

Министерство образования РФ

Тульский государственный университет

Кафедра СТС

"ГИДРАВЛИКА"

Тула 2010 г.

Разработали:

А.М. Тужилкин, к.т.н., проф. каф. СТС

Р.О. Белоусов, к.т.н., доц. каф. СТС

Содержание

1. Физические свойства жидкостей и газов	4
2. Гидростатическое давление и приборы для его измерения	6
3. Давление жидкости на плоские и криволинейные фигуры	9
4. Плавание тел	13
5. Основы гидроаэродинамики	15
6. Гидравлические сопротивления	17
7. Движение жидкостей и газов в напорных трубах	21
8. Контрольные задачи	36
Библиографический список рекомендуемой литературы	41

1. Физические свойства жидкостей и газов.

Задача 1.1

Участок водовода диаметром d и длиной l подвергается гидравлическому испытанию на герметичность. Для этого он заполнен водой (модуль упругости $E_{\text{ж}} = 2,1 \cdot 10^9$ Па) при испытательном давлении, равном $p_{\text{м1}}$. Через интервал времени t вследствие утечек воды объемом ΔW испытательное давление падает до величины $p_{\text{м2}}$.

Известно, что $d = 200$ мм, $l = 500$ м, $p_{\text{м1}} = 10^6$ Па. Определить минутную интенсивность утечек воды из трубы, если через $t = 12$ мин испытательное давление упало до $p_{\text{м2}} = 5 \cdot 10^5$ Па.

Р е ш е н и е.

Объем воды в водоводе:

$$W = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l = \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} \cdot 500 = 15,7 \text{ м}^3$$

Общий объем утечек за $t = 12$ мин ([3], с.15; [4], с.10)

$$\Delta W = \frac{W(p_{\text{м1}} - p_{\text{м2}})}{E_{\text{ж}}} = \frac{15,7 \cdot (10^6 - 5 \cdot 10^5)}{2,1 \cdot 10^9} = 37,38 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 3,74 \text{ л}$$

Минутная интенсивность утечек

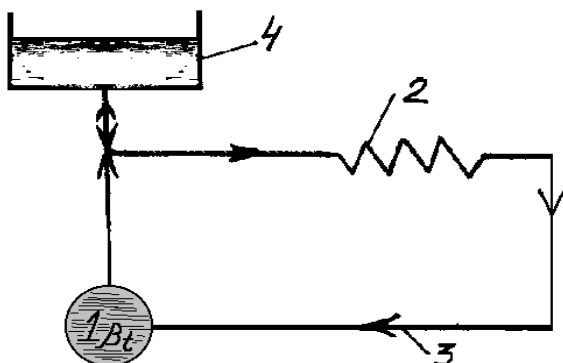
$$\Delta W_{\text{мин}} = \frac{\Delta W}{t} = \frac{3,74}{12} = 0,312 \text{ л/мин.}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 1.1

1. Известно, что $d = 300$ мм, $l = 400$ м, $p_{\text{м1}} = 1,5 \cdot 10^6$ Па. Определить давление $p_{\text{м2}}$, ниже которого давление в воде не должно падать через $t = 10$ мин испытания, если максимальная допустимая интенсивность утечек $\Delta W_{\text{max}} = 1,2$ л/мин.

2. Известно, что $d = 250$ мм, $l = 600$ м, $p_{\text{м2}} = 5 \cdot 10^5$ Па. Определить, чему равнялось начальное испытательное давление $p_{\text{м1}}$, если испытание длилось $t = 5$ мин, а интенсивность утечек воды $\Delta W = 0,9$ л/мин.

Задача 1.2.



Система водяного отопления с естественной циркуляцией состоит из котла 1, нагревательного прибора 2, труб 3 и расширительного сосуда 4, сообщающегося с атмосферой. Внутренний объем системы отопления W , объем расширительного сосуда ΔW .

Во время перерывов в работе топki происходит снижение температуры воды в системе на величину Δt , в результате чего объем воды в системе

уменьшается (коэффициент температурного расширения $\beta_t = 20 \cdot 10^{-5} \text{ 1/град}$), что и должно компенсироваться объемом воды из расширительного резервуара во избежание попадания воздуха внутрь системы.

Известно, что $W = 0,6 \text{ м}^3$. Определить требуемый объем расширительного сосуда ΔW , если возможное колебание температуры воды составляет от $t_{\min} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_{\max} = 95 \text{ }^\circ\text{C}$.

Р е ш е н и е.

Искомый объем расширительного сосуда ([3], с.16; [4], с.11)

$$\Delta W = \beta_t \cdot W (t_{\max} - t_{\min}) = 20 \cdot 10^{-5} \cdot 0,6 \cdot (95 - 70) = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 3 \text{ л}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 1.2

1. Известно, что $W = 0,5 \text{ м}^3$, $t_{\max} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить, до какой температуры $t_{\min}$ можно допускать охлаждение воды в системе отопления, если объем расширительного сосуда $\Delta W = 2 \text{ л}$.

2. Известно, что $\Delta t = 30 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить, для какого объема системы отопления W может быть использован расширительный сосуд объемом $\Delta W = 2,5 \text{ л}$.

Задача 1.3

При выполнении сварочных работ кислород ($R = 260 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$) забирается из баллона емкостью W , в котором давление p зависит от температуры t и массы газа M .

Известно, что перед началом работ при температуре $t_1 = 10^\circ\text{C}$ абсолютное давление газа в баллоне емкостью $W = 20 \text{ л}$ составляло $p_1 = 7000 \text{ кПа}$, а по окончании работ соответственно $t_2 = 14 \text{ }^\circ\text{C}$ и $p_2 = 300 \text{ кПа}$. Определить массу M и вес G израсходованного за время работ кислорода.

Р е ш е н и е.

Масса кислорода в баллоне $M = \rho_o \cdot W_o$, а плотность кислорода может быть определена из уравнения состояния газа ([1], с.13; [4], с.12), т.е. $M = \frac{W \cdot p}{R \cdot T}$. Тогда масса кислорода в баллоне перед началом работ:

$$M_1 = W \frac{p_1}{R \cdot T_1} = 20 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{7000 \cdot 10^3}{260 \cdot (273 + 10)} = 1,9 \text{ кг.}$$

Масса кислорода в баллоне после окончания работ

$$M_2 = W \frac{p_2}{R \cdot T_2} = 20 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{300 \cdot 10^3}{260 \cdot (273 + 14)} = 0,08 \text{ кг.}$$

Масса израсходованного кислорода

$$M = M_1 - M_2 = 1,9 - 0,08 = 1,82 \text{ кг.}$$

Вес израсходованного кислорода

$$G = M \cdot g = 1,82 \cdot 9,81 = 17,85 \text{ Н.}$$

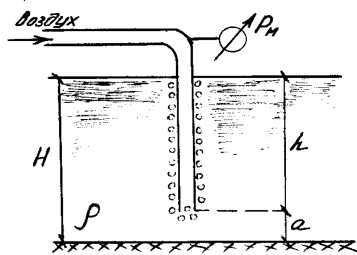
В а р и а н т ы з а д а ч и 1.3

1. Известно, что $W = 30$ л, $p_1 = 8$ МПа, $t_1 = t_2 = 15$ °С. Определить давление p_2 , если израсходовано $M = 1$ кг кислорода.

2. Известно, что $W = 20$ л, $t_1 = 20$ °С, $t_2 = 15$ °С, $p_2 = 400$ кПа. Определить давление p_1 , если израсходовано $M = 0,5$ кг кислорода.

2. Гидростатическое давление и приборы для его измерения

Задача 2.1



Пневматический уровнемер представляет собой трубку, нижний конец которой погружен в жидкость плотностью ρ на глубину h (приподнят на высоту a над дном). В нее подается воздух, давление которого p_m обеспечивает выход его из трубки пузырьками; величина давления фиксируется манометром.

Известно, что $a = 0,1$ м, $\rho = 1030$ кг/м³. Определить глубину жидкости в канале, если $p_m = 37$ кПа.

Р е ш е н и е.

Искомая глубина воды в канале ([2], с.18; [4], с.28)

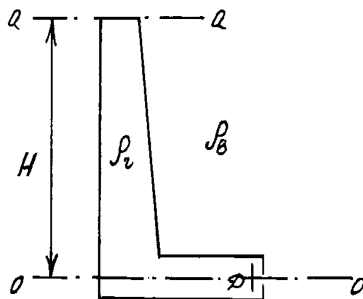
$$H = h + a = \frac{p_m}{\rho g} + a = \frac{37 \cdot 10^3}{1030 \cdot 9,81} + 0,1 = 3,76 \text{ м.}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 2.1

1. Известно, что $a = 0,2$ м и $\rho = 998$ кг/м³. Определить требуемое давление воздуха p_m , если максимальная глубина воды в резервуаре $H = 4$ м.

2. Известно, что $H = 3$ м и $a = 0,3$ м. Определить плотность жидкости ρ , если требуется давление $p_m = 28$ кПа.

Задача 2.2



Дымовая труба высотой H служит для создания тяги Δh в топке котла (перед дверцей топки D) благодаря разнице плотностей наружного воздуха ρ_v и горячих дымовых газов ρ_g (причем $\rho_v > \rho_g$).

Известно, что $H = 20$ м, $\rho_v = 1,23$ кг/м³. Определить тягу Δh (в мм вод. ст.), если плотность дымовых газов $\rho_g = 0,6$ кг/м³.

Р е ш е н и е.

Давление ([1], с.60; [4], с.34) перед дверцей топки (снаружи)

$$p_H = p_{a-a} + \rho_v \cdot g \cdot H$$

Давление за дверцей топки (внутри) $p_b = p_{a-a} + \rho_g \cdot g \cdot H$

Перепад давления

$$\Delta p = p_n - p_b = g \cdot H \cdot (\rho_b - \rho_g) = 9,81 \cdot 20 \cdot (1,23 - 0,6) = 123,61 \text{ Па.}$$

Тяга топки (разница напоров)

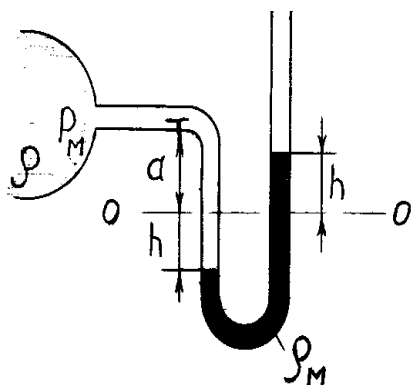
$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = \frac{123,61}{1000 \cdot 9,81} = 0,0126 \text{ м вод. ст.} = 12,6 \text{ мм. вод. ст.}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 2.2

1. Известно, что $H = 15 \text{ м}$, $\rho_b = 1,28 \text{ кг/м}^3$. Определить, при какой плотности дымовых газов ρ_g тяга $\Delta h = 8 \text{ мм вод. ст.}$

2. Известно, что $\rho_b = 1,25 \text{ кг/м}^3$, $\rho_g = 0,72 \text{ кг/м}^3$. Определить, при какой высоте дымовой трубы H тяга $\Delta h = 10 \text{ мм вод. ст.}$

Задача 2.3



К резервуару с жидкостью плотностью ρ подсоединен U-образный мановакуумметр, "ноль" шкалы которого расположен ниже точки подсоединения на расстояние a . Мановакуумметр заполнен жидкостью плотностью ρ_m .

Известно, что $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $a = 1,5 \text{ м}$, $\rho_m = 13600 \text{ кг/м}^3$.

Определить давление p_m в точке подсоединения мановакуумметра, если $h = 130 \text{ мм}$.

Р е ш е н и е.

По условию равенства давлений в обоих коленах мановакуумметра на уровне нижнего мениска ([2], с.20; [4], с.26) запишем:

$$p_m + \rho \cdot g \cdot (a + h) = \rho_m \cdot g \cdot 2h$$

Отсюда искомое давление:

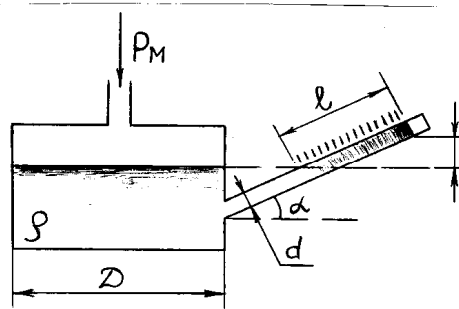
$$p_m = \rho_m \cdot g \cdot 2h - \rho \cdot g \cdot (a + h) = 13600 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot 0,13 - 1000 \cdot 9,81 \cdot (1,5 + 0,13) = 18,7 \text{ кПа}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 2.3

1. Известно, что $\rho = 1010 \text{ кг/м}^3$, $a = 0,8 \text{ м}$, $\rho_m = 13600 \text{ кг/м}^3$. Определить, какое будет показание манометра h , если $p_m = 30 \text{ кПа}$.

2. Известно, что $\rho = 950 \text{ кг/м}^3$, $\rho_m = 13600 \text{ кг/м}^3$. Определить, абсолютную погрешность измерения давления Δp , если точность отсчета по шкале $\Delta h = 1 \text{ мм}$.

Задача 2.4



Для измерения малых давлений p_m в газах применяются чашечные микроманометры, заполненные жидкостью плотностью ρ , с наклонной на угол α стеклянной трубкой и шкалой.

Известно, что $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$, $\alpha = 30^\circ$. Определить точность измерения давления Δp_m , если точность отсчета по шкале $\Delta l = 1 \text{ мм}$.

Решение

Искомое приращение измеряемого давления при изменении положения мениска жидкости в наклонной трубке на величину Δl ([2], с.20; [4], с.26)

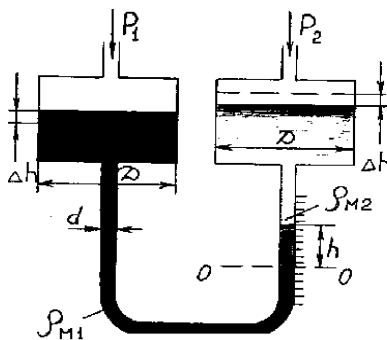
$$\Delta p_m = \rho \times g \times \Delta l \times \sin \alpha = 800 \cdot 9,81 \cdot 0,001 \cdot 0,5 = 3,924 \text{ Па.}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 2.4

1. Известно, что $\rho = 780 \text{ кг/м}^3$. Определить требуемый угол наклона шкалы α , чтобы при $\Delta p_m = 5 \text{ Па}$ отсчет по шкале $\Delta l = 1 \text{ мм}$.

2. Известно, что $\alpha = 45^\circ$. Определить максимальную плотность ρ , для которой при $\Delta p_m = 6 \text{ Па}$ отсчет по шкале $\Delta l \geq 1 \text{ мм}$.

Задача 2.5



Для измерения перепада давления в газах применяется двухжидкостный микродифманометр, состоящий из двух чашек диаметром D , соединенных трубкой диаметром d . Заполнен прибор двумя несмешивающимися жидкостями с близкими, но не равными плотностями ρ_{m1} и ρ_{m2} ($\rho_{m1} > \rho_{m2}$). Перед измерением перепада давления $\Delta p = p_1 - p_2$ шкалу микродифманометра устанавливают на "ноль".

Известно, что $\rho_{m1} = 850 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{m2} = 820 \text{ кг/м}^3$, $d = 5 \text{ мм}$, $D = 50 \text{ мм}$. Определить перепад давления Δp , если показание прибора $h = 200 \text{ мм}$.

Решение

Перепад давления ([2], с. 19; [4], с.26)

$$\Delta p = (\rho_{m1} - \rho_{m2}) \cdot g \cdot h + \rho_{m1} \cdot g \cdot \Delta h + \rho_{m2} \cdot g \cdot \Delta h$$

Изменение уровня жидкости в чашках

$$\Delta h \cdot \frac{\pi D^2}{4} = h \cdot \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{или} \quad \Delta h = h \cdot \frac{d^2}{D^2}$$

Окончательно получим:

$$\Delta p = g \cdot h \cdot \left[(\rho_{m1} - \rho_{m2}) + \frac{d^2}{D^2} \times (\rho_{m1} + \rho_{m2}) \right] =$$

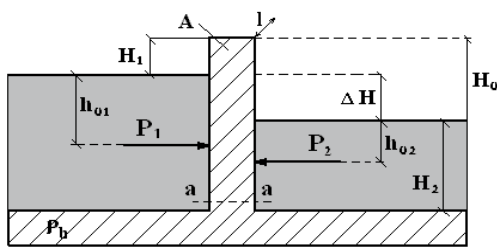
$$9,81 \cdot 0,2 \cdot \left[(850 - 820) + \frac{5^2}{50^2} \cdot (850 + 820) \right] = 91,63 \text{ Па.}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 2.5

1. Известно, что $\rho_{m1} = 810 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{m2} = 750 \text{ кг/м}^3$, $D = 60 \text{ мм}$, $d = 5 \text{ мм}$. Определить чувствительность прибора Δp , если точность отсчета по шкале $\Delta h_{\min} = 1 \text{ мм}$.
2. Известно, что $\rho_{m1} = 880 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{m2} = 840 \text{ кг/м}^3$, $D = 50 \text{ мм}$, $d = 6 \text{ мм}$. Определить требуемую высоту шкалы h , если ожидаемый максимальный перепад давления $\Delta p_{\max} = 50 \text{ Па}$

3. Давление жидкости на плоские и криволинейные фигуры.

Задача 3.1



Вертикальная железобетонная стенка A высотой H_0 разделяет два отсека резервуара, заполненных водой ($\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$) до разных уровней. Максимальный уровень воды в отсеке выше дна на величину H_1 , а минимальный на величину H_2 . В результате разницы уровней воды ΔH в основании стенки (сечение $a-a$) возникает изгибающий момент M_a . Расчет ведется на единицу длины стенки (в направлении,

перпендикулярном плоскости чертежа).

Известно, что $H_1 = 2,7 \text{ м}$, $H_2 = 0,6 \text{ м}$. Определить величину результирующей силы P и изгибающего момента M_a в сечении $a-a$ стенки.

Р е ш е н и е

Сила давления жидкости ([2], с.26, [4], с.51)

- при произвольной глубине H

$$P = \rho g h_c F = \rho g \frac{H}{2} H l = \rho g \frac{H^2}{2};$$

- при глубинах H_1 и H_2 соответственно:

$$P_1 = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,7^2 \cdot 0,5 = 35,76 \text{ кН};$$

$$P_2 = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,6^2 \cdot 0,5 = 1,77 \text{ кН.}$$

Искомая результирующая сила:

$$P = P_1 - P_2 = 35,76 - 1,77 = 33,99 \text{ кН.}$$

Глубина погружения центра давления ([2], с.28)

$$h_d = h_c + \frac{J_c}{h_c F} \sin^2 \alpha = \frac{H}{2} + \frac{1 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 0.2}{12 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 1} \cdot 1 = \frac{2}{3} H;$$

Тогда соответственно:

$$h_{d1} = \frac{2}{3} \cdot 3 = 2 \text{ м}; \quad h_{d2} = \frac{2}{3} \cdot 0.6 = 0.4 \text{ м}.$$

Искомый изгибающий момент в сечении а-а

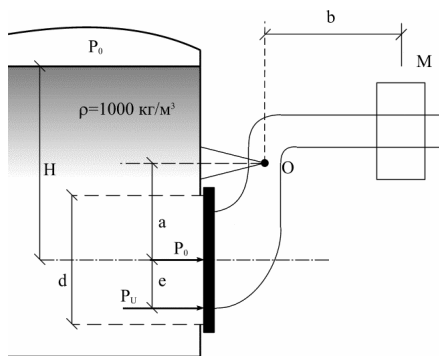
$$M_a = \sum_{i=1}^2 P_i (H_i - h_{di}) = 35.76 \times (2.7 - 1.8) - 1.77 \times (0.6 - 0.4) = 31.83 \text{ кН·м}.$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 3.1

1. Известно, что $H_1 = 3,5 \text{ м}$. Определить, при каких величинах H_2 изгибающий момент в сечении а-а $M_a \leq 15 \text{ кН·м}$.

2. Известно, что, $H_2 = 0,5 \text{ м}$. Определить, при каких величинах H_1 изгибающий момент в сечении а-а $M_a \leq 20 \text{ кН·м}$.

Задача 3.2



В закрытом резервуаре находится вода ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$), манометрическое давление паров которой равно p_0 .

Для выпуска воды на глубине H имеется круглое отверстие диаметром d , перекрытое клапаном, удерживающим давление воды P с помощью рычажного (а, b) устройства и груза массой M .

Известно, что $p_0 = 0,08 \text{ МПа}$, $H = 2 \text{ м}$, $d = 200 \text{ мм}$, $a = 250 \text{ мм}$. Определить требуемую массу груза M , если плечо рычага $b = 120 \text{ см}$.

Р е ш е н и е

Сила внешнего давления воды

$$P_0 = p_0 F = p_0 \frac{\pi d^2}{4} = 0.08 \cdot 10^6 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.2^2}{4} = 2.5 \text{ кН}.$$

Сила избыточного давления воды ([2], с.26; [4], с.51)

$$P_u = \rho g h_c F = 1000 \cdot 9.81 \cdot 2 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.2^2}{4} = 0.62 \text{ кН}.$$

Величина эксцентриситета центра давления ([2], с.28; [4], с.53)

$$e = \frac{J_c}{h_c F} = \frac{d^2}{16H} = \frac{0.2^2}{16 \cdot 2} = 0.001 \text{ м}.$$

Условие равенства моментов сил относительно оси O вращения рычага $P_0a + P_u(a + e) = gMb$.

Отсюда искомая масса груза

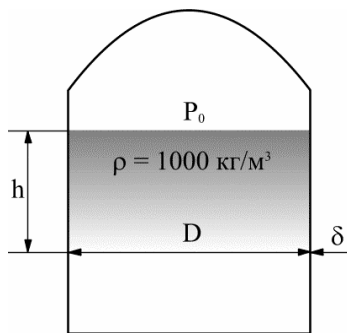
$$M = \frac{P_0a + P_u(a+e)}{gb} = \frac{2.5 \cdot 10^3 \cdot 0.25 + 0.62 \cdot 10^3 (0.25 + 0.001)}{9.81 \cdot 1.2} = 66.3 \text{ кг.}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 3.2

1. Известно, что $p_0 = 70$ кПа, $H = 1,8$ м, $d = 300$ мм, $a = 200$ мм. Определить требуемую длину рычага b , если масса груза $M = 70$ кг.

2. Известно, что $d = 250$ мм, $a = 150$ мм, $b = 150$ см, $M = 50$ кг. Определить величину манометрического давления p_0 , если глубина $H = 2,0$ м.

Задача 3.3



Водяной резервуар пневматической водоподъемной установки имеет диаметр D и толщину стенок δ . Под действием давления воздуха p_0 и высоты слоя воды h в стенках резервуара возникает напряжение σ .

Известно, что $D = 3$ м, $\delta = 10$ мм, $h = 2,5$ м. Определить напряжение σ в стенках резервуара при давлении воздуха $p_0 = 0,2$ МПа.

Р е ш е н и е

Давление воды на глубине h ([2], с.20; [4], с.26)

$$p = p_0 + \rho gh = 0.2 \cdot 10^6 + 1000 \cdot 9.81 \cdot 2.5 = 224.5 \text{ кПа}$$

Напряжение в стенках резервуара ([2], с.33; [4], с.59)

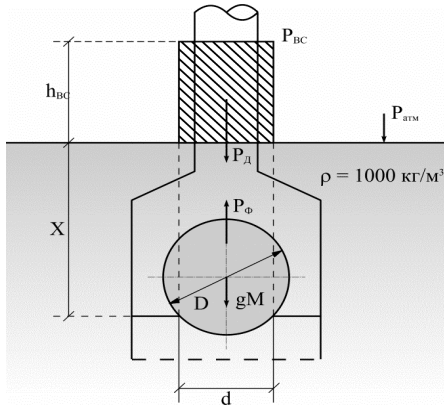
$$\sigma = \frac{pD}{2\delta} = \frac{224.5 \cdot 10^3 \cdot 3}{2 \cdot 0.01} = 33.7 \cdot 10^3 \text{ кПа.}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 3.3

1. Известно, что $D = 2,5$ м, $h = 2$ м, $p_0 = 0,22$ МПа. Определить при какой толщине стенок δ напряжение в них $\sigma = 30 \cdot 10^6$ Па.

2. Известно, что $D = 4$ м, $h = 3$ м, $\delta = 15$ мм. Определить, при каком давлении воздуха p_0 напряжение $\sigma = 35 \cdot 10^6$ Па.

Задача 3.4



Всасывающая труба насоса оборудована приемным клапаном, выполненным в виде шара диаметром D и массой M , сидящим в седле (отверстии) диаметром d . Весом шара обеспечивается удержание воды во всасывающей трубе до пуска насоса. Насос, создавая в трубе на высоте всасывания $h_{вс}$ разрежение ($p_{вс} < p_{атм}$), приподнимает шар, обеспечивая движение воды к насосу.

Известно, что $D=150$ мм, $d=100$ мм, $M=2$ кг. Определить разрежение $h_{вак}$, которое должен создать насос, если высота всасывания $h_{вс}=2$ м.

Решение

При заданном давлении на одной из плоскостей ($p_{атм}$ или $p_{вс}$) величину вертикальной силы удобнее вычислять ([1] с.57; [4] с.56) по формуле $P_v = p_0 F_r + \rho \cdot g \cdot W$

где

F_r - горизонтальная проекция криволинейной поверхности;

W – объём тела давления, ограниченного сверху плоскостью с заданным давлением p_0 .

Для определения вертикальной силы воздействия воды определим очертание тела давления для объёмов воды с обеих сторон шара (см. задачи 2,37 и 2,38). Тело давления будет состоять из двух тел: действительного (цилиндр диаметром d и высотой $h_{вс}$) и фиктивного (шар диаметром D).

Тогда действительная сила давления, направленная сверху вниз,

$$P_d = p_{вс} \frac{\pi d^2}{4} + \rho g \frac{\pi d^2}{4} h_{вс}$$

а фиктивная сила, направленная снизу вверх,

$$P_\phi = p_{атм} \frac{\pi d^2}{4} + \rho g \frac{\pi D^3}{6}.$$

Условия равновесия шара можно записать так:

$$gM = P_\phi - P_d$$

или

$$M = \rho \frac{\pi d^2}{4} \left(\frac{p_{атм} - p_{вс}}{\rho g} + \frac{2}{3} \frac{D^3}{d^2} - h_{вс} \right)$$

(Заметим, что в условие не входит величина x , т. е. условие пуска насоса не зависит от глубины погружения приемного клапана).

Искомое разрежение во всасывающей трубе, выраженное в метрах водяного столба,

$$h_{\text{вак}} = \frac{p_{\text{атм}} - p_{\text{вс}}}{\rho \chi g}$$

Следовательно,

$$h_{\text{вак}} = \frac{p_{\text{атм}} - p_{\text{вс}}}{\rho \chi g} = h_{\text{вс}} - \frac{2}{3} \chi \frac{D^3}{d^2} + \frac{4M}{\rho \chi \pi \chi d^2} = 2 - \frac{2}{3} \chi \frac{0.15^3}{0.12^2} +$$

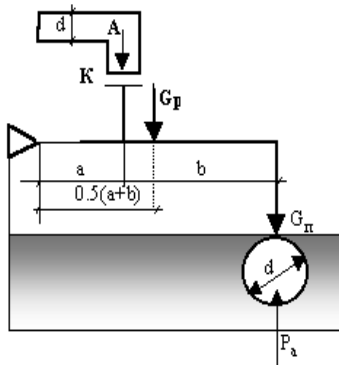
$$+ \frac{4 \chi 2}{1000 \chi 3.14 \chi 0.1^2} = 2.03 \text{ м вод. ст.}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 3.4

1. Известно, что $D=200$ мм, $d=150$ мм, $h_{\text{вс}}=3$ м. Определить массу клапана M , чтобы он открывался при разряжении $h_{\text{вак}}=5$ м. вод.ст.
2. Известно, что $D=150$ мм, $d=100$ мм, $M=4$ кг. Определить возможную высоту всасывания $h_{\text{вс}}$, если насос способен создавать разряжение $h_{\text{вак}}=6$ м. вод. ст.

4. Плавание тел.

Задача 4.1



Вода ($\rho_v = 1000$ кг/м³) по трубе диаметром d под давлением p подаётся в резервуар. Во избежание переполнения резервуара сечение трубы перекрывается клапаном K , прижимаемым к трубе рычажно-поплавковым устройством. Плечи рычага a и b ; масса рычага M_p . поплавков диаметром D имеет массу M_n .

При полном погружении поплавок выталкивающая сила P_a создаёт в клапане K усилие, равное силе давления воды P в подводящей трубе.

Известно, что $p=0,3$ МПа, $d=50$ мм, $M_p=200$ г,

$a=40$ мм, $b=180$ мм.

Определить требуемый диаметр поплавок D , если его масса $M_n=120$ г.

Р е ш е н и е

Действующие силы:

-давление воды на клапан K

$$P = p \frac{\pi d^2}{4} = 0.3 \chi 10^6 \chi \frac{3.14 \chi 0.05^2}{4} = 589 \text{ Н} = 0.589 \text{ кН}$$

- выталкивающая сила воды ([2], с. 30; [4], с. 61)

$$P_a = \frac{\pi D^3}{6} \rho_v g = \frac{3.14 \chi D^3}{6} \chi 1000 \chi 9.81 = 5.14 D^3 \text{ кН};$$

- вес рычага

$$G_p = M_p \cdot g = 0.2 \cdot 9.81 = 1.96 \text{ Н};$$

- вес поплавка

$$G_n = M_n \cdot g = 0.12 \cdot 9.81 = 1.18 \text{ Н}$$

Условия равновесия рычага таковы:

$$P \cdot a + G_p \cdot 0.5 \cdot (a+b) + G_n \cdot (a+b) = P_a \cdot (a+b)$$

или

$$0.589 \cdot 10^3 \cdot 0.04 + 1.96 \cdot 0.5 \cdot (0.04 + 0.18) = 5.14 \cdot D^3 \cdot 10^3 \cdot (0.04 + 0.18)$$

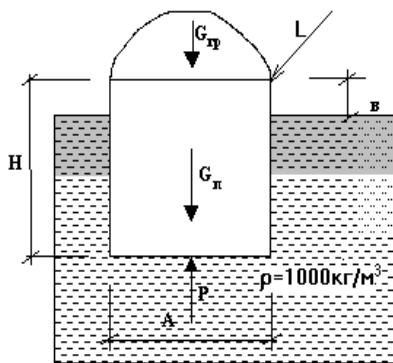
Отсюда получаем: $D = 0.277 \text{ м} = 27,7 \text{ см}.$

В а р и а н т ы з а д а ч и 4.1

1. Известно, что $p=400 \text{ кПа}$, $a=60 \text{ мм}$, $M_p=0,4 \text{ кг}$, $M_n=0,3 \text{ кг}$, $D=200 \text{ мм}$. Определить требуемую длину рычага b , если диаметр подающей трубы $d=50 \text{ мм}$.

2. Известно, что $d=50 \text{ мм}$, $a=50 \text{ мм}$, $b=200 \text{ мм}$, $M_p=0,2 \text{ кг}$, $D=250 \text{ мм}$. Определить, какое давление p в трубе будет удерживать клапан, если масса поплавка $M_n=0,1 \text{ кг}$.

Задача 4.2



Понтон в виде прямоугольного параллелепипеда имеет размеры $A \cdot H \cdot L$ и массу M_n . Максимальная масса перевозимого груза $M_{гр}$ определяется из условия, чтобы палуба понтона возвышалась над уровнем воды на высоту не менее v .

Известно, что $A=2 \text{ м}$, $H=1 \text{ м}$, $L=5 \text{ м}$, $M_n=300 \text{ кг}$. Определить возможную массу перевозимого груза $M_{гр}$ при $v=10 \text{ см}$.

Р е ш е н и е

Условие плавания понтона ([2] с.35, [4] с.62)

$$\rho g A L (H - v) = g (M_n + M_{гр})$$

Отсюда:

$$M_{гр} = \rho A L (H - v) - M_n = 1000 \cdot 2 \cdot 5 \cdot (1 - 0,1) - 300 = 8700 \text{ кг}.$$

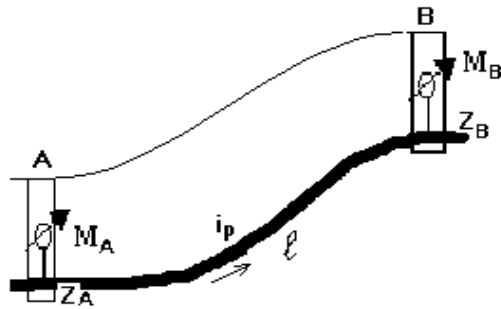
В а р и а н т ы з а д а ч и 4.2

1. Известно, что $A=2,5 \text{ м}$, $H=1,2 \text{ м}$, $L=6 \text{ м}$, $M_n=400 \text{ кг}$. Определить, возвышение палубы v , если масса перевозимого груза $M_{гр}= 9000 \text{ кг}$.

2. Известно, что $A=1,5$ м, $H=1$ м, $L=4$ м, $M_{\Pi}=150$ кг. Определить, сколько понтонов надо соединить для перевозки груза массой $M_{гр}=30$ т. при возвышении $v \geq 0,2$ м.

5. Основы гидроаэродинамики

Задача 5.1



По напорному трубопроводу постоянного диаметра в направлении от колодца А к колодцу В движется вода ($\rho=1000$ кг/м³), причём пьезометрический уклон потока равен i_p . Колодцы расположены на расстоянии l друг от друга, в них установлены манометры M_A и M_B , измеряющие давление потока воды в трубе на отметках z_A и z_B соответственно.

Известно, что $z_A=115$ м, $p_A=416$ МПа, $l=1,5$ км, $i_p=0,002$. Определить показание манометра p_B , если $z_B=120$ м.

Решение

Пьезометрический напор потока в сечении А ([2] с.60; [4] с.106)

$$H_{\Pi A} = z_A + \frac{p_A}{\rho g} = 115 + \frac{416 \cdot 10^3}{10^3 \cdot 9.81} = 157.4 \text{ м}$$

Пьезометрический напор потока в сечении В

$$H_{\Pi B} = H_{\Pi A} - i_p l = 157.4 - 0.002 \times 1500 = 154.4 \text{ м}$$

Показание манометра в сечении В

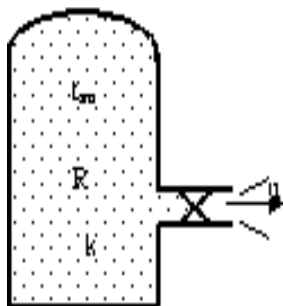
$$p_B = (H_{\Pi B} - z_B) \rho g = (154.4 - 120) \times 10^3 \times 9.81 = 337.5 \text{ кПа.}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 5.1

1. Известно, что $z_A=80$ м, $p_A=0,42$ МПа, $l=2$ км, $i_p=0,0018$. Определить, на какой отметке z_B показание манометра $p_B=386$ кПа.

2. Известно, что $z_B=95$ м, $p_B=0,320$ МПа, $l=1,6$ км, $i_p=0,0019$. Определить показание манометра p_A , если $z_A=93$ м.

Задача 5.2



Газ ($R=30 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$) находится в баллоне при температуре $t_{вн}$ и истекает из него через насадок со скоростью u в атмосферу. Принимаем процесс адиабатическим ($k=1,4$), а потерями напора пренебрегаем.

Известно, что $t_{вн} = 25$ °С. Определить температуру истекающей струи t_c , если скорость газа $u = 70$ м/с.

Р е ш е н и е

Для адиабатического течения и идеального газа уравнение Бернулли запишем в форме температур ([4], с.114):

$$\frac{k}{k-1} R T_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{k}{k-1} R T_2 + \frac{u^2}{2}$$

Отсюда при $u_1 = 0$ имеем

$$T_2 = T_1 - \frac{k-1}{2kR} u^2 = (273+25) - \frac{1,4-1}{2 \cdot 1,4 \cdot 30} 470^2 = 274,7 \text{ К.}$$

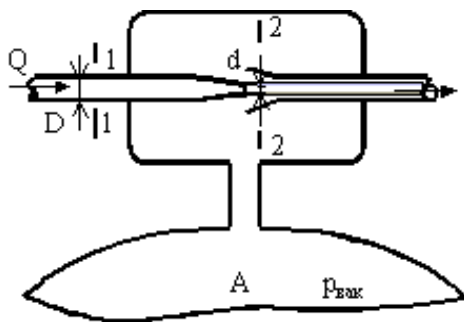
Искомая температура газа $t_c = T_2 - 273 = 274,7 - 273 = 1,7^\circ\text{C}$.

В а р и а н т ы з а д а ч и 5.2

1. Известно, что $t_{\text{вн}} = 30^\circ\text{C}$. Определить, при какой скорости струи u ее температура будет 0°C .

2. Известно, что $u = 80 \text{ м/с}$. Какова температура газа в баллоне $t_{\text{вн}}$, если температура струи $t_c = -3^\circ\text{C}$.

Задача 5.3



Для создания разряжения воздуха $p_{\text{вак}}$ в сосуде A используется водоструйный насос, к которому вода ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) в количестве Q подается по трубе внутренним диаметром D , которая сужается в насосе до диаметра d . Манометрическое давление перед насосом p_1 . Потерями напора пренебречь.

Известно, что $D = 10 \text{ см}$, $d = 3 \text{ см}$, $Q = 8 \text{ л/с}$. Определить величину разряжения $p_{\text{вак}}$, если давление перед насосом $p_1 = 0,05 \text{ МПа}$

Р е ш е н и е

Составим уравнение Бернулли для двух сечений: $1-1$ (перед водоструйным насосом) и $2-2$ (в суженной части) ([4], с. 109).

При этом учтем, что $h_n = 0$; $z_1 = z_2 = 0$; $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$;

$$\frac{p_{\text{атм}} + p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_{\text{атм}} - p_{\text{вак}}}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g},$$

где

$$V_1 = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad \text{и} \quad V_2 = \frac{4Q}{\pi d^2}.$$

Тогда

$$p_{\text{вак}} = \rho \frac{8}{\pi^2} Q^2 \left(\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4} \right) - p_1$$

или

$$p_{\text{вак}} = 1000 \cdot \frac{8}{3,14^2} \cdot 0,008^2 \cdot \left(\frac{1}{0,03^4} - \frac{1}{0,1^4} \right) - 0,05 \cdot 10^6 =$$

$$= 1,4 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 5.3

1. Известно, что $D = 15 \text{ см}$, $d = 3 \text{ см}$, $p_1 = 0,06 \text{ МПа}$. Определить, при каком расходе Q разряжение $p_{\text{вак}} = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Па}$.
2. Известно, что $D = 10 \text{ см}$, $p_1 = 0,07 \text{ МПа}$, $Q = 10 \text{ л/с}$. Определить, при каком диаметре сужения d разряжение $p_{\text{вак}} = 0,4 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

6. Гидравлические сопротивления

Задача 6.1

Для водопроводной трубы внутренним диаметром d и шероховатостью Δ_s построить по пяти точкам график зависимости коэффициента гидравлического трения λ от числа Рейнольдса Re .

Известно, что $d = 100 \text{ мм}$, $\Delta_s = 0,2 \text{ мм}$, интервал возможного изменения расхода воды ($v = 0,011 \text{ Ст}$) от $Q_{\min} = 0,5 \text{ л/с}$ до $Q_{\max} = 40 \text{ л/с}$.

Р е ш е н и е

Характерные числа Рейнольдса ([3], с. 42):

$$\text{-- "гладкое"} \quad Re_{\text{гл}} = 10 \frac{d}{\Delta_s} = 10 \cdot \frac{100}{0,2} = 5000;$$

$$\text{-- "квадратичное"} \quad Re_{\text{кв}} = 500 \frac{d}{\Delta_s} = 500 \cdot \frac{100}{0,2} = 250000.$$

Число Рейнольдса потока (для Q в л/с)

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{4}{\pi d \nu} Q = \frac{4 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 10 \cdot 0,011} Q = 11580 Q.$$

Примем пять значений расхода $Q = 0,5; 10; 20; 30; 40 \text{ л/с}$ и вычислим для каждого из них коэффициент гидравлического трения λ :

$$1) \quad Q = 0,5 \text{ л/с}; \quad Re = 11580 \cdot 0,5 = 4632.$$

Сравним число Рейнольдса Re с характерными значениями: $Re=4632 < Re_{г\lambda}=5000$. Следовательно, зона сопротивления – “гидравлически гладкие трубы” и $\lambda = f(Re)$. Для определения коэффициента λ воспользуемся формулой Блазиуса ([3], с. 43)

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} = \frac{0,316}{4632^{0,25}} = 0,038.$$

$$2) \quad Q = 10 \text{ л/с}; \quad Re = 11580 \cdot 10 = 115800;$$

$$Re_{г\lambda} = 5000 < Re = 115800 < Re_{кв} = 250000.$$

Следовательно, зона сопротивления – “переходная” и $\lambda = f(Re, \Delta/d)$. Для определения коэффициента λ воспользуемся формулой Альтшуля ([3], с. 42)

$$\lambda = 0,11 \chi \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \chi \left(\frac{0,2}{100} + \frac{68}{115800} \right)^{0,25} = 0,0248$$

$$3) \quad Q = 20 \text{ л/с}; \quad Re = 11580 \cdot 20 = 231600;$$

$$Re_{г\lambda} = 5000 < Re = 231600 < Re_{кв}; \quad (\text{см. предыдущий случай})$$

$$\lambda = 0,11 \chi \left(\frac{0,2}{100} + \frac{68}{231600} \right)^{0,25} = 0,0241.$$

$$4) \quad Q = 30 \text{ л/с}; \quad Re = 11580 \cdot 30 = 347400 > Re_{кв} = 250000.$$

Следовательно, зона сопротивления – “гидравлически шероховатые трубы” и $\lambda = f(\Delta_9/d)$.

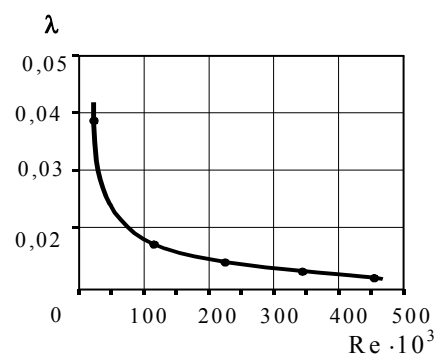
Для определения коэффициента λ воспользуемся формулой Шифринсона ([3], с. 43):

$$\lambda = 0,11 \chi \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} = 0,11 \chi \left(\frac{0,2}{100} \right)^{0,25} = 0,0232$$

5) $Q = 40 \text{ л/с}; \quad Re = 11580 \cdot 40 = 463200; \quad Re_{г\lambda} = 463200 < Re_{кв} = 250000$ (см. предыдущий случай);

$$\lambda = 0,11 \chi \left(\frac{0,2}{100} \right)^{0,25} = 0,0232$$

Строим график по пяти точкам.



В а р и а н т ы з а д а ч и 6.1

Построить по пяти точкам график зависимости коэффициента гидравлического трения λ от числа Рейнольдса Re при следующих исходных данных.

1. $d = 150$ мм, $\Delta_s = 0,2$ мм, $\nu = 0,013$ Ст, $Q_{\min} = 0,3$ л/с, $Q_{\max} = 50$ л/с.
2. $d = 200$ мм, $\Delta_s = 0,3$ мм, $\nu = 0,014$ Ст, $Q_{\min} = 0,2$ л/с, $Q_{\max} = 60$ л/с.

Задача 6.2

Пользуясь справочными таблицами ([3], табл. 3.4 – 3.11), определить коэффициент гидравлического трения λ для следующих напорных труб:

- а) неновой стальной водогазопроводной трубы диаметром $d_y = 100$ мм при скорости $V = 0,8$ м/с;
- б) новой чугунной напорной трубы (класс ЛА) диаметром $d_y = 150$ мм при скорости $V = 0,6$ м/с;
- в) асбестоцементной трубы (класс ВТ-9, тип I) диаметром $d_y = 200$ мм при скорости $V = 0,7$ м/с;

Р е ш е н и е

По таблице 3.4 для стальной водогазопроводной трубы диаметром $d_y = 100$ мм коэффициент гидравлического трения $\lambda_{\text{кв}} = 0,041$ и $\lambda_{\text{кв}} / \lambda_1 = 1,46$.

Поправочный коэффициент для неновой стальной трубы при $V = 0,8$ м/с $< 1,2$ м/с найдем по таблице 3.5: $k = 1,06$.

Окончательно $\lambda = \lambda_{\text{кв}} k = 0,041 \cdot 1,06 = 0,043$.

По таблице 3.4 для чугунной напорной трубы диаметром $d_y = 150$ мм коэффициент гидравлического трения $\lambda_{\text{кв}} = 0,036$ и $\lambda_{\text{кв}} / \lambda_1 = 1,09$.

Поправочный коэффициент для новой чугунной трубы при $V = 0,6$ м/с найдем по таблице 3.7: $k_1 = 1,115$.

Окончательно $\lambda = \lambda_1 k_1 = \frac{0,036}{1,09} \cdot 1,115 = 0,037$.

По таблице 3.8 для асбестоцементной трубы (класс ВТ-9, тип I) диаметром $d_y = 200$ мм коэффициент гидравлического трения $\lambda_1 = 0,02$.

Поправочный коэффициент для асбестоцементной трубы при $V = 0,7$ м/с найдем по таблице 3.7: $k_1 = 1,056$.

Окончательно $\lambda = \lambda_1 k_1 = 0,02 \cdot 1,056 = 0,021$.

В а р и а н т ы з а д а ч и 6.2

Определить коэффициент гидравлического трения λ для следующих напорных труб:

1. Труба стальная электросварная новая, $d_y = 175$ мм, $V = 1,3$ м/с.
2. Труба чугунная напорная новая класса ЛА, $d_y = 250$ мм, $V = 1,9$ м/с.
3. Труба стальная водогазопроводная неновая, $d_y = 150$ мм, $V = 0,8$ м/с.
4. Труба чугунная напорная неновая класса ЛА, $d_y = 300$ мм, $V = 1,0$ м/с.
5. Труба асбестоцементная класса ВТ-9 тип I, $d_y = 200$ мм, $V = 1,6$ м/с.

Задача 6.3

Газ абсолютной вязкостью η перекачивают по трубопроводу внутренним диаметром d под абсолютным давлением p и при температуре t , при этом режим течения потока может быть или турбулентным, или ламинарным.

Известно, что газ – кислород ($R=260 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$), $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $d = 5\text{ см}$, $\eta = 202 \cdot 10^{-7}\text{ Па}\cdot\text{с}$, $p = 305\text{ кПа}$. Определить критическую скорость $V_{\text{кр}}$ смены режимов течения.

Р е ш е н и е

Смена режимов течения ([2], с. 78; [4], с. 85) происходит при числе Рейнольдса $Re_{\text{кр}} = 2320$, т.е.

$$2320 = \frac{V_{\text{кр}} \cdot \rho \cdot d}{\eta}, \text{откуда } V_{\text{кр}} = \frac{2320 \cdot \eta}{\rho \cdot d}$$

Плотность газа определим из уравнения состояния

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{305 \cdot 10^3}{260 \cdot (273 + 20)} = 4,0\text{ кг/м}^3.$$

Кинематический коэффициент вязкости

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{202 \cdot 10^{-7}}{4} = 5,05 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$$

Искомая скорость:

$$V_{\text{кр}} = \frac{2320 \cdot 5,05 \cdot 10^{-6}}{0,05} = 0,23\text{ м/с}.$$

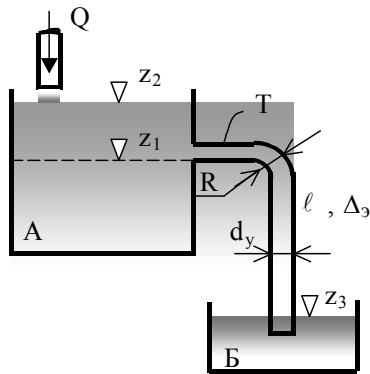
В а р и а н т ы з а д а ч и 6.3

1. Известно, что газ – метан ($R=492 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$), $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $d = 40\text{ мм}$, $p = 500\text{ кПа}$, $\eta = 115 \cdot 10^{-7}\text{ Па}\cdot\text{с}$. Определить режим течения при скорости $V = 30\text{ см/с}$.

2. Известно, что газ – пропан ($R=175 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$), $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p=600\text{ кПа}$, $\eta = 75 \cdot 10^{-7}\text{ Па}\cdot\text{с}$, $V = 25\text{ см/с}$. Определить максимальный диаметр трубы d , при котором возможен ламинарный режим течения пропана.

7. Движение жидкостей и газов в напорных трубах.

Задача 7.1



В резервуар A поступает вода ($\nu = 0,01$ Ст), расход которой изменяется от 0 до Q . Уровень воды в резервуаре не должен быть ниже отметки z_1 и выше отметки z_2 . Для выполнения этих условий резервуар A оборудован стальной электросварной умеренно корродированной переливной трубой T диаметром d_y , длиной l , имеющей один поворот на 90° радиусом R . Переливная труба перепускает излишки воды в резервуар B , уровень в котором находится на отметке z_3 .

Известно, что $Q = 20$ л/с, $z_1 = 10$ м, $z_2 = 11$ м, $z_3 = 2$ м, $R = d$, $l = 12$ м. Определить требуемый диаметр d_y переливной трубы.

Решение

Из справочника [3] принимаем для стальной умеренно корродированной трубы:

- эквивалентную шероховатость (с. 41): $\Delta_s = 0,2$ мм;

- коэффициенты местных сопротивлений (§ 3.4):

ζ_1 - вход в трубу при заделке ее торца заподлицо со стенкой (п.4): $\zeta_1 = 0,5$;

ζ_2 - поворот трубы (п. 10):

$$\zeta_{\text{пов}} = \left[0,2 + 0,001 \text{Ч}(100\lambda)^8 \right] \sqrt{\frac{d}{R}} \text{Ч} f(\alpha),$$

где $f(\alpha = 90^\circ) = 1$, тогда $\zeta_2 = 0,2 + 0,001 \cdot (100\lambda)^8$;

ζ_3 - выход из трубы (п. 2): $\zeta_3 = \alpha = 1,1$.

Из формулы расхода самотечной трубы ([2], с. 12; [4], с. 206) находим

$$\mu\omega = \frac{Q}{\sqrt{2gH}} \text{ или } \frac{d^2}{\sqrt{\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d}}} = \frac{Q}{\sqrt{2g(z_2 - z_3)}} \text{Ч} \frac{4}{\pi}$$

Обозначим левую часть уравнения через C . Тогда

$$C = \frac{d^2}{\sqrt{1,8 + 0,001 \text{Ч}(100\lambda)^8 + 12 \frac{\lambda}{d}}} = \frac{0,02}{\sqrt{2 \text{Ч} 9,81 \text{Ч}(11-2)}} \text{Ч} \frac{4}{3,14} = 0,0191$$

Дальнейшее определение внутреннего диаметра переливной трубы возможно только приближенными методами, например методом подбора стандартного значения диаметра стальной электросварной трубы ([3], табл. 3.4)

1. Принимаем $d_y^{(1)} = 100$ мм. Для нее $d = 114$ мм.

Тогда скорость потока

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,02}{3,14 \cdot 0,114^2} = 2,55 \text{ м/с.}$$

Число Рейнольдса потока

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{2,55 \cdot 0,114}{0,01} = 290700.$$

Характерные числа Рейнольдса ([3], рис. 3.4):

$$\text{— “квадратичное” } Re_{\text{кв}} = 500 \frac{d}{\Delta_s} = 500 \cdot \frac{0,114}{0,2} = 285000;$$

В сравнении $Re = 290700 > Re_{\text{кв}} = 285000$.

Следовательно, зона сопротивления – квадратичная и $\lambda = f(\Delta/d)$. Коэффициент гидравлического трения найдем по формуле Шифринсона ([3], с. 43):

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,2}{0,114} \right)^{0,25} = 0,023.$$

Принятое значение $d = 114$ мм и полученное значение $\lambda = 0,023$ подставляем в формулу для C :

$$C^{(1)} = \frac{0,114^2}{\sqrt{1,8 + 0,001 \cdot \left(100 \cdot 0,023 \right)^8 + 12 \cdot \frac{0,023}{0,114}}} = 0,00432$$

Так как $C^{(1)} = 0,00432 > C = 0,00191$, то в первом приближении диаметр переливной трубы принят завышенным.

2. Принимаем $d_y^{(2)} = 50$ мм. Для нее $d = 64$ мм.

Тогда

$$V = \frac{4 \cdot 0,02}{3,14 \cdot 0,064^2} = 10,19 \text{ м/с; } Re = \frac{10,19 \cdot 0,064}{0,01} = 509500;$$

$$Re_{\text{кв}} = 500 \cdot \frac{0,064}{0,2} = 160000; Re > Re_{\text{кв}}; \lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,2}{0,064} \right)^{0,25} = 0,028$$

$$C^{(2)} = \frac{0,064^2}{\sqrt{1,8 + 0,001 \cdot \left(100 \cdot 0,028 \right)^8 + 12 \cdot \frac{0,028}{0,064}}} = 0,00071.$$

Так как $C^{(2)} = 0,00071 < C = 0,00191$, то второе приближение значения диаметра трубы $d_y^{(2)} = 50$ мм является недостаточным.

3. Принимаем $d_y^{(3)} = 75$ мм. Для нее $d = 83$ мм.

Тогда

$$V = \frac{4 \cdot 0,02}{3,14 \cdot 0,083^2} = 4,53 \text{ м/с}; \quad Re = \frac{1019 \cdot 48,3}{0,01} = 339750;$$

$$Re_{кр} = 500 \cdot \frac{83}{0,2} = 187500; \quad Re > Re_{кр}; \quad \lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,2}{83} \right)^{0,25} = 0,025;$$

$$C^{(3)} = \frac{0,083^2}{\sqrt{1,8 + 0,001 \cdot (100 \cdot 0,028)^8 + 12 \cdot \frac{0,028}{0,083}}} = 0,0021 > 0,00191.$$

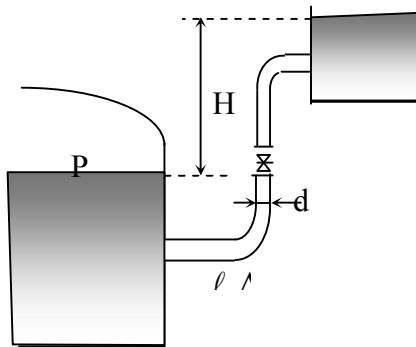
Диаметр переливной трубы $d_y = 75$ мм несколько больше, чем требуется по условию задачи, но следующий меньший стандартный диаметр трубы $d_y = 50$ мм является недостаточным (см. выше). Поэтому окончательно принимаем $d_y = 75$ мм. Нижнюю точку входного сечения переливной трубы следует разместить на отметке $z_1 = 10$ м, чтобы труба включалась в работу только тогда, когда уровень воды в резервуаре A превысит отметку z_1 .

В а р и а н т ы з а д а ч и 7.1

1. Известно, что $z_1 = 6$ м, $z_2 = 6,5$ м, $z_3 = 1$ м, $l = 5,4$ м, $R = 2d$. Определить допустимый максимальный расход Q , если переливная труба имеет $d = 209$ мм, $\Delta_s = 0,2$ мм.

2. Известно, что $z_1 = 7$ м, $z_3 = 1,5$ м, $l = 6$ м, $d = 155$ мм, $\Delta_s = 0,3$ мм, $R = d$. Определить отметку максимального уровня воды z_2 при расходе $Q = 20$ л/с.

Задача 7.2



Пневмоустановка служит для подачи воды ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 0,02 \text{ Ст}$) в открытый резервуар на высоту H под действием манометрического давления P_0 по трубе внутренним диаметром d , длиной l , шероховатостью Δ_s . Труба имеет два поворота - отвода под углом 90° и оборудована прямоточным вентилем.

Известно, что $d = 80$ мм, $\Delta_s = 0,2$ мм, $l = 20$ м, $H = 12$ м. Определить величину необходимого давления P_0 , чтобы расход составлял $Q = 5$ л/с.

Р е ш е н и е

Скорость потока:

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,005}{3,14 \cdot 0,08^2} = 1,0 \text{ м/с}.$$

Число Рейнольдса потока:

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{100 \cdot 48}{0,01} = 80000.$$

Характерные числа Рейнольдса ([3], рис.3.4):

$$\text{ - "квадратичное": } Re_{\text{кв}} = 500 \frac{d}{\Delta} = 500 \cdot \frac{80}{0,2} = 200000;$$

$$\text{ - "гладкое": } Re_{\text{гл}} = 10 \frac{d}{\Delta} = 10 \cdot \frac{80}{0,2} = 40000.$$

Так как $Re_{\text{гл}} = 40000 < Re = 80000 < Re_{\text{кв}} = 200000$, то зона сопротивления - переходная и $\lambda = f(Re, \frac{\Delta}{d})$.

Воспользуемся формулой Альтшуля ([3], стр.42)

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,2}{80} + \frac{68}{80000} \right)^{0,25} = 0,0264.$$

Коэффициенты местных сопротивлений находим по справочнику ([3], §3.4):

ζ_1 - вход в трубу при заделке обреза трубы заподлицо со стенкой (п.4), $\zeta_1 = 0,5$;

$\zeta_2 = \zeta_4$ - отвод под углом 90° (п.9), $\zeta_2 = \zeta_4 = 1,19$;

ζ_3 - прямооточный вентиль при полном открытии (табл.3.24), $\zeta_3 = 0,58$;

ζ_5 - выход из трубы (п.2), $\zeta_5 = \alpha = 1,1$.

Коэффициент расхода трубы пневмоустановки ([4], с206)

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d}}} = \frac{1}{\sqrt{0,5 + 2 \cdot 1,19 + 0,58 + 1,1 + 0,0264 \cdot \frac{20}{0,08}}} = 0,293.$$

Величину искомого давления получим из формулы ([4], с. 206)

$$V = \mu \sqrt{2g \left(\frac{p_0}{\rho g} - H \right)},$$

т.е.

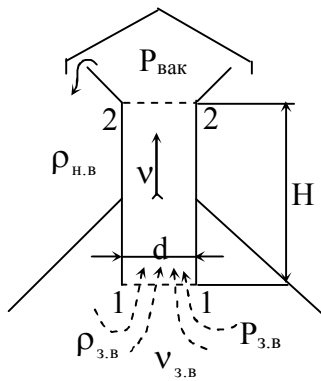
$$p_0 = \left(\frac{V^2}{\mu^2 2g} + H \right) \rho g = \left(\frac{1}{0,293^2 \times 2 \times 9,81} + 12 \right) 1000 \times 9,81 = 0,124 \text{ МПа}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 7.2

1. Известно, что $d=40\text{мм}$, $\Delta_3=0,2\text{ мм}$, $l=20\text{м}$, $Q=2\text{л/с}$. Определить, на какую высоту H возможен подъем воды при давлении $p_0=0,15\text{ МПа}$.

2. Известно, что $d=80\text{ мм}$, $\Delta_3=0,3\text{мм}$, $l=18\text{ м}$, $H=16\text{ м}$. Определить расход воды Q при давлении $p_0=0,2\text{ МПа}$.

Задача 7.3



Удаление загрязненного воздуха плотностью $\rho_{з.в.}$ с коэффициентом вязкости ν осуществляется по трубе высотой H , внутренним диаметром d и шероховатостью Δ_3 .

Массовый расход удаляемого загрязненного воздуха M , манометрическое давление в зоне загрязненного воздуха $\rho_{з.в.}$, плотность наружного воздуха $\rho_{н.в.}$. Для повышения интенсивности отсоса воздуха верхний обрез трубы оборудован дефлектором, имеющим коэффициент сопротивления $\zeta_{деф}=1,3$ и создающим под действием ветра разрежение на выходе из трубы $p_{вак}$. Сжимаемостью воздуха пренебречь.

Известно, что $d=400$ мм, $H=5$ м, $\Delta_3=0,1$ мм, $\zeta_{в.х.}=0,5$, $\zeta_{деф}=1,3$, $\nu = 0,15 \cdot 10^{-4}$ м²/с, $\rho_{н.в.}=1,25$ кг/м³, $\rho_{з.в.}=0,95$ кг/м³, $p_{з.в.}=10$ Па. Определить, какое разрежение $p_{вак}$ должен обеспечить дефлектор, чтобы массовый расход $M=3000$ кг/ч.

Р е ш е н и е

Для сечений 1-1 и 2-2 составим уравнение Бернули в форме давлений ([4], с.234), приняв за плоскость отсчета вход в трубу (плоскость сечения 1-1)

$$g(\rho_{н.в.} - \rho_{з.в.})H + p_{вак} + \rho_{з.в.} = \frac{\rho_{з.в.} V^2}{2} \left(\zeta_{вх} + \lambda \frac{H}{d} + \zeta_{деф} \right)$$

Отсюда искомое разрежение

$$P_{вак} = \rho_{з.в.} \frac{v^2}{2} \left(\zeta_{вх} + \lambda \frac{H}{d} + \zeta_{деф} \right) - g(\rho_{н.в.} - \rho_{з.в.})H - p_{з.в.}$$

Скорость восходящего потока

$$V = \frac{MЧ4}{3600 \rho_{з.в.} d^2 \pi} = \frac{3000Ч4}{3600 \cdot 0,95 \cdot 0,04^2 \cdot 3,14} = 6,98 \text{ м/с.}$$

Число Рейнольдса потока:

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{6,98 \cdot 0,4}{0,15 \cdot 10^{-4}} = 186133.$$

Характерные числа Рейнольдса ([3], рис.3.4);

$$\text{"гладкое": } Re_{гл} = 10 \frac{d}{\Delta_3} = 10 \cdot \frac{400}{0,1} = 40000 < Re;$$

$$\text{"квадратичное": } Re_{кв} = 500 \frac{d}{\Delta} = 500 \cdot \frac{400}{0,1} = 2000000 > Re.$$

Так как $Re_{гл} < 40000 < Re = 186133 < Re_{кв} = 2000000$, то область сопротивления - переходная и $\lambda = f\left(\frac{\Delta_3}{d}, Re\right)$.

Воспользуемся формулой Альтшуля ([3], с 42)

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_s}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,11}{400} + \frac{68}{186133} \right)^{0,25} = 0,017.$$

Подставим заданные и вычисленные значения величин в уравнение для определения разряжения:

$$\rho_{\text{вак}} = \frac{0,95 \times 6,98^2}{2} \times \left(0,5 + 0,017 \times \frac{5}{0,4} + 1,3 \right) - 9,81 \times (1,25 - 0,95) \times 5 - 10 = 33,63 \text{ Па}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 7.3

Известно, что $d = 350$ мм, $\Delta_s = 0,05$ мм, $H = 4$ м, $\zeta_{\text{вх}} = 0,5$, $\zeta_{\text{деф}} = 1,5$, $v_{\text{з.в.}} = 0,17 \cdot 10^{-4}$ м²/с, $\rho_{\text{з.в.}} = 0,9$ кг/м³, $\rho_{\text{н.в.}} = 1,2$ кг/м³, $p_{\text{з.в.}} = 10$ Па.

Определить массовый расход отсасываемого воздуха M если дефлектор создает разряжение $p_{\text{вак}} = 60$ Па.

2. Известно, что $d = 500$ мм, $\Delta_s = 0,1$ мм, $\zeta_{\text{вх}} = 0,5$, $\zeta_{\text{деф}} = 1,4$, $v_{\text{з.в.}} = 0,21 \cdot 10^{-4}$ м²/с, $\rho_{\text{н.в.}} = 1,25$ кг/м³, $p_{\text{вак}} = 50$ Па, $p_{\text{з.в.}} = 5$ Па. $P_{\text{зв}} = 0,95$ кг/м³. Определить, при какой высоте трубы H массовый расход $M = 2500$ кг/ч.

Задача 7.4

В трубопроводе внутренним диаметром d , длиной l и шероховатостью Δ_s компрессором нагнетается массовый расход M сжатого воздуха ($R = 287$ Дж/кг·К), $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ м²/с) под манометрическим давлением $p_{\text{м1}}$. Движение воздуха происходит при постоянной температуре t и барометрическом давлении $p_{\text{атм}}$. По мере удаления от компрессора давление в трубопроводе уменьшается ($p_1 > p_2$), а линейная скорость увеличивается ($V_1 < V_2$).

Известно, что $d = 80$ мм, $l = 250$ м, $\Delta_s = 0,05$ мм, $p_{\text{м1}} = 950$ кПа, $t = 25$ °С, $p_{\text{атм}} = 102$ кПа. Определить давление p_2 и линейную скорость V_2 при массовом расходе $M = 2$ кг/с.

Р е ш е н и е

Плотность воздуха в начальном сечении ([1], с. 13; [4], с.12)

$$\rho_1 = \frac{p_1}{RT} = \frac{(950+102) \cdot 10^3}{287(273+25)} = 12,3 \text{ кг/м}^3.$$

Скорость потока воздуха в начальном сечении

$$V_1 = \frac{M}{\rho_1 \pi d^2} = \frac{2}{12,3 \cdot \pi \cdot 0,08^2} = 32,36 \text{ м/с}.$$

Число Рейнольдса воздушного потока

$$\text{Re} = \frac{V_1 d}{\nu} = \frac{32,36 \cdot 0,08}{15 \cdot 10^{-6}} = 172586.$$

Характерные числа Рейнольдса ([3], рис.3.4):

$$\text{ - "гладкое": } Re_{\text{гл}} = 10 \frac{d}{\Delta} = 10 \frac{80}{0,05} = 18000;$$

$$\text{ - "квадратичное": } Re_{\text{кв}} = 500 \frac{d}{\Delta} = 500 \frac{800}{0,05} = 800000.$$

Так как $Re_{\text{гл}} < Re < Re_{\text{кв}}$, то область сопротивления – переходная, и для определения коэффициента гидравлического трения воспользуемся формулой Альштуля ([3].с43).

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re_1} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,05}{80} + \frac{68}{172586} \right)^{0,25} = 0,02.$$

Так как перепад давления не известен, принимаем формулу для расчета трубопроводов с учетом сжимаемости воздуха ([1], с. 293; [4], с. 237)

Тогда абсолютное давление в конце трубопровода

$$\begin{aligned} \rho_2 &= \sqrt{\rho_1^2 - \lambda \frac{1}{d} \frac{8M^2}{\pi^2 d^4} RT} = \\ &= \sqrt{(950+102)^2 \times 10^6 - 0,02 \times \frac{250}{0,08} \times \frac{8 \times 2^2}{3,14^2 \times 0,08^4} \times 287 \times (273 + 25)} = 826 \text{ Па} \end{aligned}$$

Манометрическое давление в конце трубопровода

$$p_{\text{м2}} = p_2 - p_{\text{атм}} = 826 - 102 = 724 \text{ кПа.}$$

Плотность воздуха в конце трубопровода

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{p_2}{p_1} = 12,3 \text{ ч } \frac{826 \text{ ч } 10^3}{(950+102) \text{ ч } 10^3} = 9,66 \text{ кг/м}^3.$$

Относительное изменение плотности

$$2 \frac{p_1 - p_2}{p_1 + p_2} 100 = \frac{12,3 - 9,66}{12,3 + 9,66} \text{ ч } 100 = 19,4\% > 5\%,$$

т.е. сжимаемость воздуха действительно должна быть учтена.

Искомая скорость потока в конце трубопровода

$$V_2 = V_1 \frac{\rho_1}{\rho_2} = 32,26 \text{ ч } \frac{12,3}{9,66} = 41,2 \text{ м/с.}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 7.4

1. Известно, что $d = 100$ мм, $l = 500$ м, $\Delta_3 = 0,1$ мм, $t = 30$ °С, $p_{атм} = 99$ кПа, $M = 3$ кг/с. Определить, какое давление $p_{м1}$ должен создавать компрессор, чтобы $p_{м2} = 800$ кПа.

2. Известно, что $d = 125$ мм, $l = 600$ м, $\Delta_3 = 0,2$ мм, $t = 20$ °С, $p_{атм} = 101$ кПа. Определить массовый расход воздуха M , если манометрические давления $p_{м1} = 850$ кПа и $p_{м2} = 620$ кПа.

Задача 7.5

От коллектора газораспределительного пункта (ГРП) природный газ ($R=540$ Дж/(кг·К), $\nu=12\cdot10^{-6}$ м²/с) подается потребителю по газопроводу внутренним диаметром d , длиной l , шероховатостью Δ_3 в количестве M с избыточным давлением $p_{м2}$. При этом редукционный клапан, установленный на ГРП, отрегулирован на давление $p_{м1}$. Атмосферное давление $p_{атм}$, температура газа t .

Известно, что $d=100$ мм, $l=106$ м, $\Delta_3=0,16$ мм, $t=25$ °С, $p_{атм}=98$ кПа, $p_{м2}=2$ кПа. Определить давление $p_{м1}$, необходимое для подачи массового газа $M=0,05$ кг/с.

Р е ш е н и е

Плотность газа в конце газопровода ([4], с. 12)

$$\rho_2 = \frac{p_{м2} + p_{атм}}{RT} = \frac{2 \cdot 10^3 + 98 \cdot 10^3}{540 \cdot (273 + 25)} = 0,621 \text{ кг/м}^3.$$

Скорость потока газа

$$V = \frac{4M}{\rho_2 \pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,05}{0,621 \cdot 3,14 \cdot 0,1^2} = 10,25 \text{ м/с}.$$

$$\text{Число Рейнольдса потока } Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{10,25 \cdot 0,1}{12 \cdot 10^{-6}} = 85417.$$

Характерные числа Рейнольдса ([3], с. 42):

$$\text{— “гладкое” } Re_{гл} = 10 \frac{d}{\Delta} = 10 \cdot \frac{100}{0,16} = 6000;$$

$$\text{— “квадратичное” } Re_{кв} = 500 \frac{d}{\Delta} = 500 \cdot \frac{100}{0,16} = 3000000.$$

Так как $Re_{гл} < Re < Re_{кв}$, то область сопротивления – “переходная” и $\lambda = f(Re, \Delta/d)$.

Для определения коэффициента гидравлического трения воспользуемся формулой Альтшуля ([3], с. 42)

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,16}{100} + \frac{68}{85417} \right)^{0,25} = 0,0243.$$

В качестве первого приближения считаем, что сжимаемостью газа можно пренебречь.

Тогда ([1], с. 289; [4], с. 233)

$$\rho_{m1} = \rho_{m2} + \lambda \frac{1}{d} \frac{8M^2}{\rho \pi^2 d^4} = 2 \times 10^3 + 0,0243 \times \frac{106}{0,1} \times \frac{8 \times 0,05^2}{0,621 \times 3,14^2 \times 0,1^4} = 2,84 \times 10^3 \text{ Па}$$

Плотность газа в начале газопровода

$$\rho_1 = \rho_2 \frac{p_{m1} + p_{\text{атм}}}{p_{m2} + p_{\text{атм}}} = 0,621 \frac{2,84 \times 10^3 + 98 \times 10^3}{2 \times 10^3 + 98 \times 10^3} = 0,626 \text{ кг/м}^3.$$

Относительное изменение плотности газа

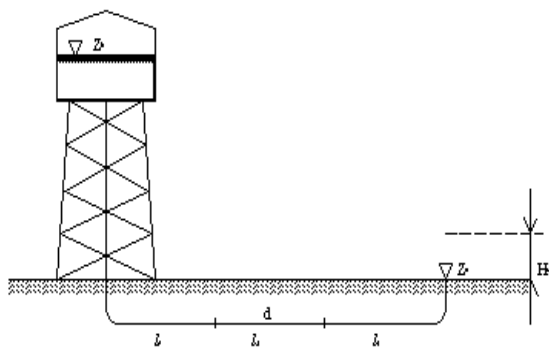
$$2 \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \times 100 = 2 \frac{0,626 - 0,621}{0,626 + 0,621} \times 100 = 0,83\%,$$

т.е. наше предположение, что сжимаемостью газа можно пренебречь, справедливо.

В а р и а н т ы з а д а ч и 7.5

1. Известно, что $d=80$ мм, $l=86$ м, $\Delta_3=0,1$ мм, $t=15^\circ\text{C}$, $p_{\text{атм}}=104$ кПа, $p_{m1}=4$ кПа. Определить давление p_{m2} при подаче массового расхода газа $M=0,04$ кг/с.
2. Известно, что $d=50$ мм, $\Delta_3=0,05$ мм, $t=25^\circ\text{C}$, $p_{\text{атм}}=101$ кПа, $p_{m1}=2,6$ кПа, $M=0,02$ кг/с. Определить, на каком расстоянии l давление $p_{m2}=2$ кПа.

Задача 7.6



z_n ; свободный напор потребителя $H_{св}$.

Вода в количестве Q подается из водонапорного бака к потребителю по трубопроводу диаметром d_y . Трубопровод имеет три участка труб из разных материалов: 1 – чугунная напорная новая; 2 – стальная электросварная новая; 3 – асбестоцементная класса ВТ-9 типа 1; длины участков соответственно равны l_1 , l_2 , l_3 . Отметки уровня воды в водонапорном баке z_0 , поверхность земли у потребителя

Известно, что $d_y = 100$ мм, $l_1 = 250$ м, $l_2 = 280$ м, $l_3 = 300$ м, $z_n = 115$ м, $H_{св} = 20$ м. Определить требуемую отметку z_6 при подаче расхода $Q = 10$ л/с, используя понятие “удельное сопротивление трубы”.

Р е ш е н и е.

Скорости потока воды в трубах диаметром $d_y = 100$ мм (внутренним диаметром d , определяемым по табл. 3; 4 [3])

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \times 0,01}{3,14 \times d^2} = \frac{0,127}{d^2} \text{ м/с}$$

Тогда:

- в чугунной напорной трубе ($d = 102$ мм)

$$V_1 = \frac{0,127}{0,102^2} = 1,22 \text{ м/с};$$

- в стальной электросварной трубе ($d = 114$ мм)

$$V_2 = \frac{0,127}{0,114^2} = 0,98 \text{ м/с};$$

- в асбестоцементной трубе ($d = 100$ мм)

$$V_3 = \frac{0,127}{0,1^2} = 1,27 \text{ м/с}$$

Используя справочник [3], найдем удельные сопротивления A труб диаметром $d_y = 100$ мм при вычисленных скоростях:

- неновая чугунная напорная труба (табл. 3.4 и 3.5) при $V = 1,22$ м/с, $A_{кв} = 311,7(\text{с/м}^3)^2$; $k = 1,0$; $A_{(1)} = 311,7 \text{ч}1 = 311,7(\text{с/м}^3)^2$;

- новая стальная электросварная труба (табл. 3.4 и 3.7) при $V = 0,98$ м/с, $A_{кв} = 172,9(\text{с/м}^3)^2$; $\frac{A_{кв}}{A_1} = 1,44$; $k_1 = 0,981$;

$$A_{(2)} = \frac{172,9}{1,44} \text{ч}0,981 = 117,8(\text{с/м}^3)^2$$

- асбестоцементная труба (табл. 3.7 и 3.8) при $V = 1,27$ м/с

$$A_1 = 187,7(\text{с/м}^3)^2; \quad k_1 = 0,967;$$

$$A_{(3)} = 187,7 \text{ч}0,967 = 185,2(\text{с/м}^3)^2.$$

Потери напора потока ([4], с. 219) во всем трубопроводе

$$h_w = \left[\sum_{i=1}^3 (A_i \text{ч} l_i) \right] \text{ч} Q^2,$$

то есть

$$h_w = (311,7 \text{ч} 250 + 117,8 \text{ч} 280 + 185,2 \text{ч} 300) \text{ч} 0,01^2 = 16,6 \text{ м}.$$

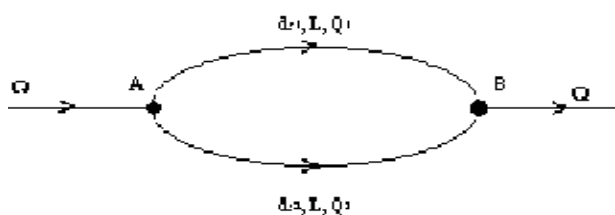
Искомая отметка уровня воды в водонапорном баке

$$z_6 = z_{\Pi} + H_{\text{св}} + h_w = 115 + 20 + 16,6 = 151,6 \text{ м.}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 7.6

1. Известно, что $d_y=200$ мм, $l_1=110$ м, $l_2=87$ м, $l_3=73$ м, $z_6=216$ м, $z_{\Pi}=195$ м. Определить величину свободного напора $H_{\text{св}}$ при пропуске расхода $Q=34$ л/с.
2. Известно, что $d_y=150$ мм, $l_1=160$ м, $l_2=140$ м, $l_3=120$ м, $Q=20$ л/с, $z_6=88$ м. Определить, при какой отметке z_{Π} величина свободного напора $H_{\text{св}}=25$ м.

Задача 7.7



Участок AB трубопровода выполнен в виде двух труб диаметрами d_{y1} и d_{y2} , длиной L каждая. В расчете использовать понятие “модуль расхода K ”. Известно, что $L=250$ м, трубы чугунные напорные новые

диаметрами $d_{y1}=100$ мм и $d_{y2}=150$ мм. Определить потери напора h_n на участке AB при пропуске расхода $Q=30$ л/с.

Р е ш е н и е

По справочнику [3] для чугунных напорных труб (табл. 3.4) находим:

- для $d_{y1}=100$ мм $K_{\text{кв1}}=56,5$ л/с; $\sqrt{\frac{K_1}{K_{\text{кв1}}}}=1,13$; $d_1=102$ мм;
- для $d_{y2}=150$ мм $K_{\text{кв2}}=164$ л/с; $\sqrt{\frac{K_2}{K_{\text{кв2}}}}=1,09$; $d_2=152,4$ мм.

Система уравнений для определения расходов Q_1 и Q_2 на участках в квадратичной области сопротивления (первое приближение) будет такой:

$$\left. \begin{aligned} Q_1 + Q_2 &= Q; \\ \frac{Q_1^2}{K_{\text{кв1}}^2} L &= \frac{Q_2^2}{K_{\text{кв2}}^2} L, \end{aligned} \right\} \quad \text{т.е.} \quad \left. \begin{aligned} Q_1 + Q_2 &= 30; \\ \frac{Q_1}{56,5} &= \frac{Q_2}{164}. \end{aligned} \right\}$$

Решим её

$$Q_1 = Q_2 \frac{56,5}{164} = 0,3445 Q_2$$

Решим её:

$$0,3445Q_2 + Q_2 = 30; \quad Q_2 = \frac{30}{1,3445} = 22,31 \text{ л/с};$$

$$Q_1 = 30 - Q_2 = 30 - 22,31 = 7,69 \text{ л/с}.$$

Скорости потока воды в трубах по участкам сети $V = \frac{4Q}{\pi d^2}$:

$$V_1 = \frac{4 \cdot 7,69}{3,14 \cdot 1,02^2} = 9,8 \text{ дм/с} = 0,98 \text{ м/с};$$

$$V_2 = \frac{4 \cdot 22,31}{3,14 \cdot 1,524^2} = 12,63 \text{ дм/с} = 1,26 \text{ м/с}.$$

Уточним значения модулей расхода (второе приближение). По справочнику [3] в табл. 3.7 для новой чугунной трубы находим поправочные коэффициенты: при $V = 0,98 \text{ м/с}$ находим $n_1 = 0,99$; тогда

$$K_1 = 56,5 \sqrt{1,13} \cdot 0,99 = 60,3 \text{ л/с};$$

при $V = 1,26 \text{ м/с}$ находим $n = 1,022$; тогда

$$K_2 = 164 \sqrt{1,09} \cdot 1,022 = 175 \text{ л/с}.$$

Получаем уточненную систему уравнений для определения расходов:

$$\left. \begin{aligned} Q_1 + Q_2 &= 30; \\ \frac{Q_1}{60,3} &= \frac{Q_2}{175}. \end{aligned} \right\}$$

Решим ее:

$$Q_2 \left(1 + \frac{60,3}{175}\right) = 30; \quad Q_2 = 22,3 \text{ л/с}; \quad Q_1 = 7,7 \text{ л/с}.$$

Разницу расходов в двух приближениях считаем допустимой, поэтому дальнейшего уточнения модулей расхода K не проводим.

Искомые потери напора

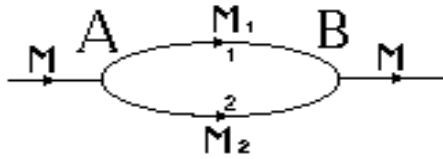
$$h_n = \frac{Q_1^2}{K_1^2} L = \frac{Q_2^2}{K_2^2} L \quad \text{т.е.} \quad h_n = \frac{7,7^2}{60,3^2} \times 250 = 4,08 \text{ м}.$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 7.7

1. Известно, что трубы новые электросварные $d_{y1} = 125 \text{ мм}$, $d_{y2} = 175 \text{ мм}$, $L = 300 \text{ м}$. Определить потери напора h_n при расходе $Q = 40 \text{ л/с}$.

2. Известно, что трубы асбестоцементные класса ВТ-6, тип 1, $d_{y1} = 150 \text{ мм}$, $d_{y2} = 200 \text{ мм}$, $L = 350 \text{ м}$. Определить потери напора h_n при расходе $Q = 50 \text{ л/с}$.

Задача 7.8



На участке AB газопровод состоит из двух параллельно соединенных ветвей 1 и 2 длинами l_1 и l_2 , внутренними диаметрами d_1 и d_2 шероховатостью Δ_3 . По газопроводу транспортируется газ ($R = 510 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$), с температурой t . При атмосферном давлении $p_{\text{атм}}$ манометрические давления в узлах A и B составляют соответственно $p_{\text{ма}}$ и $p_{\text{мв}}$, а массовый расход M делится по ветвям 1 и 2 на M_1 и M_2 . Расчет вести для квадратичной области сопротивления.

Известно что $d_1=100 \text{ мм}$, $l_1=400 \text{ м}$, $d_2=125 \text{ мм}$, $l_2=500 \text{ м}$, $\Delta_3=0,2 \text{ мм}$, $t = 20^\circ \text{C}$, $p_{\text{атм}}=101 \text{ кПа}$, $p_{\text{ма}}=0,3 \text{ МПа}$.

Определить манометрическое давление $p_{\text{мв}}$, если массовый расход $M = 0,3 \text{ кг/с}$.

Р е ш е н и е

Манометрическое давление в узле B ([1], с. 289; [4], с.237)

$$p_{\text{мв}} = \sqrt{(p_{\text{ма}} + p_{\text{атм}})^2 - \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{M_2^2 \times 16}{\pi^2 d_2^4} RT} - p_{\text{атм}}$$

Коэффициенты гидравлического трения ветвей газопровода найдем по формуле Шифринсона ([3], с. 43)

$$\lambda_1 = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d_1} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,2}{100} \right)^{0,25} = 0,0233;$$

$$\lambda_2 = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d_2} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,2}{125} \right)^{0,25} = 0,022$$

Найдем распределение общего массового расхода M по ветвям 1 и 2 (M_1 и M_2).

Для этого составим систему из двух уравнений ([4], с.220)

$$\left. \begin{aligned} M_1 + M_2 &= M; \\ \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{M_1^2}{d_1^4} &= \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{M_2^2}{d_2^4} \end{aligned} \right\}$$

т.е.

$$\left. \begin{aligned} M_2 + M_1 &= 0,3; \\ 0,0233 \left(\frac{400}{0,1} \right) \frac{M_1^2}{0,1^4} &= 0,0233 \left(\frac{500}{0,125} \right) \frac{M_2^2}{0,125^4} \end{aligned} \right\}.$$

Решим ее:

$$932 \cdot 10^3 M_1^2 = 360 \cdot 10^3 M_2^2; \quad M_1 = M_2 \frac{360}{932} = 0,621 M_2$$

$$0,621 M_2 + M_2 = 0,3; \quad M_2 = \frac{0,3}{1+0,621} = 0,185 \text{ кг/с.}$$

Искомое манометрическое давление

$$p_{me} = \sqrt{\left(0,3 \times 10^6 + 101 \times 10^3\right)^2 - 0,022 \times \frac{500}{0,125} \times \frac{0,185^2}{3,14^2} \times \frac{16}{0,125^4} \cdot 510 \cdot (273-20) - 101 \cdot 10^3} = 296,2 \text{ кПа}$$

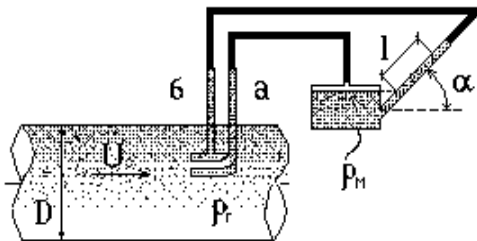
В а р и а н т ы з а д а ч и 7.8

1. Известно, что $d_1 = 125 \text{ мм}$, $l_1 = 520 \text{ м}$, $d_2 = 150 \text{ мм}$, $l_2 = 600 \text{ мм}$, $\Delta_3 = 0,1 \text{ мм}$, $t = 150 \text{ С}$, $p_{атм} = 98 \text{ кПа}$, $M = 0,5 \text{ кг/с}$.

Определить манометрическое давление p_{ma} если $p_{mb} = 0,12 \text{ мПа}$.

2. Известно, что $d_1 = 100 \text{ мм}$, $l_1 = 550 \text{ м}$, $d_2 = 150 \text{ мм}$, $l_2 = 530 \text{ мм}$, $\Delta_3 = 0,1 \text{ мм}$. Определить общий массовый расход газа M и перепад давления $\Delta p = p_{ma} - p_{mb}$, если $M_1 = 0,2 \text{ кг/с}$.

Задача 7.9



Массовый расход M газа (ρ_r) в трубопроводе внутренним диаметром D измеряется тахиметрическим способом с помощью гидрометрической трубки Пито-Прандтля, установленной на оси трубы и соединенной с чашечным микродифманометром (ρ_m, α, l). Такой способ измерения расхода применяется в тех случаях, когда для данного

участка трубы с достаточной точностью известно соотношение “к” между осевой U_0 и средней по сечению V скоростями по сечению $k = (U_0/V)$.

Известно, что $\rho_r = 1,2 \text{ кг/м}^3$, $D = 300 \text{ мм}$, $\rho_m = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\alpha = 45^\circ$, $k = 1,05$. Определить массовый расход M , если отсчет по шкале микродифманометра $l = 80 \text{ мм}$.

Р е ш е н и е

Перепад давления в напорной (а) и статической (б) трубках гидрометрической трубки Пито-Прандтля ([4], с. 29)

$$\Delta p = \rho_m \times g \times l \times \sin \alpha = 1000 \times 9,81 \times 0,08 \times 0,707 = 810,3 \text{ Па.}$$

Осевая скорость потока газа

$$U_0 = \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\rho_r g}} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{810,3}{1,2 \cdot 9,81}} = 36,75 \text{ м/с.}$$

Средняя скорость

$$V = \frac{U_0}{k} = \frac{36,75}{1,05} = 35 \text{ м/с}.$$

Массовый расход потока газа

$$M = \rho_r \cdot V \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 1,23533,14 \cdot \frac{0,3^2}{4} = 2,97 \text{ кг/с}.$$

В а р и а н т ы з а д а ч и 7.9

1. Известно, что $\rho_r = 0,89 \text{ кг/м}^3$, $D = 400 \text{ мм}$, $\alpha = 60^\circ$, $\rho_m = 900 \text{ кг/м}^3$, $k = 1,1$.

Определить каков будет отсчет по шкале l при пропуске расхода $M = 3 \text{ кг/с}$.

2. Известно, что $\rho_r = 0,95 \text{ кг/м}^3$, $D = 250 \text{ мм}$, $\rho_m = 850 \text{ кг/м}^3$, $k = 1,05$, $M = 2 \text{ кг/с}$.

Определить минимальную величину угла α , если длина шкалы $l = 20 \text{ см}$.

8. Контрольные задачи

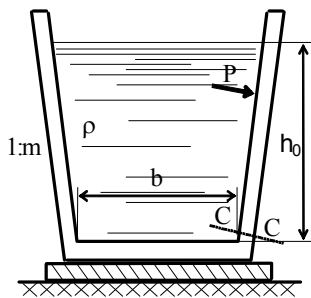
Задача 8.1

В цилиндрическом объеме диаметром d , длиной l с толщиной стенок δ находится вода ($\beta_t = 14 \cdot 10^{-6}$ 1/град и $\beta_p = 5,4 \cdot 10^{-10}$ 1/Па) под давлением p и при температуре t_n . Под действием внешней среды температура воды увеличилась до t_k . Определить напряжения σ , возникшие в стенках цилиндра после нагрева воды.

Исходные данные

Величина	Единица измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
d	мм	1200	1250	1300	1400	1500
δ	мм	10	12	14	16	18
l	м	2,1	2,3	1,8	1,9	2,2
p	МПа	0,8	1,1	0,9	1,2	1,5
t_n	°C	10	12	14	16	8
t_k	°C	30	35	28	40	33

Задача 8.2



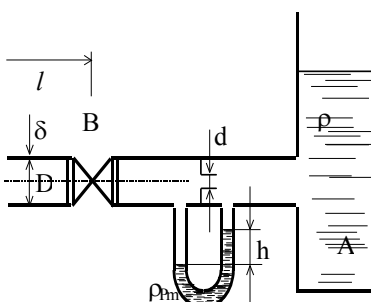
Вода ($\rho = 1000$ кг/м³) подается по железобетонному лотку трапецидального сечения (b , m), уложенному на опорах с продольным уклоном i_0 . При пропуске расхода Q в лотке устанавливается равномерное движение с глубиной h_0 , от величины которой зависит сила P воздействия потока на боковые стенки лотка.

Определить величину изгибающего момента M в сечении $C-C$ (в месте соединения стенки лотка с его дном). Расчет вести на единицу длины лотка (в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа).

Исходные данные

Величина	Единица измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
b	м	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3
m	—	2	1,75	1,5	1,25	1,0
i_0	—	0,0025	0,0033	0,004	0,0045	0,005
Q	м ³ /с	1,5	1,8	2,2	2,5	2,8

Задача 8.3



Вода ($\rho = 1000$ кг/м³, $\beta_p = 5 \cdot 10^{-10}$ 1/Па) подается по трубе длиной l , внутренним диаметром D , толщиной стенок δ , выполненной из материала с модулем упругости E_m . Расход воды, поступающей в резервуар, замеряется с помощью водомерной шайбы с диаметром отверстия d , коэффициентом расхода μ и ртутного ($\rho_{рт} = 13600$ кг/м³)

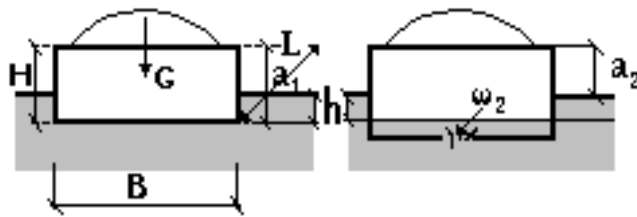
дифманометра, показание которого равно h . В конце трубы установлена задвижка B , которая способна перекрывать все сечения трубы за интервал времени t .

Определить величину дополнительных напряжений σ в стенках трубы при гидравлическом ударе, возникающем при перекрытии сечения трубы задвижкой B .

Исходные данные

Величина	Единица измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
l	км	6,2	6,4	7,5	8,0	8,3
D	мм	300	350	400	450	500
δ	мм	10	12	12	14	15
E_m	кПа	96×10^6	80×10^6	60×10^6	02×10^6	10×10^6
d	мм	100	120	250	300	350
μ	-	0,75	0,77	0,79	0,74	0,76
h	см	20	25	22	24	23
t	с	15	20	12	18	22

Задача 8.4



1

отверстием с коэффициентом расхода $\mu = 0,6$. Через пробоину внутрь понтона поступает вода под напором h .

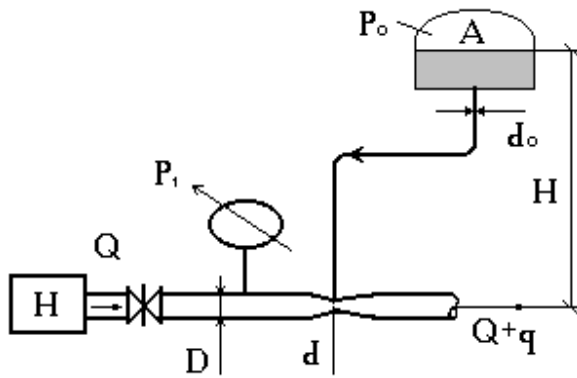
Определить площадь полученной пробоины, если через интервал времени t запас высоты уменьшается от a_1 до a_2 .

Исходные данные

Величина	Единица измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
B	м	2,0	2,2	2,5	2,8	3,0
L	м	6,0	5,8	5,5	5,3	5,0
H	м	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5
ρ	кг/м ³	1000	1010	1020	990	995
G	кН	12,0	12,5	14,0	13	15,0
t	с	4000	4500	4700	5100	5400
a_2	см	20	25	30	15	40

Понтон имеет форму прямоугольного параллелепипеда со сторонами B , L и H , вес его с грузом равен G . Во время плавания по воде плотностью ρ понтон имеет осадку h , запас высоты a_1 . Понтон получил пробоину площадью ω , которую можно считать затопленным

Задача 8.5



Насос H подает воду ($\rho_{\text{в}}=1000\text{кг/м}^3$) в трубопровод с внутренним диаметром D под давлением p_1 в количестве Q . В напорном бачке A , расположенном на высоте H под давлением p_0 находится раствор реагента ($\rho_{\text{р}} = 1010\text{ кг/м}^3$), который должен подаваться в трубопровод в количестве q . Для этого в трубопроводе устроено сужение до диаметра d , в горловину которого

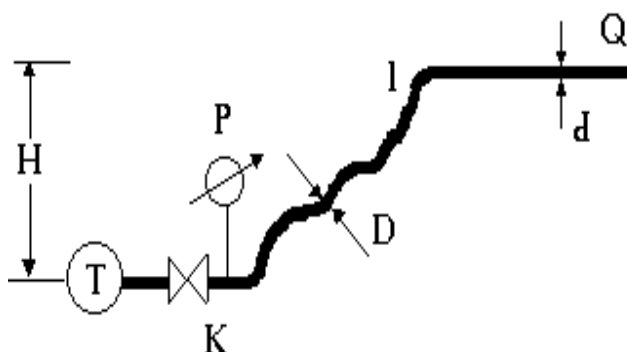
подсоединена труба внутренним диаметром d_0 от напорного бачка A , ее коэффициент расхода равен $\mu_{\text{кт}}$.

Определить давление p_0 в напорном бачке A , необходимое для подачи требуемого количества реагента.

Исходные данные

Величина	Единица измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
Q	л/с	70	130	35	52	80
q	л/с	0,5	0,8	0,4	0,5	0,6
D	мм	300	350	200	250	300
d	мм	100	150	80	80	100
d_0	мм	25	32	20	25	32
p_1	МПа	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
$\mu_{\text{кт}}$	—	0,45	0,48	0,42	0,44	0,46
H	м	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0

Задача 8.6



Пожарный прорезиненный рукав внутренним диаметром D и длиной l подсоединен к напорному трубопроводу T через задвижку K , давление после которой p измеряется манометром. Рукав заканчивается насадкой (стволом) диаметром на выходе d , коэффициентом сжатия струи ϵ и коэффициентом сопротивления ζ ; он поднят над точкой подсоединения к трубопроводу

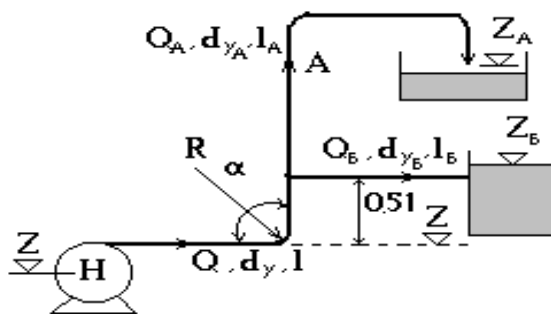
на высоту H . Под действием давления из пожарного ствола вылетает струя воды ($\rho = 1000\text{ кг/м}^3$).

Определить расход Q струи, вылетающей из пожарного ствола.

Исходные данные

Величина	Единица измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
D	мм	50	66	77	89	50
l	м	120	130	125	140	110
d	мм	30	40	40	50	30
ζ	—	0.2	0.15	0.1	0.14	0.16
ε	—	0.95	0.98	1.0	0.94	0.96
H	м	10	12	14	16	20
p	кПа	800	850	900	950	1000

Задача 8.7



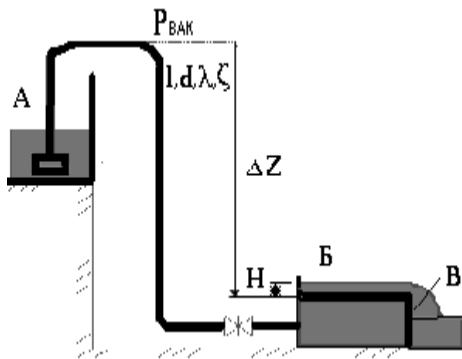
Насос H расположенный на отметке z подает воду ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) по тупиковой системе труб в резервуар A свободной струей (расход Q_A) и в резервуар B - под уровень (расход Q_B). Трубы новые стальные электросварные, диаметры их по участкам d_y , d_{yA} и d_{yB} , а длины участков соответственно l , l_A и l_B .

В середине начального участка A расположено колено трубопровода под углом $\alpha = \pi/2$. Сила давления воды на него R зависит от давления p в данном сечении потока. Определить силу R , если объемным способом замерено, что в бак A за интервал времени t поступает объем W воды.

Исходные данные

Величина	Единица Измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
d_y	мм	200	250	300	300	250
d_{yA}	мм	50	60	75	80	60
d_{yB}	мм	100	125	150	175	150
l	м	400	450	420	440	430
l_A	м	52	56	48	46	44
l_B	м	100	110	116	114	120
z	м	74	76	78	77	72
z_a	м	98	97	102	105	96
z_b	м	87	85	91	94	88
W	л	200	210	190	200	180
t	с	102	80	45	38	85

Задача 8.8



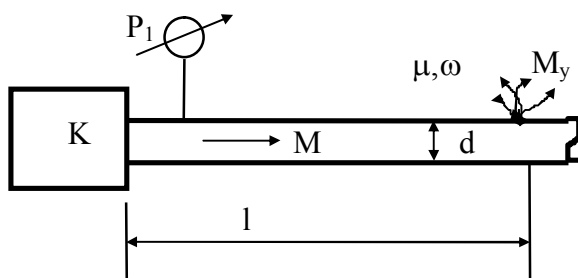
Вода ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) перекачивается из резервуара A в резервуар B сифонной трубой внутренним диаметром d , разрежение в верхнем сечении которой равно $p_{\text{вак}}$. Длина нисходящей ветви сифонной трубы равна l , гидравлические сопротивления ее характеризуются коэффициентами λ и $\Sigma\zeta$. Для измерения расхода Q принят мерный треугольный водослив B с углом выреза $\theta = \pi/2$. Напор над гребнем водослива равен H . Превышение верхнего сечения сифонной трубы над гребнем водослива равно Δz .

Определить в процентах величину разрежения $p_{\text{вак}}$, если атмосферное давление равно $p_{\text{атм}}$.

Исходные данные

Величина	Единица измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
d	мм	100	125	150	125	100
l	м	15	16	18	17	14
λ	—	0,029	0,027	0,025	0,026	0,028
$\Sigma\zeta$	—	3,4	3,2	3,1	3,5	3,9
Δz	м	4,1	4,3	3,8	3,9	4,2
H	см	12	14	15	13	11
$p_{\text{атм}}$	мм рт.ст	735	740	745	750	755

Задача 8.9



Компрессор K нагнетает природный газ ($R = 520 \text{ Дж/(кг}\times\text{К)}$), ($v = 14 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$) по трубопроводу внутренним диаметром d с шероховатостью стенок Δ_s . При этом массовый расход газа M , а начальное p_1 давление p_1 . На расстоянии l от компрессора в трубе образовалось отверстие (“свищ”) площадью ω с коэффициентом расхода μ . Внешние условия характеризуются температурой t и атмосферным давлением $p_{\text{атм}}$.

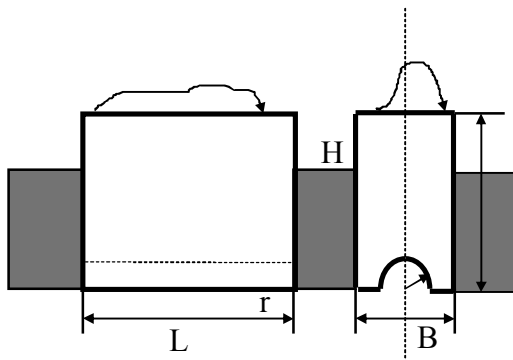
Определить массу утечки газа M_y за 1 час.

Исходные данные

Величина	Единица измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
d	мм	500	400	350	300	250

Δ_3	мм	0,15	0,13	0,09	0,1	0,08
M	кг/с	42	34	21	15	12
p_1	МПа	2,9	3,5	3,1	2,6	3,2
l	км	1,2	1,6	1,4	1,5	1,3
ω	см ²	2,0	1,9	1,8	1,7	1,5
μ	—	0,95	0,94	0,93	0,92	0,9
t	°C	15	20	18	16	14
$p_{атм}$	кПа	100	98	101	96	102

Задача 8.10



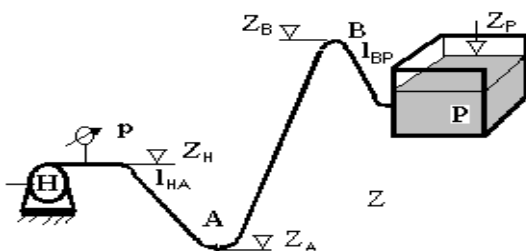
Понтон массой M_n имеет форму прямоугольного параллелепипеда со сторонами B , L и H ; в днище понтона имеется продольная вставка в виде половины кругового цилиндра радиусом r и длиной L .

Определить силу P , действующую на криволинейную вставку при перевозке понтоном по воде ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) груза массой $M_{гр}$.

Исходные данные

Величина	Единица измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
B	м	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
L	м	10	11	9	8	12
H	м	1,0	1,2	1,4	1,1	1,3
r	м	0,5	0,6	0,4	0,7	0,8
M_n	кг	8000	7500	8500	8400	12000
$M_{гр}$	кг	8000	11000	12000	10000	20000

Задача 8.11



Насос H , расположенный на отметке z_n , создавая давление p_n , подает жидкость плотностью ρ по напорному трубопроводу постоянного диаметра длиной L в приемный резервуар P , уровень жидкости в котором расположен на отметке z_p , а манометрическое давление ее паров p_p . Ось трубопровода имеет наинизшую отметку z_a в

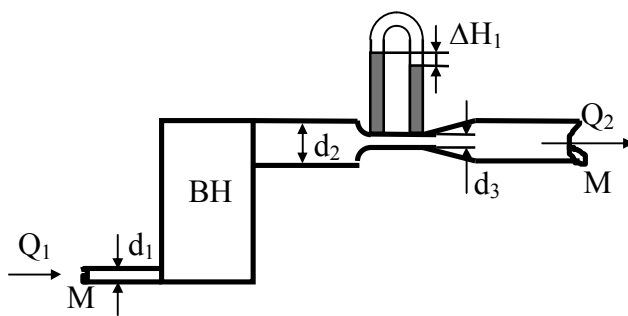
точке A , расположенной от насоса расстоянием $l_{на}$, а наивысшую z_b - в точке B , расположенной от резервуара на расстоянии $l_{бр}$.

Определить абсолютные давления (в кПа) в точках A и B , если атмосферное давление $p_{атм}$.

Исходные данные

Величина	Единица измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
Z_H	м	74	82	66	88	76
P_H	ат	5,6	5,8	6,2	6,4	6,6
L	м	850	860	870	880	900
Z_P	м	86	98	78	99	85
P_P	мм рт.ст.	70	72	71	74	73
Z_A	м	52	63	45	74	63
l_{HA}	м	140	150	160	170	180
Z_B	м	98	110	90	111	94
l_{BP}	м	210	220	230	240	250
ρ	кг/м ³	950	960	970	980	990
$p_{атм}$	м вод. ст.	10.1	9.9	9.8	10.2	10.3

Задача 8.12



Вода ($\beta_t = 20 \times 10^{-5}$ 1/град) при температуре t_1 подается по трубе внутренним диаметром d_1 в водонагреватель BH , где подогревается до температуры t_2 . Подогретая вода забирается потребителем по трубе внутренним диаметром d_2 , на которой для измерения расхода устанавливается водомер Вентури с горловиной

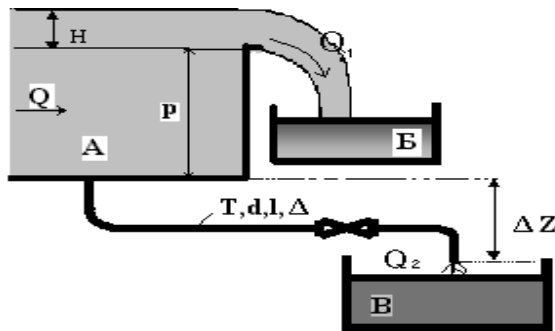
диаметром d_3 . Перепад пьезометрического напора ΔH_n на водомере Вентури измеряется с помощью дифференциального манометра; коэффициент расхода водомера μ .

Определить линейные скорости потока на входе V_1 и на выходе V_2 водонагревателя.

Исходные данные

Величина	Единица Измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
t_1	Град	7	8	9	10	11
t_2	Град	40	39	38	37	36
d_1	мм	25	30	32	40	50
d_2	мм	30	32	40	50	50
d_3	мм	20	25	36	42	40
ΔH_n	см	30	31	34	38	35
μ	-	0.89	0.9	0.91	0.92	0.88

Задача 8.13



Вода в количестве Q после обработки делится на две части: верхние слои (расход Q_1) через прямоугольный водослив с тонкой стенкой A сливаются в лоток B , а нижние слои (расход Q_2) по самотечной трубе T в лоток B .

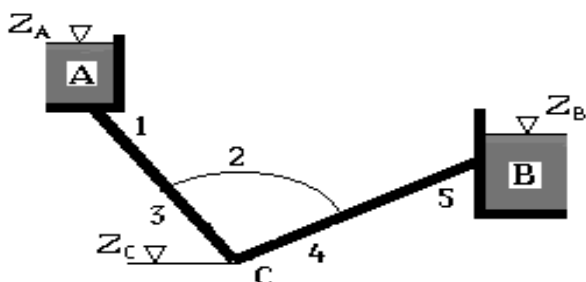
Водослив имеет порог высотой p и шириной b (перпендикулярно плоскости чертежа), напор прямо угольного водослива H , коэффициент расхода m . Самотечная труба длиной l , внутренним диаметром d и шероховатостью Δ , имеет местные сопротивления: вход в трубу, проходной вентиль и два колена на угол 90° , перепад отметок начального и конечного сечения Δz . Расход вести для квадратичной области сопротивления.

Определить расходы Q_1 и Q_2 .

Исходные данные

Величина	Единица измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
Q	м ³ /ч	600	550	500	450	400
p	м	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
b	м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
l	м	20	22	18	16	15
ΔZ	м	1	1,2	1,4	1,3	1,1
d	мм	250	200	150	125	100
Δ_s	мм	0,09	0,1	0,08	0,06	0,05

Задача 8.14



Вода ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) из резервуара A подается в резервуар B по системе труб, состоящей из пяти участков длиной l_i из не новых стальных водопроводных труб диаметром d_i . Отметки уровней воды в резервуарах z_A и z_B , отметка наинизшего сечения трубопровода на стыке 3-го и 4-го участков z_C .

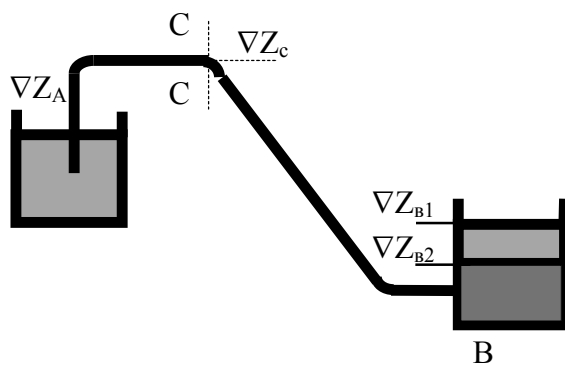
Определить манометрическое давление воды p_c в наинизшем сечении трубопровода.

Исходные данные

Величина	Единица измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
z_A	м	118	122	126	130	140
z_B	м	72	74	81	88	92
z_C	м	61	65	70	72	80

$d_{3,4}$	мм	100	150	200	250	100
$d_{1,2,5}$	мм	150	200	250	300	150
l_1	км	0,2	0,22	0,21	0,24	0,23
l_2	км	0,82	0,81	0,79	0,83	0,85
l_3	км	0,41	0,44	0,43	0,45	0,48
l_4	км	0,52	0,56	0,57	0,51	0,53
l_5	км	1,40	1,29	1,31	1,09	1.18

Задача 8.15



Вода ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 0,01 \text{ Ст}$) из резервуара с постоянным уровнем на отметке Z_A подается в резервуар с переменным уровнем на отметке от Z_{B1} до Z_{B2} , с помощью сифонной трубы, верх которой расположен на отметке Z_C . Сифонная труба имеет внутренний диаметр d , шероховатость $\Delta_{\text{э}}$, общую длину L , длину головной части (до сечения с-с) l_r . Повороты трубы на углы $\pi/2$ и $\pi/4$

выполнены радиусом $R=2d$. Труба оборудована краном К в виде прямооточного вентиля.

Определить интервал изменения абсолютного давления в сечении с-с при атмосферном давлении $p_{\text{атм}}$

Исходные данные

Величина	Единица измерения	Вариант				
		1	2	3	4	5
Z_A	м	110	115	117	120	125
Z_{B1}	м	108	113	115	118	123
Z_{B2}	м	104	109	111	114	119
Z_C	м	111,2	116,3	118,4	121,5	126,8
d	мм	100	80	40	80	100
$\Delta_{\text{э}}$	мм	0,09	0,1	0,08	0,07	0,11
L	м	15	16	17	18	19
l_r	м	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
$p_{\text{атм}}$	мм рт.ст.	730	735	740	745	750

Библиографический список рекомендуемой литературы

1. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П., Гидравлика и аэродинамика: Учебник для ВУЗов. М.: Стройиздат, 1987 - 414 с.

2. Константинов Ю.М. Гидравлика: Учебник.- 2-е изд., перераб. и доп. - К.: Высш. шк., 1998.-398 с.

3. Курганов А.М. , Федоров Н.Ф. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: Справочник / Под общ. ред. А.М.Курганова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Стройиздат, 1986. - 440 с.
4. Тужилкин А.М., Бурдова М.Г., Механика жидкости и газа: Учебное пособие. ТулГУ. Тула 1998. – 283 с.