. На основании заданного условия должно выполняться равенство

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4}\left(L - \Delta L\right) = \frac{\pi \cdot d^2}{4} L \qquad (1.1)$$

С другой стороны – на основании формулы коэффициента объёмного сжатия

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} \Delta L = \Delta W = \beta_W \cdot W \cdot p_м \qquad (1.2)$$

где W – первоначальный (исходный) объём гидравлической системы дистанционного управления.

Используя эти уравнения, следует найти искомую величину необходимого диаметра ведущего поршня D.

Задача 2

В вертикальном цилиндрическом резервуаре, имеющем диаметр D, хранится нефть, вес её G, плотность ρ = 850 кг/м^3, коэффициент температурного расширения β_t = 0,00072 1/°С.

Расширение стенок резервуара не учитывается.

Требуется определить:

1. Объём нефти в резервуаре при температуре 0 °С.
2. Изменение уровня нефти в резервуаре, если температура повысится на T, °С

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D, м	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1
G, кН	500	700	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	900
T, °С	10	20	30	40	50	60	45	35	25	15

Указания к решению задачи 2.

Нужно использовать формулу для определения веса единицы объёма жидкости $\gamma = \rho g$ и формулу для коэффициента температурного расширения жидкости

$$\beta_t = \frac{1}{W} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta T} \qquad (2.1)$$

где W – первоначальный объём нефти в резервуаре, м^3;

ΔW – изменение первоначального объёма при изменении температуры на ΔT, °С.

Задача 3

Круглый горизонтальный резервуар (рис.3.1), имеющий диаметр D и длину L, заполнен жидкостью, плотность которой ρ. Манометр, установленный на уровне верхней образующей, показывает избыточное давление p.

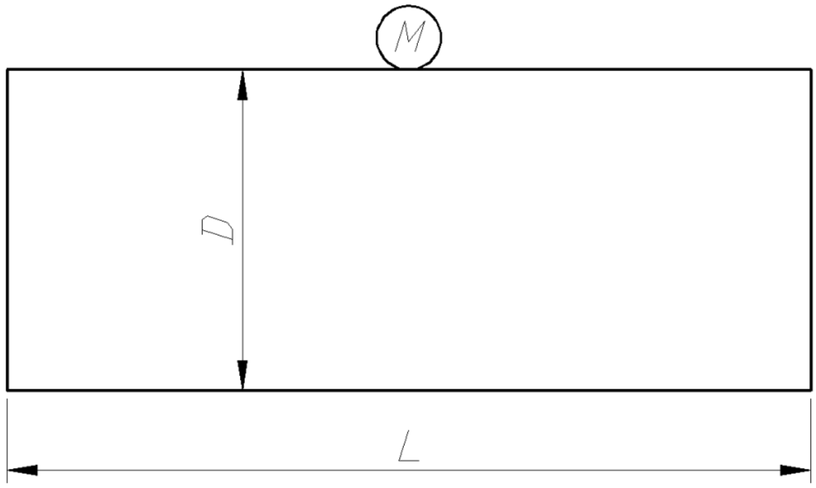

Рис.3.1

Требуется определить:

1. Горизонтальную силу гидростатического давления P_x, действующую на круглый торец резервуара.

2. Расстояние e, на которое отстоит линия действия горизонтальной силы от оси резервуара.

3. Вертикальную силу P_z, действующую на верхнюю половину резервуара.

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D, м	1	1,5	2	2,5	3	3,5	2	2,5	3	3,5
p, МПа	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0	0,015	0,025	0,035	0,045
ρ, кг/м^3	750	800	900	850	950	1000	800	850	900	950
L, м	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Указания к решению задачи 3.

При решении задачи рекомендуется придерживаться следующего порядка:

1. Определить положение пьезометрической плоскости относительно верха резервуара, используя зависимость

$$h_p = \frac{p}{\rho \cdot g} \qquad (3.1)$$

2. Определить горизонтальную силу гидростатического давления P_x, действующую на круглый торец резервуара

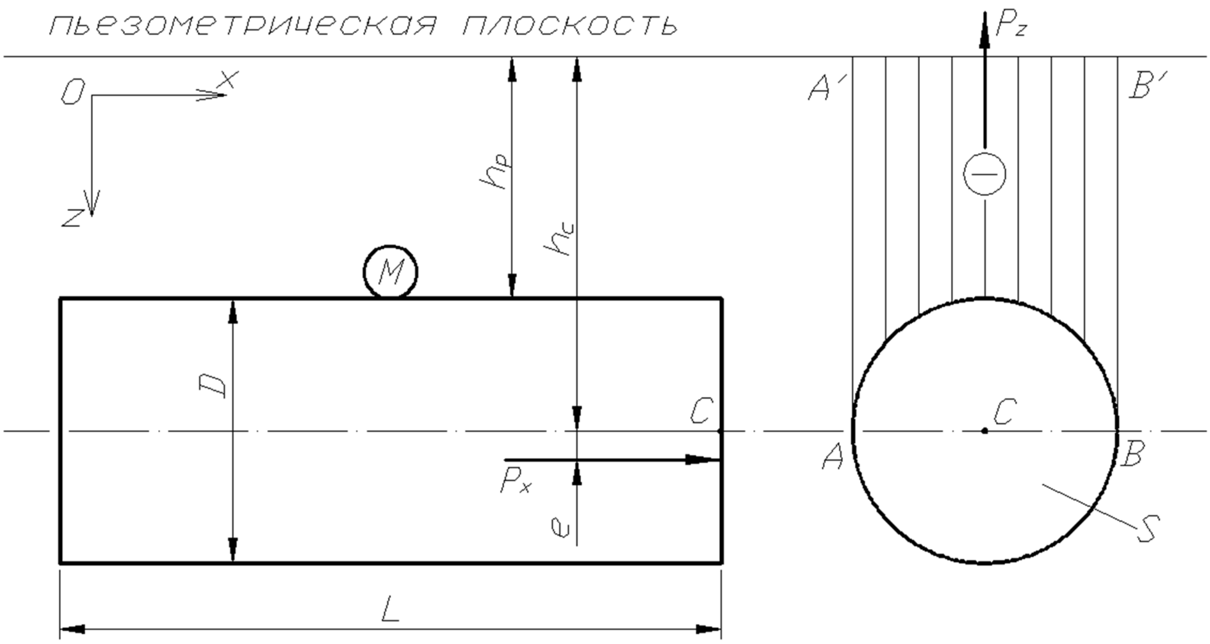

Рис.3.2

$$P_x = P = p_c \cdot S = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S \tag{3.2}$$

где p_c – избыточное гидростатическое давление в центре тяжести торцевой стенки резервуара площадью S;

h_c – глубина погружения центра тяжести рассматриваемой плоской фигуры под пьезометрической плоскостью, если гидростатическое давление внутри резервуара больше атмосферного.

3. Линия действия силы P_x находится ниже центра тяжести плоской фигуры на величину e (эксцентриситет)

$$e = \frac{I_c}{h_c \cdot S} \tag{3.3}$$

где I_c – центральный момент инерции плоской фигуры S относительно горизонтальной оси.

Для круга диаметром D

$$I_c = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \tag{3.4}$$

4. Вычислить вертикальную силу, действующую на верхнюю половину резервуара по формуле

$$P_z = \rho \cdot g \cdot W \tag{5}$$

где W – объём тела давления.

Телом давления называется объём, ограниченный сверху пьезометрической плоскостью, снизу – цилиндрической поверхностью, с боков – вертикальной проектирующей поверхностью.

Чтобы получить объём тела давления W, нужно площадь поперечного сечения тела давления (на рис.3.2 заштрихована) умножить на длину резервуара L.

Так как жидкость и тело давления расположены по разные стороны от стенки, вертикальная сила направлена вверх.

Задача 4

Вертикальный цилиндрический резервуар высотой H и диаметром D закрывается полусферической крышкой, сообщающейся с атмосферой через трубу внутренним диаметром d (рис.4.1). Резервуар заполнен мазутом, плотность которого ρ = 900 кг/м^3.

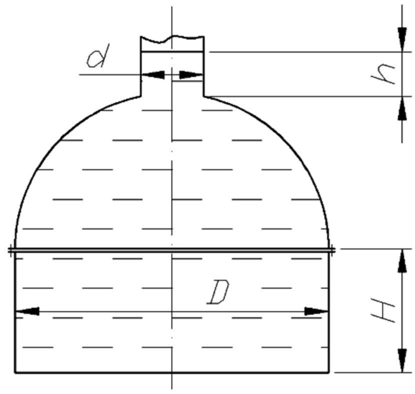

Рис.4.1

Требуется определить:

1. Высоту поднятия мазута h в трубе при повышении температуры на t°С.
2. Усилие, отрывающее крышку резервуара при подъёме мазута на высоту h за счет его разогрева.

Коэффициент температурного расширения мазута принять равным β_t = 0,00072 1/°С.

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D, м	2	2,5	1,8	1,5	2,2	1,6	2,4	1,7	2,3	1,3
H, м	2	3	1,5	2,5	2,2	2,6	3,2	2,8	3,1	1,2
d, м	250	300	150	100	125	75	350	250	200	100
t, °С	15	20	25	10	15	20	25	15	10	25

Указания е решению задачи 4

Вначале необходимо определить объём резервуара, состоящий из цилиндрической и полусферической частей. Это будет первоначальный объём мазута. Затем, используя формулу коэффициента температурного расширения β_t найти приращение этого объёма за счёт его расширения при нагреве на t°С.

$$\beta_t = \frac{1}{W} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta t}, \tag{4.1}$$

где Δt = t°C – приращение температуры.

Поделив найденное приращение объёма ΔW на площадь поперечного сечения трубы, получим искомую высоту поднятия мазута h.

Для нахождения усилия, отрывающего крышку резервуара от плоскости разъёма, необходимо найти объём тела давления W (объём, ограниченный горизонтальной плоскостью, проведённой по свободной поверхности мазута в трубе, и полусферической крышкой). Этот объём будет состоять из объёма цилиндра диаметром D и высотой $(D+h)$ минус объём полусферы диаметром D и объём малого цилиндра диаметром d и высотой h.

Искомое усилие $P_z = \rho g W$.

Задача 5

К системе, состоящей из двух параллельно соединённых трубопроводов, имеющих длины соответственно l_1 и l_2 и диаметры d_1 и d_2 (коэффициент шероховатости n = 0,012), подводится к точке A вода, расход которой Q (рис.5.1).

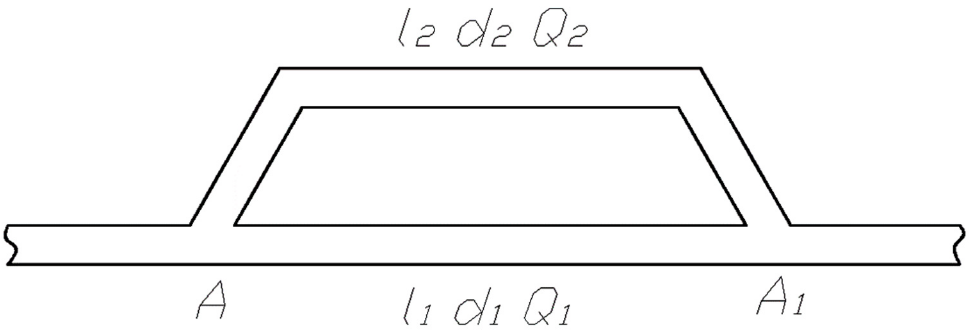

Рис.5.1

<u>Требуется определить</u> потерю напора на участке AA_1 и величины расходов воды на каждом участке.

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q, л/с	15,8	38	84	116	69	50	51	99	130	11,8
l_1, м	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
d_1, мм	100	150	200	250	200	150	200	250	250	100
l_2, м	120	230	350	450	550	650	750	850	950	1100
d_2, мм	150	200	250	300	200	200	150	200	250	100

Указания к решению задачи 5

Потери напора на каждом из двух параллельно соединённых трубопроводов одинаковы:

$$h_{l1} = h_{l2} = h_l \tag{5.1}$$

где h_{l1} и h_{l2} – потери напора по длине соответственно на первом и втором трубопроводах.

Порядок расчета

1. По формуле (5.2) определить модули расхода для первого и второго трубопровода

$$K = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R} \qquad (5.2)$$

где ω – площадь живого сечения;

C – коэффициент Шези;

$R = \omega/\chi$ – гидравлический радиус;

χ – смоченный периметр.

В случае напорного трубопровода $\chi = \pi d$.

Коэффициент Шези вычислить по формуле Маннинга

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \qquad (5.3)$$

где n – коэффициент шероховатости.

2. Используя зависимость (5.4) вычислить потерю напора на участке AA_1

$$h_l = \frac{Q^2}{\left(\frac{K_1}{\sqrt{l_1}} + \frac{K_2}{\sqrt{l_2}} \right)^2} \qquad (5.4)$$

3. Определить расходы в каждом из трубопроводов

$$Q_1 = K_1 \sqrt{\frac{h_l}{l_1}} \qquad (5.5)$$

$$Q_2 = Q - Q_1 \qquad (5.6)$$

Задача 6

Поршень диаметром D имеет n отверстий диаметром d_0каждое (рис.6.1). Отверстия рассматривать как внешние цилиндрические насадки с коэффициентом расхода $\mu = 0{,}82$; плотность жидкости $\rho = 900$ кг/м^3.

Требуется определить скорость v перемещения поршнявниз, если к его штоку приложена сила F.

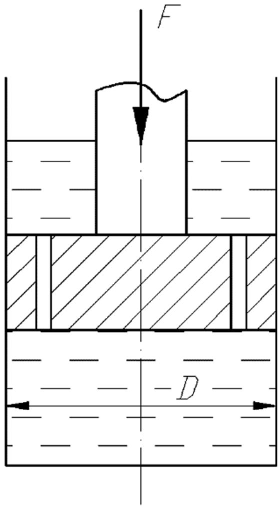

Рис.6.1

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D, мм	50	55	60	70	100	80	110	140	200	125
d_0, мм	2	5	10	8	12	6	10	8	12	4
n	5	3	2	6	4	8	5	10	5	8
F, кН	10	15	20	12	8	14	25	18	16	15

Указания к решению задачи 6

Следует определить величину давления под поршнем p, определяемую силой, приложенной к поршню, и площадью поршня за вычетом суммарной площади отверстий.

$$p = \frac{4F}{\pi\left(D^2 - n \cdot d_0^2\right)} \qquad (6.1)$$

Этим давлением и будет определяться расход жидкости из каждого отверстия (насадка).

$$Q_1 = \mu \cdot \omega_1 \sqrt{\frac{2p}{\rho}} \qquad (6.2)$$

где μ – коэффициент расхода;

ω_1 – площадь одного отверстия;

ρ – плотность жидкости.

Скорость перемещения поршня вниз определится делением суммарного расхода из всех отверстий на площадь поперечного сечения поршня.

Задача 7

Центробежный насос (рис.7.1) откачивает воду из сборного колодца в резервуар с постоянным уровнем H по трубопроводам размерами l_1, d_1 и l_2, d_2.

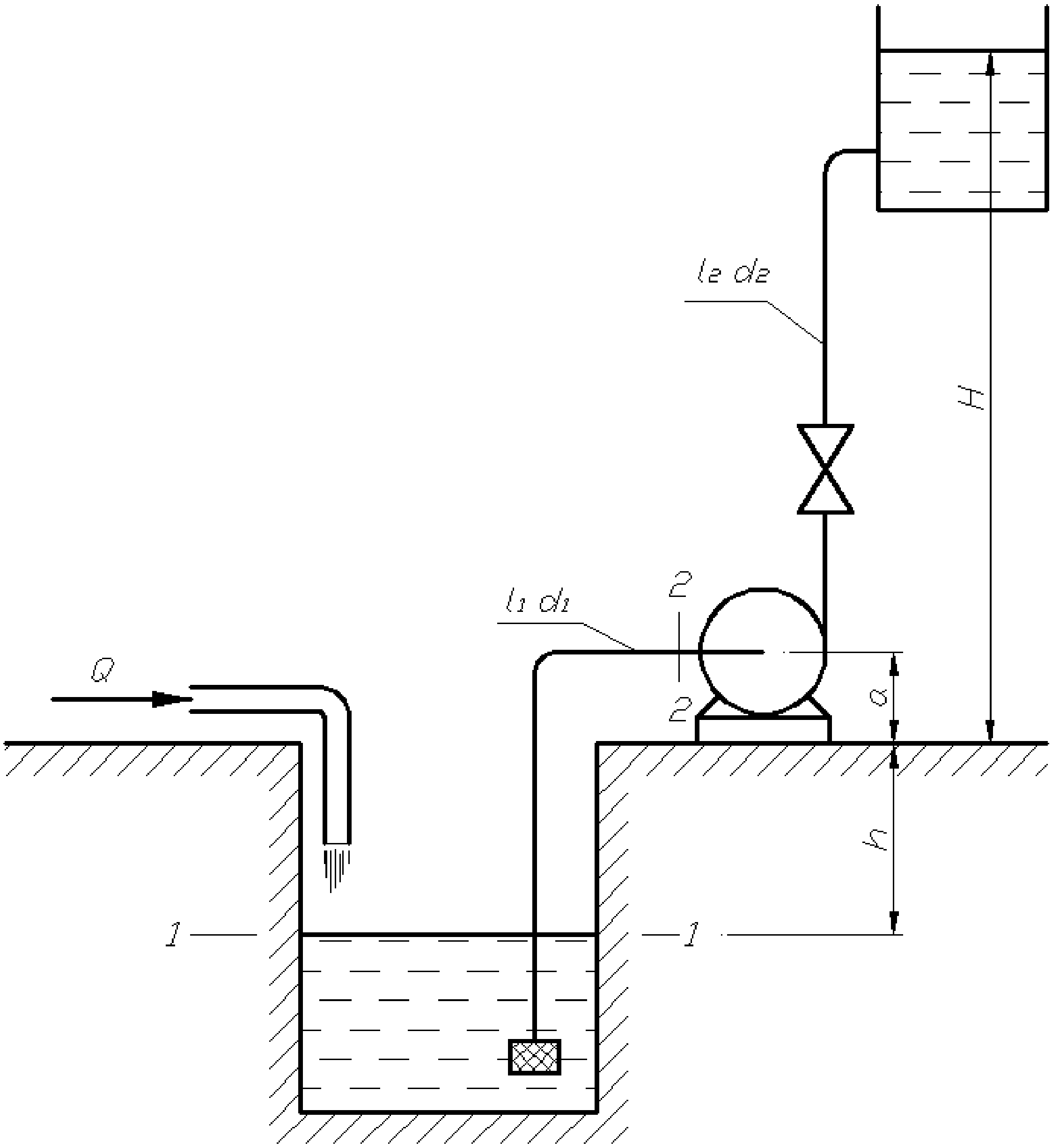

Рис.7.1

Эквивалентная шероховатость поверхности труб Δ, плотность воды ρ=1000 кг/м^3, кинематический коэффициент вязкости ν = 0,01 см^2/с, расстояние a = 1 м.

Характеристики насоса представлены следующими параметрами:

Q, л/с	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$H_н$, м	45	47,5	48,5	48	47	45	40	35	30	22,5	15
$H_{вак}^{доп}$, м	-	-	8,2	8	7,6	7	6,6	6	5,5	4,75	4

При расчетах принять суммарные коэффициенты местных сопротивлений на всасывающей линии ζ_1=10, на напорной линии ζ_2=6.

Требуется определить:

1. На какой глубине h установится уровень воды в колодце, если приток в него Q?

2. Вакуумметрическую высоту всасывания при входе в насос $H_{вак}$, выраженную в метрах водяного столба (м в. ст.).

3. Максимальную допустимую геометрическую высоту всасывания при заданном расходе.

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H, м	42	38	40	33	30	23	17	12	28	26
l_1, м	8	12	10	15	12	9	11	14	13	7
l_2, м	46	48	50	40	35	25	20	15	36	30
d_1, мм	100	125	80	100	125	100	125	150	80	125
d_2, мм	75	125	80	125	150	100	150	125	75	100
Δ, мм	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,5
Q, л/с	8	10	6	12	14	16	18	20	15	17

Указания к решению задачи 7

Пользуясь заданными параметрами, построить характеристики насоса, выраженные кривыми:

$H_{н} = f(Q)$ и $H_{вак}^{доп} = f(Q)$,

где $H_{н}$ – напор, развиваемый насосом при заданном расходе Q;

$H_{вак}^{доп}$ – допустимая вакуумметрическая высота всасывания насоса по условию кавитации при заданном расходе.

По построенным кривым определить при заданном значении Q величины $H_{н}$ и $H_{вак}^{доп}$.

Напор, развиваемый насосом, расходуется на подъём воды на геометрическую высоту $H_{г} = H + h$ и преодоление потерь напора во всасывающей и нагнетательной линиях:

$$H_{н} = H_{г} + h_1 + h_2 = H + h + h_1 + h_2, \qquad (7.1)$$

откуда искомая величина

$$h = H_{н} - H - h_1 - h_2, \qquad (7.2)$$

где h_1 и h_2 – потери напора во всасывающей и нагнетательной линиях, состоящие из потерь напора по длине и в местных сопротивлениях.

Потери напора по длине следует определить по формуле Вейсбаха-Дарси

$$h_l = \lambda \frac{l}{d}\frac{v^2}{2g} \qquad (7.3)$$

гидравлический коэффициент трения λ по формуле Альтшуля

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\mathrm{Re}}\right)^{0,25} \qquad (7.4)$$

Потери в местных сопротивлениях

$$h_м = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} \qquad (7.5)$$

Вакуумметрическая высота всасывания при входе в насос определяется из уравнения Бернулли, составленного для сечений *1-1* и *2-2* (см. рис. 7.1), приняв за горизонтальную плоскость сравнения сечение *1-1*.

Максимальная допустимая геометрическая высота всасывания при заданном расходе определяется по формуле

$$H_{г.в.}^{доп} = H_{вак}^{доп} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - h_1 \qquad (7.6)$$

где h_1 и $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$ – потеря напора и скоростной напор во всасывающей линии при заданном расходе;

$H_{вак}^{доп}$ – допустимая вакуумметрическая высота всасывания, определяемая по графику.

Задача 8

Жидкость плотностью ρ = 900 кг/м^3 поступает в левую полость цилиндра через дроссель с коэффициентом расхода μ = 0,62 и диаметром *d* под избыточным давлением $p_н$; давление на сливе $p_с$ (рис.8.1). Поршень гидроцилиндра диаметром *D* под действием разности давлений в левой и правой полостях цилиндра движется слева направо с некоторой скоростью v.

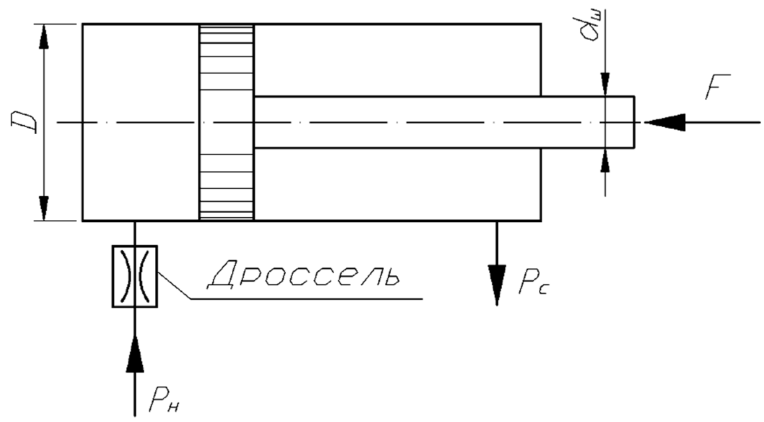

Рис.8.1

<u>Требуется определить</u> значение силы *F*, преодолеваемой штоком гидроцилиндра диаметром $d_ш$ при движении его против нагрузки со скоростью v.

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D, мм	70	50	60	80	90	100	180	200	140	110
$d_ш$, мм	30	25	28	40	45	50	90	100	70	55

d, мм	1,2	1,5	2	2,2	1,8	2,5	4,0	3,5	2,8	2
$p_н$, МПа	20	25	10	15	1,2	5	13	26	21	28
$p_с$, МПа	0,3	0,5	0,6	1	0,2	0,7	0,4	0,1	0,7	0,8
v, см/с	2	4,5	3	3,5	1	3,5	2,5	4	4,5	5

Порядок решения задачи 8.

1. Исходя из диаметра цилиндра Dи скорости движения поршня v, определяется расход гидроцилиндра Q, который равен расходу через дроссель

$$Q = \omega \cdot v \tag{8.1}$$

где ω – площадь левой полости цилиндра.

2. Используя формулу для определения расхода через дроссель, определяем сначала перепад давлений на входе в дроссель и выходе из него, то есть в левой полости цилиндра, а затем и давление в гидроцилиндре $p_{гц}$.

$$\Delta p = p_н - p_{гц} = \frac{\rho \cdot Q^2}{2(\mu \cdot \omega_д)^2} \tag{8.2}$$

где $p_{гц}$ – давление в левой полости гидроцилиндра, Па;

$\omega_д$ – площадь отверстия в дросселе, м^2.

$$p_{гц} = p_н - \frac{\rho \cdot Q^2}{2(\mu \cdot \omega_д)^2} \tag{8.3}$$

3. Поскольку поршень движется равномерно со средней скоростью v, то сумма всех сил, действующих на поршень равна нулю

$$\sum_{i=1}^{3} F_i = 0 \text{ или } F_л = F_п + F \tag{8.4}$$

$$\text{или } F = F_л - F_п \tag{8.5}$$

где $F_л$ – сила, приложенная к поршню слева

$$F_л = \omega\, p_{гц} \tag{8.6}$$

$F_п$ – сила, приложенная к поршню справа

$$F_п = (\omega - \omega_{шт})\, p_с \tag{8.7}$$

где $\omega_{шт}$ – площадь поперечного сечения штока.

Далее по формуле (8.5) определяется величина силы F, преодолеваемой штоком гидроцилиндра.

Задача 9

Гидравлическое реле времени, служащее для включения и выключения различных устройств через фиксированные интервалы времени, состоит из цилиндра, в котором помещен поршень диаметром D_1, со штоком-толкателем диаметром D_2 .

Цилиндр присоединён к ёмкости с постоянным уровнем жидкости H_0. Под действием давления, передающегося из ёмкости в правую полость цилиндра, поршень перемещается, вытесняя жидкость из левой полости в ту же ёмкость через трубку диаметром *d* (рис.9.1).

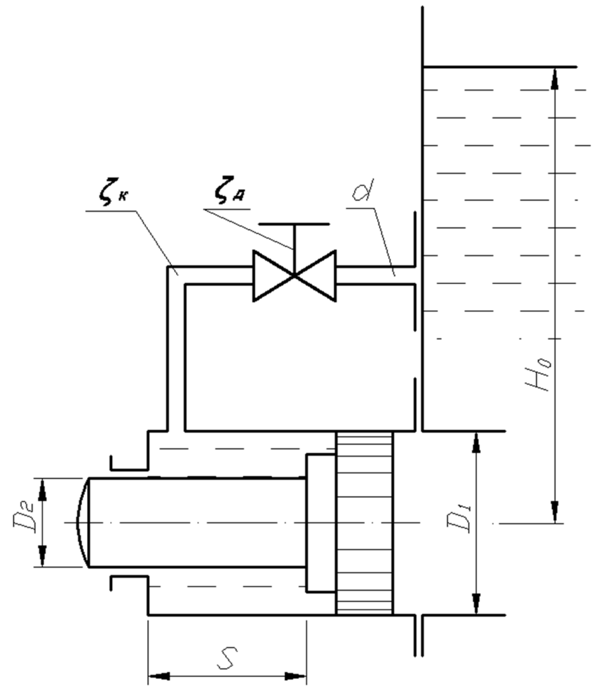

Рис.9.1

Требуется определить:

Вычислить время *T* срабатывания реле, определяемое перемещением поршня на расстояние *S* из начального положения до упора в торец цилиндра.

Движение поршня считать равномерным на всём пути, пренебрегая незначительным временем его разгона.

В трубке учитывать только местные потери напора. Коэффициент сопротивления колена $\zeta_к = 1,5$ и дросселя на трубке $\zeta_д$.

Утечками и трением в цилиндре, а также скоростными напорами жидкости в его полостях пренебречь.

Исходные данные	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D_1, мм	80	90	140	100	125	50	110	45	180	55
D_2, мм	40	45	70	50	60	25	55	22	90	28
H_0, м	0,9	1	1,5	2	1,8	1,4	2,2	1,2	0,8	1,6
d, мм	10	12	16	10	25	12	25	8	32	12
S, мм	100	150	200	250	300	350	500	400	450	550
$\zeta_д$	22	15	20	25	18	32	17	12	20	10

Указания к решению задачи 9

Сила давления жидкости на поршень справа

$$P_п = \rho\, g H_0 S_п, \qquad (9.1)$$

где $S_п$ – площадь поршня.

Сила давления слева

$$P_л = \rho\, gH_0(S_п - S_ш)\ , \qquad (9.2)$$

где $S_ш$ – площадь штока.

Равнодействующая сила, действующая на площадь (сила, перемещающая поршень),

$$P = P_п - P_л = \rho\, gH_0 S_ш\ , \qquad (9.3)$$

При равномерном движении поршня эта сила должна уравновешиваться силой сопротивления движению поршня со стороны жидкости, которая будет равна:

$$F = \Delta\, p(S_п - S_ш). \qquad (9.4)$$

где Δp– потеря давления при прохождении жидкости по трубке из левой полости цилиндра в правую, которая равна:

$$\Delta p = \zeta_к \rho \cdot g \cdot \frac{v^2}{2g} + \zeta_д \rho \cdot g \cdot \frac{v^2}{2g} \qquad (9.5)$$

где v – скорость движения жидкости по трубке.

Приравняв правые части формул (9.3) и (9.4), и подставив в получен-ную зависимость вместо Δp его выражение в соответствии с зависимо-стью (9.5), определим скорость движения жидкости по трубке и расход Q

$$v = \sqrt{\frac{2g \cdot H_0 \cdot S_ш}{(\zeta_к + \zeta_д)(S_п - S_ш)}} \qquad (9.6)$$

$$Q = v\omega \qquad (9.7)$$

где ω – площадь поперечного сечения трубки.

Из уравнения неразрывности определяем скорость движения поршня $v_п$

$$\frac{v}{v_п} = \frac{S_п - S_ш}{\omega}\ ; \qquad v_п = \frac{v \cdot \omega}{S_п - S_ш} = \frac{Q}{S_п - S_ш} \qquad (9.8)$$

Зная расстояние S, на которое должен переместиться поршень, вычисляем время T срабатывания реле.

Для решения задач контрольных работ рекомендуется пользоваться следующей литературой:

1. Чугаев, Р. Р. Гидравлика (техническая механика жидкости): учеб.для вузов – изд. 6-е, репринтное – М. : Издательский дом БАСТЕТ, 2013. – 672 с.: ил.

2. Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А. Гидравликаи гидропневмопривод: Учебник. Ч. 2. Гидравлические машины и гид-ропневмопривод / Под ред. А.А. Шейпака. – М.: МГИУ, 2003. – 352 с.