

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Тихоокеанский государственный университет»

**Решения задач размещены  
на сайте [zadachi24.ru](http://zadachi24.ru)**

**Гидравлика**

**Методические указания по выполнению  
контрольной работы**

Составитель:  
Л. Н. Александрова

Хабаровск 2014 г.

## 1.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Гидравлика – наука, изучающая законы равновесия и движения жидкостей и разрабатывающая способы приложения этих законов к решению практических инженерных задач. Вопросы, изучаемые гидравликой, в той или иной форме находят применение во всех областях инженерной деятельности.

Знание законов гидравлики необходимо будущим специалистам при экспертизе проектов и обследовании систем противопожарного водоснабжения, автоматических установок пожаротушения, решении вопросов в области расчета, проектирования и эксплуатации гидравлических машин и механизмов.

Гидравлика является одной из фундаментальных дисциплин, знание которой необходимо для подготовки бакалавров по направлениям «Техносферная безопасность» и «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Дисциплина «Гидравлика» изучается студентами в течение одного семестра. В соответствии с учебным планом, студенты выполняют одну контрольную работу, состоящую из пяти задач. Изучение курса завершается для бакалавров направления «Техносферная безопасность» экзаменом, студенты направления подготовки бакалавриата «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» сдают зачет.

Задачи, предлагаемые студентам в контрольных работах, разбиты по разделам, к которым в методических указаниях приведен минимальный теоретический материал. Список рекомендуемой литературы приведен в конце данных указаний. В приложениях имеются необходимые для решения задач справочные данные. При использовании студентом дополнительного справочного материала в тексте контрольной работы рекомендуется давать ссылки на источники.

При выполнении задания следует пользоваться Международной системой (СИ) единиц измерения. В условиях контрольной работы не всегда указываются все численные значения параметров, необходимые для решения задач (например, может быть не указана плотность, коэффициент вязкости или другой параметр). Тогда недостающие параметры определяются по справочникам.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Каждый студент выполняет контрольную работу по индивидуальному заданию. Номер задачи определяется по таблице в соответствии с последней цифрой зачетной книжки студента.

Последняя цифра зачетной книжки	Обозначения разделов и номера задач				
0	A1	B1	Д1	Ж1	И1
1	A2	B2	Д2	Ж2	И2
2	A3	B3	Д3	Ж3	И3
3	A4	B4	Д4	Ж4	И4
4	A5	B5	Д5	Ж5	И5
5	Б1	Г1	Е1	31	К1
6	Б2	Г2	Е2	32	К2
7	Б3	Г3	Е3	33	К3
8	Б4	Г4	Е4	34	К4
9	Б5	Г5	Е5	35	К5

### **А. Физические свойства жидкостей и газов**

Сопротивление жидкостей изменению своего объема характеризуется коэффициентами объемного сжатия и температурного расширения. Коэффициент объемного сжатия  $\beta_p$ ,  $\text{Па}^{-1}$ , – это относительное изменение объема жидкости на единицу изменения давления:

$$\beta_p = \frac{\Delta W}{W \Delta P},$$

(1)

где  $\Delta W$  – изменение объема  $W$ , соответствующее изменению давления на величину  $\Delta P$ .

Коэффициент температурного расширения  $\beta_t$ ,  $^{\circ}\text{C}$ , выражает относительное изменение объема жидкости при изменении температуры на 1 градус:

$$\beta_t = \frac{\Delta W}{W \Delta t},$$

(2)

где  $\Delta W$  – изменение объема  $W$ , соответствующего изменению температуры на величину  $\Delta t$ .

### **Б. Основное уравнение гидростатики**

Давлением в покоящейся жидкости называется нормальное напряжение, возникшее в результате действия всех внешних сил в жидкости:

$$P = \lim_{\Delta \omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta \omega} \quad \text{при } \Delta \omega \rightarrow 0,$$

(3)

где  $P$  – давление в точке;  $\Delta P$  – нормальная сила, действующая на площадку;  $\Delta\omega$  – площадь элементарной площадки.

В заданной точке покоящейся жидкости давление рассчитывается согласно основному уравнению гидростатики:

$$P = P_0 + \rho gh,$$

(4)

где  $P$  – полное или абсолютное давление в точке покоящейся жидкости;  $P_0$  – давление на поверхности жидкости;  $\rho$  – плотность жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения;  $h$  – глубина погружения точки в жидкость.

В открытом резервуаре абсолютное давление в точке покоящейся жидкости на глубине  $h$

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{ат}} + \rho gh,$$

(5)

где  $P_{\text{ат}}$  – атмосферное давление на поверхности жидкости.

Разность между абсолютным и атмосферным давлением называется избыточным, или манометрическим давлением:

$$P_{\text{изб}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{ат}} = \rho gh.$$

(6)

Давление, не достающее до атмосферного, называется вакуумметрическим:

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{ат}} - P_{\text{абс}}.$$

(7)

При решении задач по определению давления в покоящейся жидкости пользуются условиями равновесия жидкости относительно плоскости уровня.

## В. Давление жидкости на плоские поверхности

Для определения силы абсолютного давления жидкости на плоские стенки пользуются зависимостью

$$P_{\text{абс}} = (P_0 + \rho gh_c)\omega,$$

(8)

где  $\omega$  – площадь стенки;  $P_0$  – давление на поверхности жидкости;  $\rho$  – плотность жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения;  $h_c$  – глубина погружения центра тяжести стенки от свободной поверхности.

Составляющая от избыточного давления жидкости  $P_{\text{изб}} = \rho gh_c\omega$  приложена в точке, называемой центром давления. Координата центра давления определяется по формуле

$$y_d = y_c + \frac{J_o}{y_c \omega},$$

(9)

где  $y_c$  – координата центра стенки;  $J_o$  – центральный момент инерции стенки;

$\omega$  – площадь смоченной стенки.

### Г. Давление жидкости на криволинейные поверхности.

Равнодействующая силы давления на криволинейную поверхность определяется как геометрическая сумма горизонтальной и вертикальной составляющих:

$$(10) \quad P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}.$$

Горизонтальная составляющая силы давления на криволинейную поверхность равна силе давления жидкости на плоскую вертикальную проекцию криволинейной поверхности:

$$P_x = \rho g h_c^{\text{пр}} \omega^{\text{пр}},$$

(11)

где  $h_c^{\text{пр}}$  – глубина погружения центра тяжести вертикальной проекции криволинейной поверхности;  $\omega^{\text{пр}}$  – площадь вертикальной проекции.

Вертикальная составляющая силы давления жидкости на криволинейную поверхность равна весу жидкости в объеме тела давления

$$P_x = \rho g W_{\text{т.д}},$$

(12)

где  $W_{\text{т.д}}$  – объем тела давления.

Объем тела давления – объем вертикального столба, опирающегося на заданную криволинейную поверхность и ограниченного сверху плоскостью свободной поверхности или ее продолжением.

Направление силы Р определяется углом  $\phi$ :

$$\tg \phi = \frac{P_z}{P_x}.$$

(13)

Если поверхность цилиндрическая, с постоянным радиусом кривизны, то сила Р будет проходить через центр радиуса кривизны этой поверхности.

На тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, называемая архимедовой силой  $P_a$ ; она направлена вверх и равна весу вытесненной телом жидкости:

$$(14) \quad P_a = \gamma W,$$

где  $W$  – объем части тела, погруженной в жидкость;  $\gamma = \rho g$  – удельный вес жидкости.

### Д. Уравнение неразрывности. Уравнение Д. Бернулли для невязкой жидкости

Уравнение неразрывности для установившегося движения потока

ненажимаемой жидкости выражает постоянство объемного расхода по длине трубы

$$Q = V_1 \omega_1 = V_2 \omega_2 = \text{const} , \quad (15)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – средние скорости потока;  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – площади живых сечений.

Уравнение неразрывности можно представить в виде

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} .$$

Уравнение Д. Бернулли для потока невязкой жидкости – одно из основных уравнений гидравлики – имеет следующий вид:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} .$$

(16)

Уравнение записано для двух сечений неразрывного потока, где  $Z$  – геометрический напор или высота любой точки в живом сечении потока относительно плоскости сравнения;  $\frac{P}{\gamma}$  – пьезометрический напор, соответствующий давлению в рассматриваемом сечении;  $\frac{\alpha V^2}{2g}$  – скоростной напор;  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса.

Все члены уравнения имеют линейную размерность. Если задачу требуется решить без учета потерь напора (невязкая жидкость), то  $h_{w1-2} = 0$  и

$\alpha = 1$ .

## Е. Режимы движения и гидравлические сопротивления

При вычислении потерь напора необходимо различать два режима движения потока жидкости – ламинарный и турбулентный. Скорость, соответствующая смене режимов движения, называется критической. Режим движения жидкости устанавливается по критерию Рейнольдса  $Re$ . Для напорных трубопроводов число Рейнольдса рассчитывается по формуле

$$Re = \frac{Vd}{v} ,$$

(17)

где  $V$  – средняя скорость движения жидкости;  $d$  – внутренний диаметр трубы;

$v$  – кинематический коэффициент вязкости.

Чтобы определить режим движения для потока жидкости, рассчитанное число Рейнольдса  $Re$  надо сравнить с критическим значением  $Re_{kp} = 2320$ . Если  $Re < Re_{kp}$ , режим движения ламинарный, в случае  $Re > Re_{kp}$  – режим турбулентный.

Потери напора по длине потока для круглых труб рассчитываются по формуле Вейсбаха – Дарси

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g} ,$$

(18)

где  $l$  – длина трубопровода;  $d$  – диаметр трубопровода;  $V$  – средняя скорость потока;  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения.

Коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  зависит от числа Рейнольдса и от шероховатости стенок русла.

Формула Вейсбаха – Дарси может быть использована для определения потерь напора в любой области сопротивления, коэффициент  $\lambda$  для каждой из областей сопротивления определяется по специальным формулам.

При ламинарном течении жидкости коэффициент гидравлического трения является функцией только числа Рейнольдса и не зависит от шероховатости:

$$\lambda = \frac{64}{Re}.$$

(19)

При расчете трубопроводов в широком диапазоне чисел Рейнольдса для всех областей турбулентного течения используется универсальная формула

А. Д. Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{68}{Re} + \frac{k_3}{d} \right)^{0,25},$$

(20)

где  $k_3$  – эквивалентная шероховатость трубы.

При  $Re < 10 \frac{d}{k_3}$  имеет место область гладких труб, шероховатость не влияет на потери напора, а формула для определения  $\lambda$  имеет вид

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}.$$

(21)

При  $10 \frac{d}{k_3} < Re < 500 \frac{d}{k_3}$  потери напора зависят от числа Рейнольдса и шероховатости, наблюдается область квадратичного сопротивления. Расчеты коэффициента  $\lambda$  следует вести по формуле (20).

При  $Re > 500 \frac{d}{k_3}$  имеет место область квадратичного сопротивления. В формуле (20) пренебрегаем первым слагаемым, и она принимает вид

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{k_3}{d} \right)^{0,25}.$$

(22)

Потери напора, происходящие на коротких участках трубопровода в результате изменения формы или размеров поперечного сечения или направления движения жидкости, называются местными потерями. Потери напора на местных сопротивлениях определяются по формуле Вейсбаха

$$h_M = \zeta \frac{V^2}{2g},$$

(23)

где  $V$  – средняя скорость в сечении, расположенном ниже по течению за данным сопротивлением;  $\zeta$  – безразмерный коэффициент местного

сопротивления.

Значения коэффициентов местных сопротивлений зависят от конфигурации местных сопротивлений и режима потока.

### Ж. Уравнение Д. Бернулли для потока вязкой несжимаемой жидкости

В данном разделе приведены задачи по расчету простых коротких трубопроводов. Для использования уравнения Д. Бернулли выбирают плоскость сравнения и два сечения. Плоскость сравнения выбирается горизонтальной на любом уровне, так, чтобы обеспечить во всех расчетных сечениях  $Z \geq 0$ . В качестве расчетных назначаются сечения, где известно максимальное число слагаемых уравнения Бернулли (геометрические высоты, скорости, давления). Гидравлический расчет коротких трубопроводов сводится к решению трех основных типов задач.

К первому типу относятся задачи по определению перепадов напоров в питающем и приемном резервуарах по заданным расходам в трубах заданных диаметров. Такие задачи решаются путем непосредственного использования уравнения Бернулли для потока вязкой несжимаемой жидкости, которое имеет следующий вид:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_{w1-2}. \quad (24)$$

Уравнение записано для двух сечений неразрывного потока, где  $Z$  – геометрический напор или высота любой точки в живом сечении потока относительно плоскости сравнения;  $\frac{P}{\gamma}$  – пьезометрический напор, соответствующий давлению в рассматриваемом сечении;  $\frac{\alpha V^2}{2g}$  – скоростной напор;  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса;  $h_{w1-2}$  – потери напора на преодоление гидравлических сопротивлений между сечениями 1–1 и 2–2.

Решение задач второго типа – определение расходов в трубах заданных диаметров по известным перепадам напоров – приходится вести методом последовательных приближений, считая в первом приближении, что трубопровод работает в квадратичной области гидравлического сопротивления, где коэффициенты  $\lambda$  и  $\zeta$  не зависят от числа Рейнольдса.

В задачах третьего типа требуется подобрать диаметр трубопровода по заданному расходу и перепаду напора в питателе и приемнике. Такие задачи решают методом подбора, для ускорения расчетов прибегают к построению графиков  $Q = f_1(d)$  или  $H = f_2(d)$ .

### 3. Истечение жидкости через отверстия и насадки

Расход жидкости при истечении при постоянном напоре из отверстий и насадков определяется следующей зависимостью:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}, \quad (25)$$

где  $\mu = \varepsilon\varphi$  – коэффициент расхода;  $\varepsilon$  – коэффициент сжатия;  $\varphi$  – коэффициент скорости;  $\omega$  – площадь выходного сечения отверстия или насадка;  $H$  – напор над центром отверстия или насадка.

Коэффициенты  $\mu, \varepsilon, \varphi$  зависят от формы насадка, входной кромки отверстия, чисел Рейнольдса.

## И. Гидравлический расчет длинных трубопроводов

Гидравлический расчет длинных трубопроводов предусматривает пренебрежение местными потерями и скоростными напорами. Потери по длине рассчитываются по формуле

$$H = S_0 Q^2 l, \quad (26)$$

где  $S_0$  – удельное сопротивление трубы.

Гидравлический расчет длинных трубопроводов можно производить и по формуле

$$Q = K \sqrt{J}, \quad (27)$$

где  $K$  – расходная характеристика трубы, зависящая от диаметра  $d$  и коэффициента шероховатости  $n$ ;  $J = \frac{h_l}{l}$  – гидравлический уклон.

Сравнивая зависимости (26) и (27), можно отметить, что

$$S_0 = \frac{1}{K^2}. \quad (28)$$

Полную потерю напора в системе при последовательном соединении простых трубопроводов определяют по формуле

$$H = Q^2 \sum \frac{l_i}{K_i^2} = Q^2 \sum S_{oi} l_i, \quad (29)$$

где  $l_i, K_i, S_{oi}$  – соответственно длина, расходная характеристика, удельное сопротивление отдельных участков.

При параллельном соединении трубопроводов потери напора в отдельных ветвях разветвления равны

$$H_1 = H_2 = H_3 = H_4.$$

Расходы распределяются по отдельным ветвям в соответствии с зависимостью

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{K_1}{K_2} \sqrt{\frac{l_2}{l_1}} = \sqrt{\frac{S_{o2} l_2}{S_{o1} l_1}}. \quad (30)$$

Если трубопроводы работают в неквадратичной области сопротивления, то потери напора определяются по формуле

$$H = \frac{Q^2}{(\Theta_1 K_{\text{KB}})^2} l = \Theta_2 S_{0\text{KB}} Q^2 l,$$

(31)

где  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$  – поправки на неквадратичность, причем  $\Theta_2 = \frac{1}{\Theta_1^2}$ .

## **К. Гидравлический удар в трубопроводах**

Величину повышения давления при гидравлическом ударе определяют по формуле Н. Е. Жуковского

$$\Delta P = \rho V C,$$

(32)

где  $\rho$  – плотность жидкости;  $C$  – скорость распространения ударной волны;  $V$  – скорость движения жидкости в трубе до повышения давления.

Скорость распространения ударной волны находят по формуле

$$C = \frac{\sqrt{\frac{E_{\text{ж}}}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{dE_{\text{ж}}}{\delta E_{\text{т}}}}},$$

(33)

где  $E_{\text{ж}}$  – модуль упругости жидкости;  $E_{\text{т}}$  – модуль упругости материала стенки трубы;  $d$  – диаметр трубы;  $\delta$  – толщина стенки трубы.

## **3. УСЛОВИЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

### **A. Физические свойства жидкостей и газов**

#### **Задача 1**

Водовод противопожарного водовода диаметром 300 мм, длиной 50 м, подготовленный к гидравлическому испытанию, заполнен водой при атмосферном давлении. Какое количество воды необходимо дополнительно подать в водовод, чтобы избыточное давление в нем поднялось до 2,5 МПа? Деформацией водопровода пренебречь. Коэффициент объемного сжатия воды  $\beta_c = 0,5 \cdot 10^{-9} \frac{1}{\text{Па}}$ .

#### **Задача 2**

При гидравлическом испытании нефтепровода диаметром 400 мм и длиной 200 м давление было поднято до 5,5 МПа. Через час давление упало до 5 МПа. Определить, пренебрегая деформацией трубопроводов, сколько нефти вытекло при этом через неплотности. Коэффициент объемного сжатия

нефти

—.

### Задача 3

В вертикальном цилиндрическом резервуаре диаметром 4 м хранится  $10^5$  кг нефти, плотность которой при 0 °С составляет  $850 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Определить колебания уровня в резервуаре при изменении температуры нефти от 0 до 30 °С. Расширение резервуара не учитывать. Коэффициент температурного расширения нефти принять —.

### Задача 4

Манометр на технологической емкости, полностью заполненной нефтью, показывает 0,5 МПа. При выпуске 40 л нефти показания манометра упали до 0,1 МПа. Определить объем емкости, если коэффициент объемного сжатия нефти —.

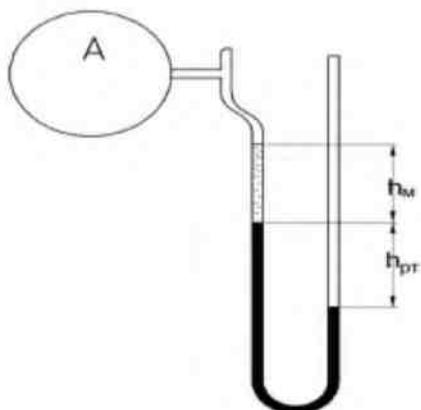
### Задача 5

Определить среднюю толщину солевых отложений  $\Delta_{\text{отл}}$  в герметичном водоводе противопожарного водопровода с внутренним диаметром  $d = 0,3 \text{ м}$  и  $l = 2 \text{ км}$ . При выпуске объема воды  $\Delta W = 0,05 \text{ м}^3$  давление в водоводе падает на величину  $\Delta P = 1 \text{ МПа}$ . Отложения по диаметру и длине водовода распределены равномерно. Коэффициент объемного сжатия воды

—. Деформацией трубопровода пренебречь.

## Б. Основное уравнение гидростатики

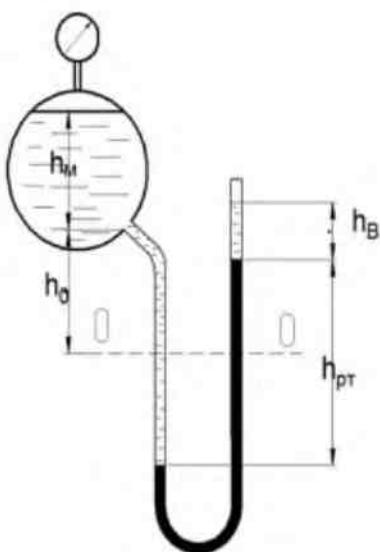
### Задача 1



Определить величину вакуума и абсолютное давление во всасывающей линии ацетиленового компрессора А по показаниям ртутного вакуумметра, если атмосферное давление  $P_{\text{атм}} = 10^5 \text{ Па}$  (рис. 1). Ртуть в левом колене поднялась на высоту  $h_{\text{pt}}$ . Так как соединение паров ртути с ацетиленом опасно в пожарном отношении, над ртутью налито масло, высота столба которого  $h_m$ . Плотность ртути  $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; масло  $\rho_m = 800 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Рис. 1

Задача 2



$10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Рис. 2

Определить показания ртутного дифференциального манометра  $h_{pt}$ , подсоединеного к пневмобаку, если манометр, установленный на пневмобаке, показывает 100 кПа (рис. 2). Место подсоединения дифференциального манометра на  $h_m = 1$  м ниже уровня поверхности воды в пневмобаке. Расстояние от точки подсоединения до уровня 0–0 (уровень, на котором устанавливаются столбы ртути в левом и правом коленах при одинаковом давлении над свободной поверхностью ртути)  $h_0 = 0,6$  м. Так как пары ртути токсичны, то для исключения возможности испарения ртути в правом колене налит столбик воды  $h_B = 0,05$  м. Плотность ртути  $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ; воды  $\rho_w =$

Задача 3

Определить показания манометра, подсоединеного к пневмобаку автоматической установки пожаротушения, если  $H = 2$  м;  $h_1 = 0,2$  м;  $h_2 = 0,8$  м;  $h_3 = 0,3$  м;  $h_4 = 0,9$  м;  $h_5 = 0,1$  м (рис. 3). Пространство между столбами ртути в двухколенном дифманометре, заполнено водой. Плотность ртути  $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ; воды  $\rho_w = 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

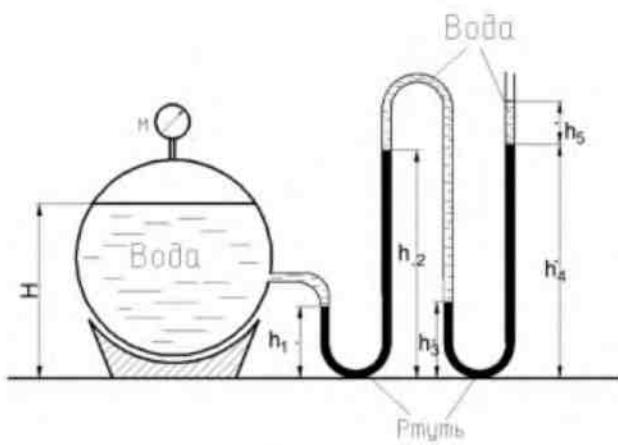
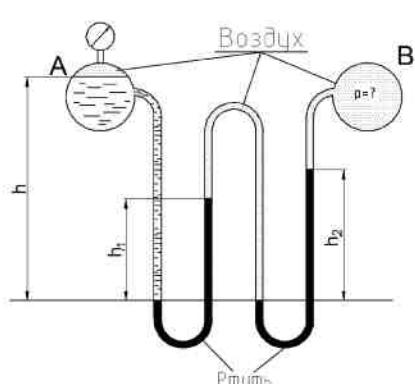


Рис. 3

Задача 4

Найти давление воздуха в резервуаре В, если избыточное давление на поверхности воды в резервуаре А  $P_m = 25$  кПа, разности уровней ртути ( $\rho_{pt} = 0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ) в двухколенном



дифференциальном манометре  $h_1 = 200$  мм и  $h_2 = 250$  мм, а мениск ртути в левой трубке манометра ниже уровня воды на  $h = 0,7$  м (рис. 4). Пространство между уровнями ртути в дифманометре заполнено воздухом.

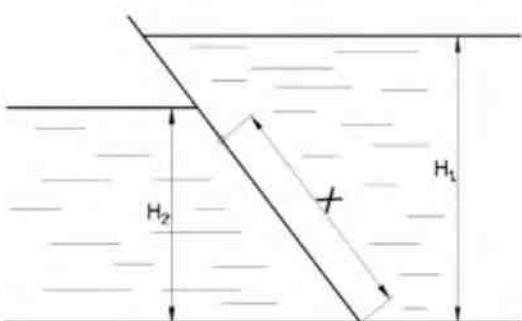
Рис. 4

### Задача 5

К резервуару, наполненному бензином ( $\rho_b = 0,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>) до высоты 2 м, присоединены три различных прибора для измерения давления (рис. 5). К крышке резервуара присоединен пружинный манометр, к боковым стенкам – пьезометр и трехколенный дифманометр, наполненный ртутью ( $\rho_{pt} = 13\,600$  кг/м<sup>3</sup>), водой ( $\rho_w = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>) и воздухом. Определить показания манометра и пьезометра, если уровни жидкости в дифманометрах расположились так, как показано на рисунке (отметки даны в метрах от дна резервуара).

### B. Давление жидкости на плоские поверхности

#### Задача 1



уровень воды  $H_2 = 3$  м.

Рис. 6

#### Задача 2

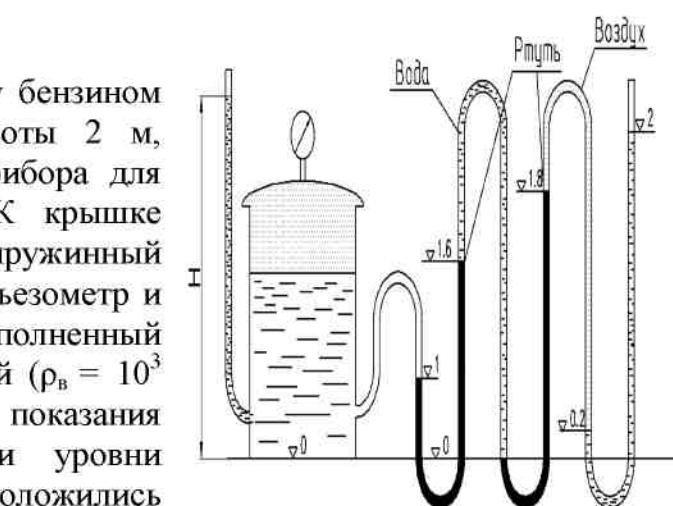
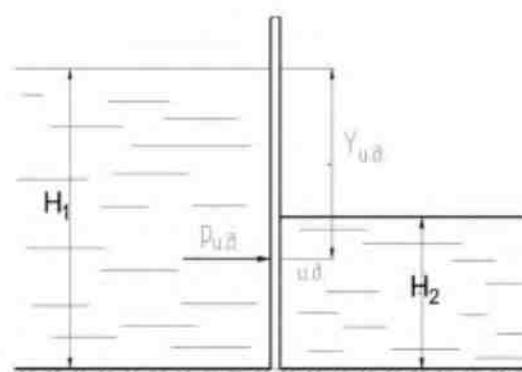


Рис. 5

Щитовой затвор должен автоматически опрокидываться для пропуска воды при ее уровне  $H_1 = 6$  м (рис. 6). Щит поворачивается вокруг оси. Ширина щита 8 м, его угол наклона  $\alpha = 60^\circ$ . Найти, на каком расстоянии  $X$  должна быть расположена ось поворота щита, если под ним имеется постоянный

Промежуточная вертикальная стенка делит пожарный резервуар шириной  $b = 6$  м на два отсека (рис. 7). Уровень жидкости в первом отсеке находится на высоте  $H_1 = 1,2$  м, а во втором  $H_2 = 0,48$  м. Определить

результатирующую силу давления  $P$  и точку ее приложения.

Рис. 7

**Задача 3**

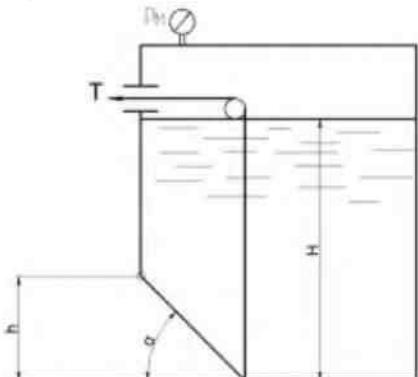


Рис. 8

Поворотный клапан закрывает выход из бензохранилища в трубу квадратного сечения (рис. 8). Определить, какую силу  $T$  нужно приложить к тросу для открытия клапана при следующих данных:  $h = 0,3 \text{ м}$ ;  $H = 0,95 \text{ м}$ ;  $\alpha = 45^\circ$ ; объемный вес бензина  $\rho_B = 700 \text{ кг/м}^3$ ; манометрическое давление паров бензина в резервуаре  $P_m = 10 \text{ кПа}$ .

**Задача 4**

Квадратное отверстие со стороной  $a = 0,8 \text{ м}$  в наклонной стенке резервуара с водой закрыто поворотным щитом (рис. 9). Определить натяжение каната  $T$  при следующих данных:  $b = 0,4 \text{ м}$ ;  $H = 1,5 \text{ м}$ ;  $\alpha_1 = \alpha_2 = 45^\circ$ .

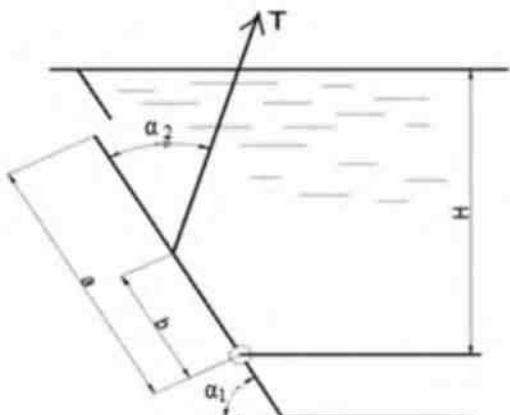


Рис. 9

**Задача 5**

Какую силу  $P$  нужно приложить к поршню левого сосуда, наполненного водой, чтобы уравновесить давление воды на поршень правого сосуда (рис. 10). Исходные данные:  $d_1 = 300 \text{ мм}$ ,  $d_2 = 400 \text{ мм}$ ,  $d_3 = 200 \text{ мм}$ ;  $h_1 = 0,5 \text{ м}$ ,  $h_2 = 1,2 \text{ м}$ .

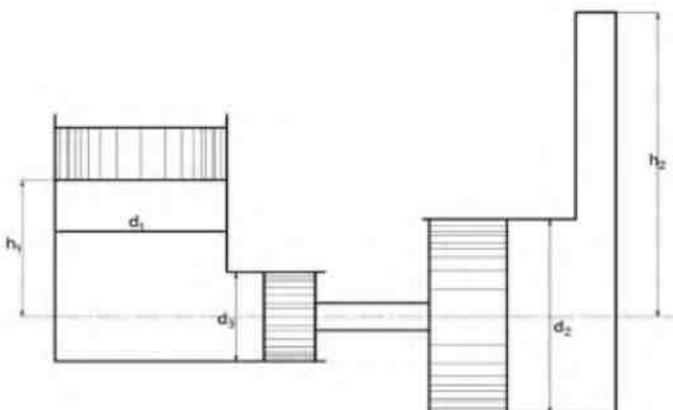


Рис. 10

## Г. Давление жидкости на криволинейные поверхности.

### Задача 1

Определить силу давления нефтепродуктов на полусферическую крышку закрытого резервуара и положение центра давления (рис. 11). Радиус полусфера  $r = 0,25$  м, высота уровня жидкости в пьезометре, подключенном на расстоянии  $a = 0,15$  м от нижней кромки полусферической крышки, равна  $H = 1,2$  м. Плотность нефтепродуктов  $\rho = 820 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

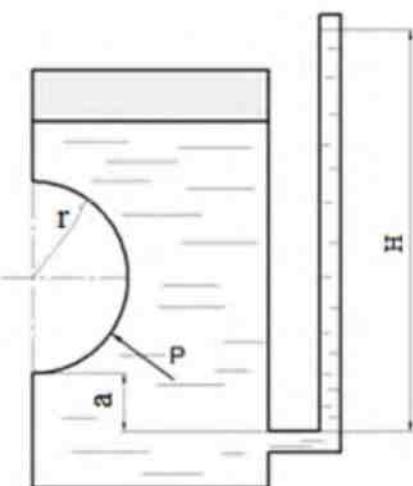
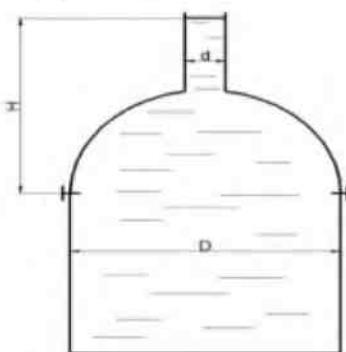


Рис. 11

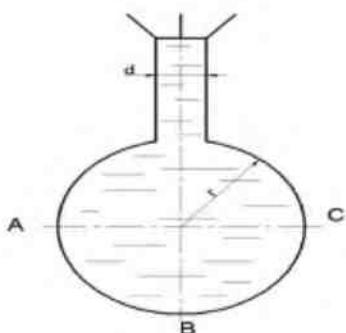
### Задача 2



Вертикальный цилиндрический резервуар для хранения нефтепродуктов диаметром  $D = 2,4$  м закрыт полусферической крышкой весом  $G = 3,9$  кН и сообщается с атмосферой через трубку диаметром  $d = 0,125$  м (рис. 12). Плотность нефтепродуктов  $\rho = 930 \text{ кг}/\text{м}^3$ , свободная поверхность размещается на высоте  $h = 2,6$  м от плоскости разъема. Определить количество болтов, крепящих крышку к резервуару, если один болт воспринимает усилие  $F = 2,45$  кН.

Рис. 12

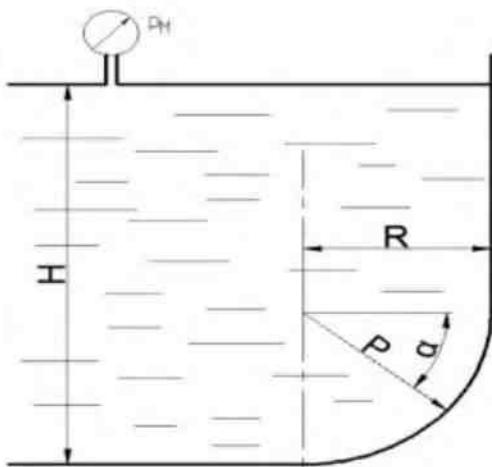
### Задача 3



Определить силу гидростатического давления воды на нижнюю часть АВС шаровой колбы, если ее радиус  $r = 0,1$  м, диаметр  $d = 0,03$  м, а масса налитой в колбу воды  $m = 4,3$  кг (рис. 13).

Рис. 13

### Задача 4



Определить величину и направление равнодействующей силы давления  $P$  на криволинейную стенку резервуара в виде четверти цилиндрической поверхности радиусом  $R = 0,6$  м и шириной  $b = 3$  м, если глубина воды в резервуаре  $H = 2$  и давление на поверхности  $P_m = 5$  кПа (рис. 14).

Рис. 14

### Задача 5

Определить величину и направление силы избыточного давления жидкости на полусферическую крышку, закрывающую круглое отверстие диаметром  $D = 1,2$  м (рис. 15). На расстоянии  $h = 0,9$  м от центра отверстия установлен манометр. Показания манометра  $P_m = 14$  кПа, плотность жидкости  $\rho = 930 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

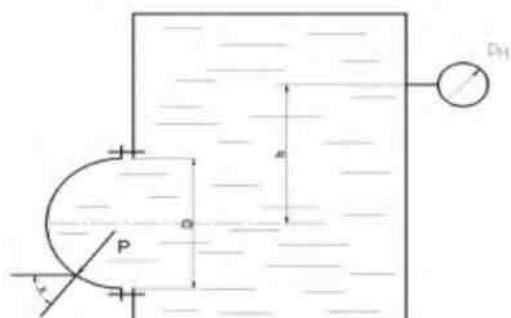


Рис. 15

## Д. Уравнение неразрывности. Уравнение Д. Бернуlli для невязкой жидкости

### Задача 1

Из открытого резервуара А по вертикальной трубе диаметром  $d = 100$  мм вода перетекает в нижний закрытый резервуар В при напоре  $H = 3$  м (рис. 16). Определить расход воды  $Q$  в трубе, если показания ртутного манометра, установленного на нижнем резервуаре,  $h = 200$  мм.

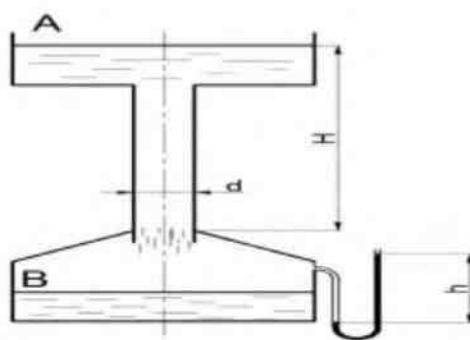


Рис. 16

Задача 2

Вода вытекает в атмосферу из закрытого резервуара, имеющего ртутный манометр по трубе переменного сечения с диаметрами  $d_1 = 75$  мм и  $d_2 = 50$  мм при напоре  $H = 1$  м (рис. 17). Построить пьезометрическую линию и определить: а) расход воды в трубе при показании ртутного манометра  $h = 150$  мм; б) показание ртутного манометра при расходе воды  $Q = 10$  л/с.

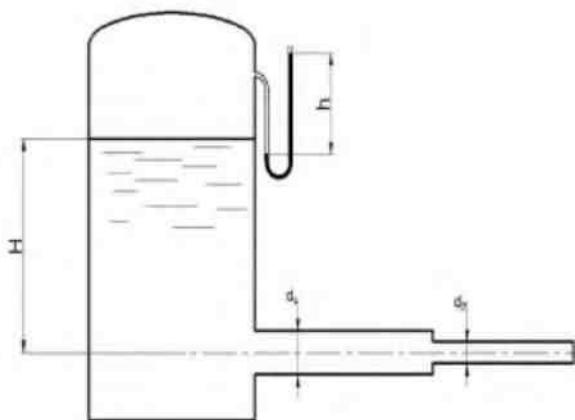


Рис. 17

Задача 3

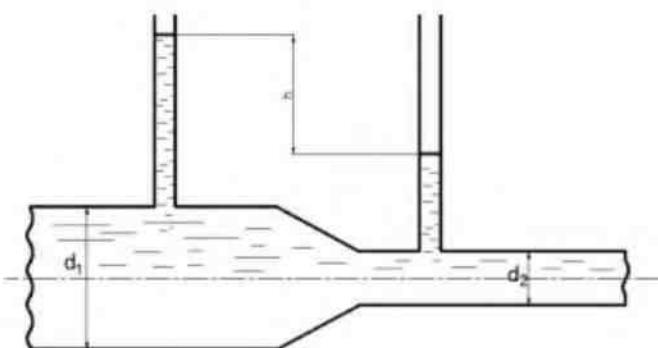


Рис. 18

Задача 4

Насос производительностью  $18 \text{ м}^3/\text{ч}$  забирает воду из колодца по трубе диаметром  $d = 100$  мм (рис. 19). Определить: а) наибольший вакуум  $P_{\text{вак}}$  в трубе при высоте установки насоса  $h = 4,5$  м; б) высоту установки насоса  $h$  при условии, что наибольший вакуум в трубе не превышает  $60 \text{ кПа}$  ( $0,61$  атм).

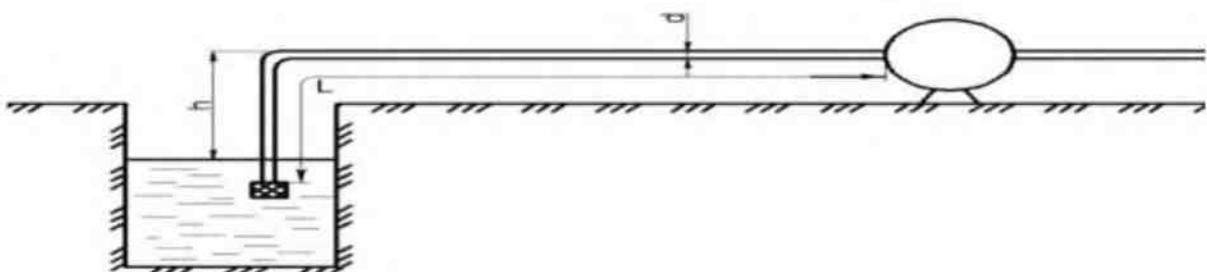
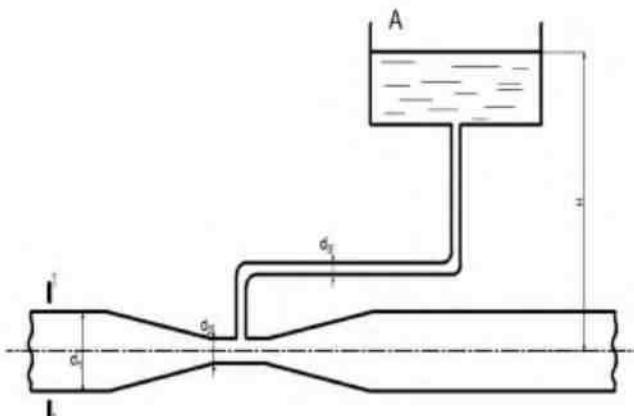


Рис. 19

### Задача 5



трубопроводе  $Q = 140 \text{ л/с.}$

Рис. 20

Из бачка А по трубке диаметром  $d_3 = 25 \text{ мм}$ , подведенной к трубопроводу диаметром  $d_1 = 300 \text{ мм}$ , поступает хлорная вода плотностью  $\rho = 1000 \text{ г/м}^3$  (рис. 20). Определить: а) расход  $Q_{\text{хв}}$  хлорной воды, если напор  $H = 6 \text{ м}$ , диаметр суженной части  $d_2 = 100 \text{ мм}$ , в сечении 1–1 давление  $P_1 = 0,196 \text{ МПа}$  ( $2 \text{ кгс/см}^2$ ), расход воды в

### Задача 1

Трубы, используемые в противопожарном водоснабжении, имеют минимальный диаметр  $d = 50 \text{ мм}$  и максимальный диаметр  $D = 1500 \text{ мм}$ . Расчетные скорости движения воды в них  $V = 0,5\text{--}4,0 \text{ м/с.}$  Определить минимальное и максимальное значения расходов воды, а также чисел Рейнольдса и режим движения воды в этих трубах ( $v = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с.}$ ).

### Задача 2

Определить режим движения нефти в трубе при следующих данных: массовый расход  $m = 9,81 \text{ кг/с.}$ , плотность нефти  $\rho_n = 850 \text{ кг/м}^3$ , диаметр трубопровода  $d = 0,1 \text{ м}$ , динамический коэффициент вязкости  $\mu = 0,0968 \text{ Па}\cdot\text{с.}$

### Задача 3

Определить диаметр трубопровода, по которому подается вода с расходом  $Q = 1,5 \text{ л/с.}$  из условия получения в нем максимально возможной скорости течения при сохранении ламинарного режима. Температура воды  $20^\circ\text{C.}$

### Задача 4

Вода подается из насосной станции по пожарному водоводу

длиной

$l = 1500 \text{ м}$  с расходом  $Q = 60 \text{ л/с}$  и скоростью  $V = 1,9 \text{ м/с}$  при температуре

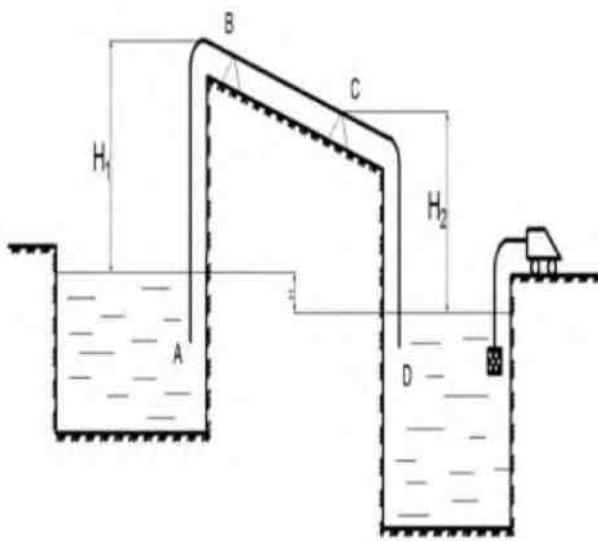
$t = 10^\circ\text{C}$ . На водоводе установлены обратный клапан, две задвижки и имеется поворот  $90^\circ$ . Водовод выполнен из стальной, сильно заржавевшей трубы. Определить потери напора.

### Задача 5

Определить потери напора на участке всасывающей стальной трубы насоса длиной  $l = 5 \text{ м}$ , в начале которого установлен обратный клапан, а в конце имеется плавный поворот на  $90^\circ$  с радиусом поворота  $R_n = 2,5D$ , если расход воды  $Q = 15 \text{ л/с}$ , а диаметр трубы  $D = 125 \text{ мм}$ .

### Ж. Уравнение Д. Бернулли для потока вязкой несжимаемой жидкости

#### Задача 1



Из водоема А в приемный колодец D вода при комнатной температуре  $t = 20^\circ\text{C}$  поступает по сифону ABCD диаметром 200 мм с абсолютной шероховатостью стенки трубы  $\Delta = 1 \text{ мм}$  (рис. 21). Коэффициенты сопротивлений поворотов В и С принять равными

$\xi_{\text{скол}} = 0,2$ . Длина сифона  $l_{\text{ABCD}} = 80 \text{ м}$ . Разность уровней воды в водоеме А

и приемном колодце D равна 1 м. Определить: а) расход воды Q через сифон; б) вакуум в точке В сифона при  $H_1 = 2 \text{ м}$ ,  $l_{\text{AB}} = 4 \text{ м}$ .

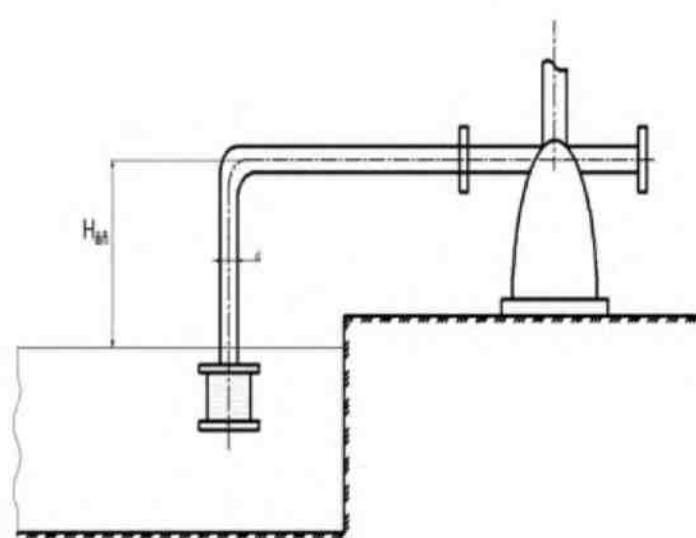


Рис. 21

#### Задача 2

Определить допустимую высоту

установки центробежного насоса над уровнем воды  $H_{\text{вс}}$ , перекачивающего воду с температурой  $t = 15^{\circ}\text{C}$  в количестве  $Q = 5 \text{ л/с}$ , если вакуумметрическая высота всасывания насоса  $H_{\text{вак}} = 5 \text{ м}$  (рис. 22). Диаметр трубы  $d = 0,3 \text{ м}$ , длина  $l = 3 \text{ м}$ , эквивалентная шероховатость стенок трубы  $\Delta = 0,21 \text{ мм}$ . Коэффициент сопротивления с сеткой  $\xi_{\text{кл}} = 2$ , поворота  $\xi_{\text{пов}} = 0,4$ .

Рис. 22

### Задача 3

Определить диаметр трубопровода, который обеспечивает подачу воды в количестве 15 л/с от насоса с давлением на выходе  $P_{\text{ман}} = 1,25 \text{ атм}$  в водонапорный бак на высоту  $H = 12 \text{ м}$  (рис. 23). Общая длина трубопровода  $l = 50 \text{ м}$ . Труба чугунная новая ( $\Delta = 0,5 \text{ мм}$ ). Температура воды  $t = 15^{\circ}\text{C}$ ,  $\xi_{\text{пов}} = 0,29$ .

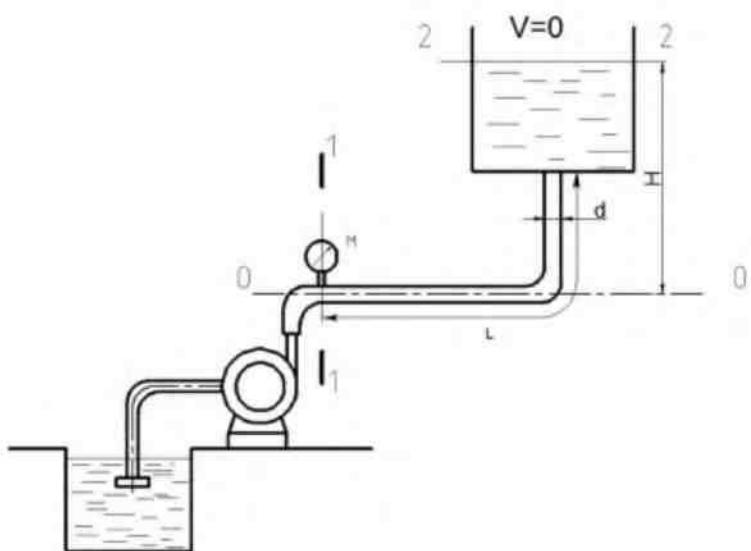


Рис. 23

### Задача 4

Центробежный насос пожарного водопровода забирает воду из колодца в количестве  $Q = 120 \text{ л/с}$  (рис. 24). Высота расположения оси насоса над уровнем воды в колодце  $H = 4,5 \text{ м}$ . Длина всасывающей линии  $l = 50 \text{ м}$ , труба снабжена всасывающей сеткой с обратным клапаном. Определить диаметр всасывающей трубы, учитывая, что вакуум в трубе должен быть не более 6 м (λ = 0,021).

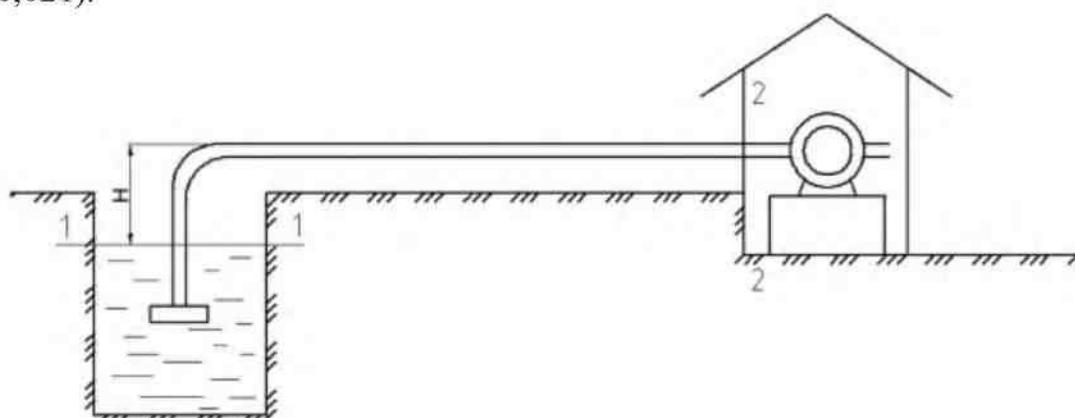


Рис. 24

**Задача 5**

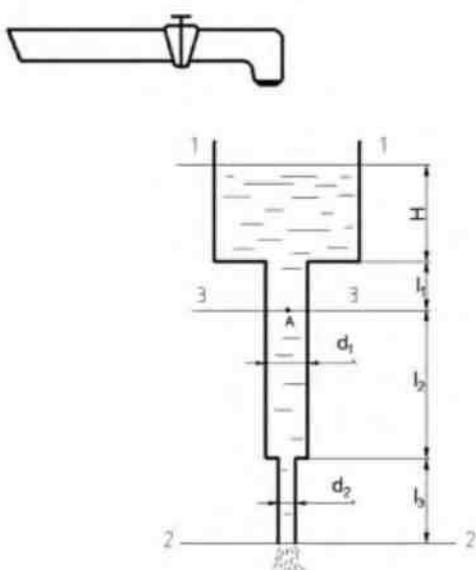
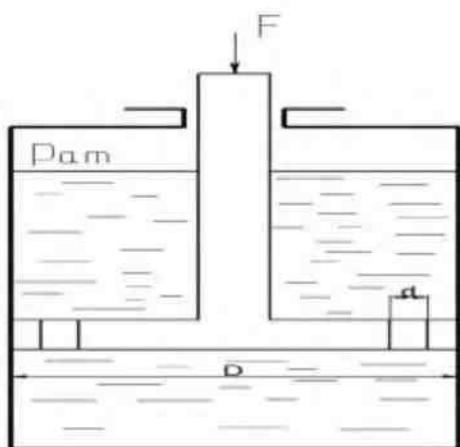


Рис. 25

Определить расход воды, вытекающей из трубы и манометрическое давление в точке А (рис. 25). Уровень воды в резервуаре постоянный, глубина  $H = 7$  м. Длина участков верхней трубы диаметром  $d_1 = 100$  мм равна  $l_1 = 5$  м и  $l_2 = 8$  м. Длина нижней трубы диаметром  $d_2 = 50$  мм равна  $l_3 = 2$  м. Коэффициент Дарси вычислить по формуле Шифринсона, абсолютная шероховатость труб  $\Delta = 0,5$  мм.

**Задача 1**



Определить скорость перемещения поршня гидротормоза диаметром  $D = 200$  мм, нагруженного силой  $F = 50$  кН, если перетекание жидкости из нижней полости цилиндра в верхнюю происходит через два отверстия в поршне, диаметр которых  $d = 10$  мм (рис. 26). Коэффициент расхода отверстий  $\mu = 0,6$ , плотность жидкости  $\rho = 865 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Трением поршня о стенки цилиндра пренебречь.

Рис. 26

### Задача 2

Два открытых резервуара отделены вертикальной стенкой, в которой имеется круглое отверстие диаметром  $d_1 = 70$  мм, уровень воды в левом резервуаре  $H_1 = 3$  м. Расход  $Q$ , проходящий через отверстие, равен  $0,01 \text{ м}^3/\text{с}$  (рис. 27). Определить уровень воды в правом резервуаре  $H_2$  и диаметр  $d_2$  отверстия в крайней правой стенке при постоянных уровнях воды в резервуарах. Центры обоих отверстий расположены на расстоянии  $l = 0,5$  м от дна резервуаров.

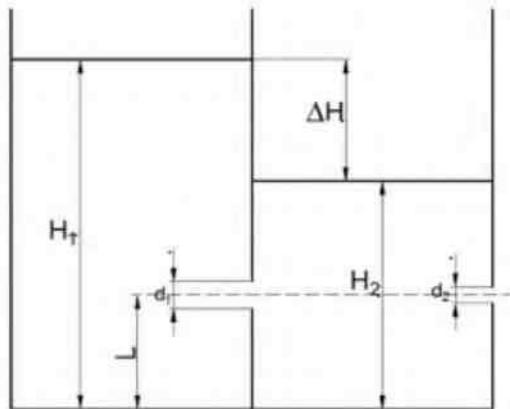


Рис. 27

### Задача 3

Определить, какой объем воды  $W$  был налит в цилиндрический бак диаметром  $D = 0,7$  м, если вся вода вытекла из него через отверстие в дне диаметром  $d = 75$  мм за время  $t = 50$  с (рис. 28). Какое время  $t_1$  потребуется для опорожнения такого же объема воды, если уменьшить диаметр бака в полтора раза?

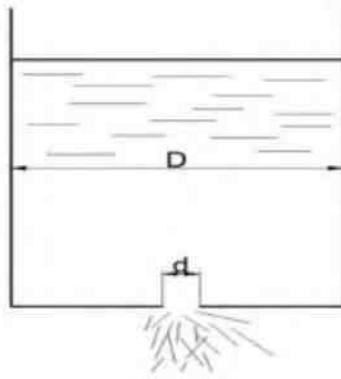


Рис. 28

### Задача 4

В бак, разделенный тонкой перегородкой на два отсека, поступает расход воды  $Q = 20 \text{ л/с}$ . В перегородке имеется отверстие диаметром  $d_1 = 100$  мм (рис. 29). Из второго отсека вода сливается наружу через цилиндрический насадок диаметром  $d_2 = 75$  мм. Определить глубину воды в отсеках над центром отверстий.

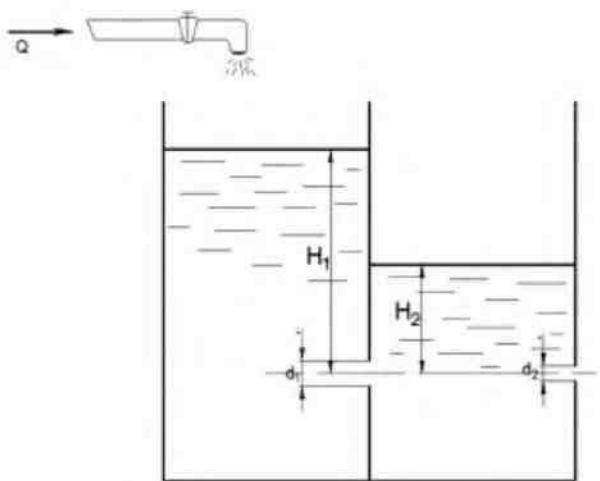
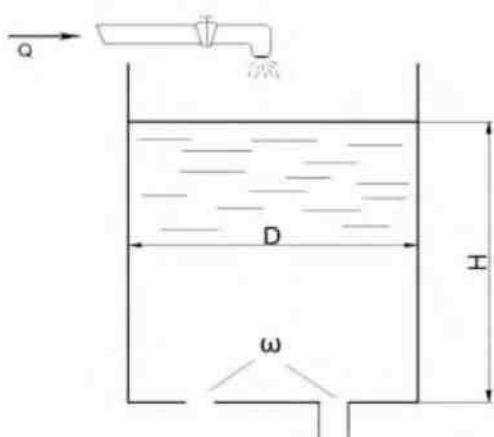


Рис. 29

Задача 5



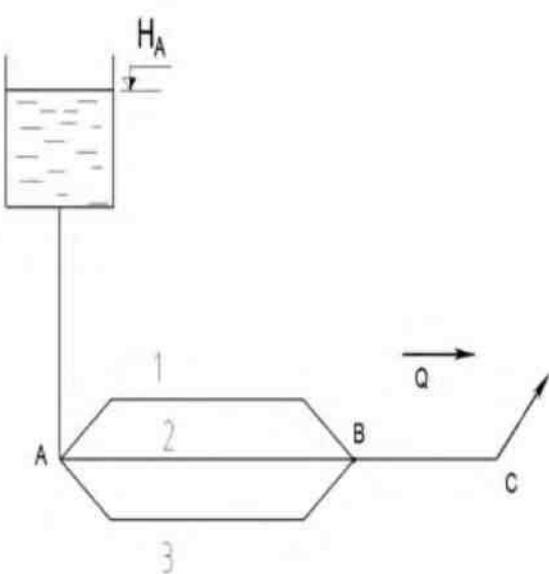
прекращения притока воды в бак.

Цилиндрический бак диаметром  $D = 0,5$  м имеет в дне два одинаковых отверстия, одно из которых снабжено внешним цилиндрическим насадком (рис. 30). Какой диаметр должны иметь отверстия, чтобы при поступлении в бак расхода воды  $Q = 0,03$  л/с уровень поддерживался на высоте  $H = 1,2$  м? Определить, за какое время  $t$  произойдет опорожнение сосуда через цилиндрический насадок после

Рис. 30

## И. Гидравлический расчет длинных трубопроводов

Задача 1



В трубопроводе с параллельными линиями, длина которых  $l_1 = 400$  м,  $l_2 = 500$  м,  $l_3 = 200$  м,  $l_{BC} = 500$  м; диаметры  $D_1 = 250$  мм,  $D_2 = 200$  мм,  $D_3 = 200$  мм,  $D_{BC} = 350$  мм; (на участках 1 и 2 трубы стальные, а на участках 3 и BC – асбестоцементные); пьезометрический напор в точке С  $H_c = 10$  м, определить расходы на участках 1, 2 и BC и пьезометрический напор в точке А, если расход в третьей ветви  $Q_3 = 20$  л/с (рис. 31).

Рис. 31

### Задача 2

Трубопровод имеет параллельное ответвление (рис. 32). Длины участков трубопровода  $l_1 = 200$  м,  $l_2 = 200$  м,  $l_3 = 150$  м,  $l_4 = 300$  м; диаметры участков

$d_1 = d_4 = 300$  мм,  $d_2 = 250$  мм,  $d_3 = 200$  мм. Определить давление, создаваемое насосом для подачи по трубопроводу воды с расходом  $Q = 75$  л/с при отметке оси насоса  $z_{\text{нас}} = 5$  м и напоре в конце трубопровода  $H_k = 20$  м, если трубы стальные.

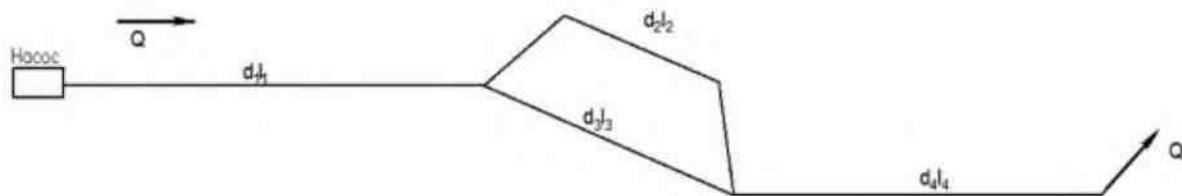


Рис. 32

### Задача 3

Резервуары 1 и 2 с разностью уровней  $Z = 25$  м соединены трубопроводом переменного сечения (рис. 33). В точках А и В трубопровода производится водоразбор с расходами  $Q_A = 5$  л/с и  $Q_B = 5$  л/с. Определить направление движения воды в трубах и давления в точках водоразбора при следующих данных: длины участков  $l_1 = 1000$  м,  $l_2 = l_3 = 500$  м; диаметры труб на участках  $d_1 = 150$  мм,  $d_2 = 200$  мм,  $d_3 = 300$  мм. Уровень воды в резервуаре 2 выше точек водоразбора на  $H = 15$  м. Шероховатость стенок труб принять равной  $\Delta = 0,5$  мм, местными сопротивлениями пренебречь.

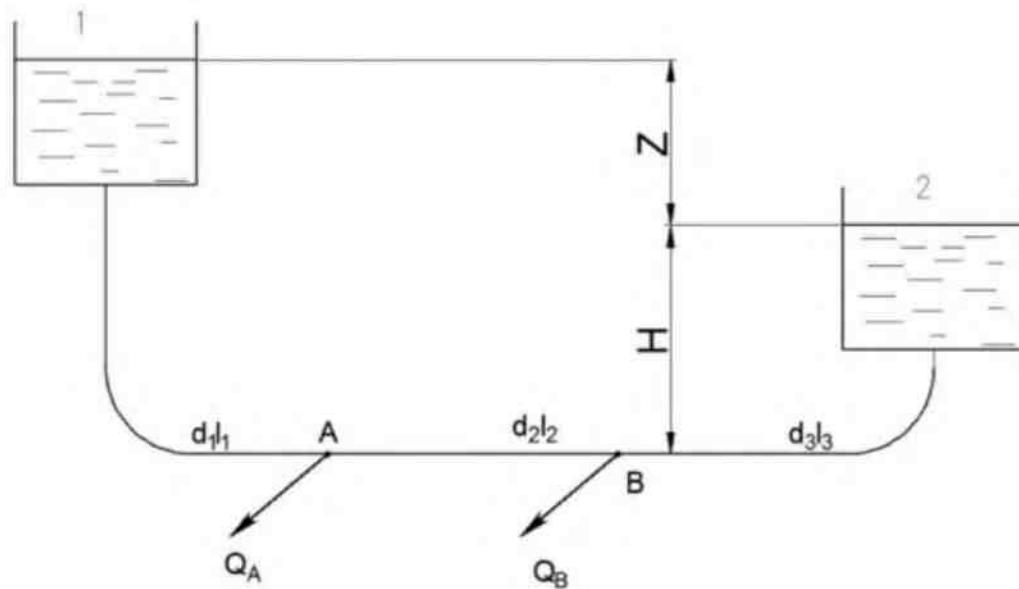


Рис. 33

Задача 4

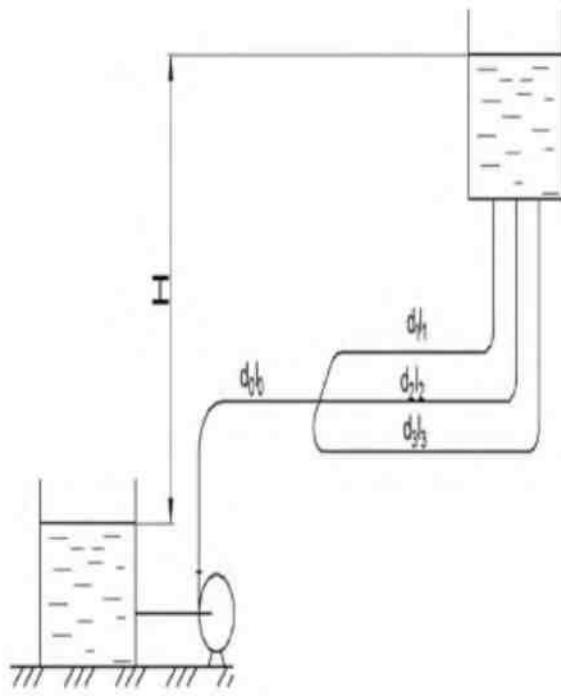


Рис. 34

Задача 5

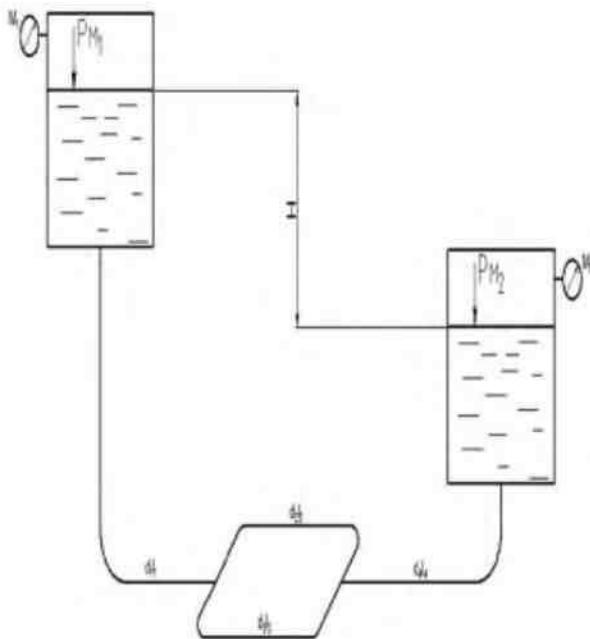


Рис. 35

Центробежный насос перекачивает воду в количестве  $Q = 30 \text{ л/с}$  из нижнего резервуара в верхний (рис. 34). Определить расходы воды в каждой трубе, а также положение уровня в верхнем баке  $H$ , если полный напор, развиваемый насосом,  $H_n = 23 \text{ м}$ , а длины участков, диаметры труб и шероховатость соответственно равны: от насоса до точки разветвления  $l_0 = 400 \text{ м}$ ,  $d_0 = 200 \text{ мм}$ ,  $\Delta = 0,5 \text{ мм}$ ; первой ветви:  $l_1 = 600 \text{ м}$ ,  $d_1 = 75 \text{ мм}$ ,  $\Delta = 0,2 \text{ мм}$ ; второй ветви:  $l_2 = 750 \text{ м}$ ,  $d_2 = 100 \text{ мм}$ ,  $\Delta = 0,5 \text{ мм}$ ; третьей ветви:  $l_3 = 1000 \text{ м}$ ,  $d_3 = 150 \text{ мм}$ ,  $\Delta = 1,0 \text{ мм}$ . Местными сопротивлениями пренебречь.

Определить давление  $P_{m1}$  на поверхности жидкости в закрытом резервуаре, из которого жидкость по системе с кольцевым соединением труб поступает в другой резервуар с давлением на поверхности  $P_{m2} = 50 \text{ кПа}$  (рис. 35). Общий расход жидкости в системе  $Q = 0,06 \text{ м}^3/\text{с}$ . Трубы водопроводные, нормальные. Диаметры труб:  $d_1 = 0,25 \text{ м}$ ,  $d_2 = 0,15 \text{ м}$ ,  $d_3 = 0,1 \text{ м}$ ,  $d_4 = 0,2 \text{ м}$ . Длины труб:  $l_1 = 400 \text{ м}$ ,  $l_2 = 320 \text{ м}$ ,  $l_3 = 300 \text{ м}$ ,  $l_4 = 500 \text{ м}$ . Разность уровней жидкости в резервуарах  $H = 4 \text{ м}$ . Местные сопротивления принять равными 10 % от потерь по длине.

## **К. Гидравлический удар в трубопроводах**

### **Задача 1**

В стальном трубопроводе длиной  $l = 200$  м, диаметром  $d = 0,2$  м и толщиной стенок  $\delta = 5 \cdot 10^{-3}$  м расход воды составляет  $Q = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ . Температура воды  $15^\circ\text{C}$ . Определить наименьшее время закрывания задвижки  $t$ , при котором повышение давления в конце трубопровода, вызванное гидравлическим ударом, было бы не более  $\Delta P_{\max} = 4 \cdot 10^5$  Па. Чему будет равно повышение давления в случае мгновенного закрытия задвижки в трубопроводе?

### **Задача 2**

Из бака с постоянным уровнем жидкости  $H = 7$  м через трубу длиной  $l = 16$  м и диаметром  $d = 80$  мм вытекает вода. Коэффициент местного сопротивления задвижки  $\xi = 0,03$ . Толщина стенок  $\delta = 5$  мм. Сравнить величину повышения давления при мгновенном закрывании задвижки для стальной и чугунной труб.

### **Задача 3**

Стальной водовод от насосной станции до водонапорной башни имеет длину  $l = 1300$  м, диаметр  $d = 350$  мм, толщину стенок 5 мм. Напор воды перед водонапорной башней равен  $H = 80$  м, расход воды  $Q = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ . Определить время закрывания задвижки и напряжение в стенках трубопровода, чтобы максимальное повышение давления не превышало  $30 \cdot 10^4$  Па.

### **Задача 4**

Определить, какое время необходимо для закрытия затвора, чтобы повышение давления в трубопроводе было в два раза меньше, чем при мгновенном закрытии. Расход воды  $Q = 0,08 \text{ м}^3/\text{с}$  проходит по стальному трубопроводу диаметром  $d = 300$  мм и толщиной стенки 3 мм. Длина трубопровода от водонапорного бака до затвора  $l = 900$  м.

### **Задача 5**

Определить повышение давления в чугунном трубопроводе перед задвижкой после мгновенного автоматического отключения водонапорной башни при пожаре, рассчитать напряжение в стенках трубопровода и сравнить с допустимым. Начальное избыточное давление у задвижки  $P_m = 2 \cdot 10^5$  Па, расход воды  $Q = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ , диаметр трубопровода  $d = 200$  мм, толщина стенок

$\delta = 4$  мм.

Указание: Напряжение в стенках трубопровода рассчитывать по формуле  
 $\sigma = Pd / 2\delta$ , где  $P = \Delta P + P_m$ .

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беленков Ю. А. Гидравлика и гидропневмопривод : задачник : учеб. пособие для вузов / Ю. А. Беленков, А. В. Лепешкин, А. А. Михайлин ; под ред. Ю. А. Беленкова. – М. : Экзамен, 2009. – 288 с.
2. Кудинов В. А. Гидравлика : учеб. пособие для вузов / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов. – М. : Высш. шк., 2007. – 200 с.
3. Латиев Н. Н. Гидравлика : учеб. для вузов / Н. Н. Латиев. – М. : Academia, 2010. – 272 с.
4. Некрасов Б. Б. Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу : учеб. пособие для вузов / Б. Б. Некрасов, И. В. Фатеев ; под ред. Б. Б. Некрасова. – Минск : Высш. шк., 2007. – 192 с.
5. Сайридинов С. Ш. Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения : учеб. пособие для вузов / С. Ш. Сайридинов. – М. : ACB, 2008. – 352 с.
6. Сборник задач по гидравлике для технических вузов : учеб. пособие для вузов / под ред. И. И. Куклевского, Л. Г. Подвидза. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 488 с.
7. Ухин Б. В. Гидравлика : учеб. пособие для вузов / Б. В. Ухин. – М. : ИНФРА-М, 2009. – 464 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Значение коэффициента объемного сжатия воды

Температура, °C	$\beta_p \cdot 10^{10}$ , Па <sup>-1</sup> , при давлении, Па · 10 <sup>-4</sup>				
	50	100	200	390	780
0	5,40	5,37	5,31	5,23	5,15
5	5,29	5,23	5,18	5,08	4,93
10	5,23	5,18	5,08	4,98	4,81
15	5,18	5,10	5,03	4,88	4,70
20	5,15	5,05	4,95	4,81	4,60

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Значение коэффициента температурного расширения воды

Температура, °C	$\beta_t \cdot 10^{10}$ , K <sup>-1</sup> , при давлении, Па · 10 <sup>-5</sup>				
1–10	14	43	72	149	229
10–20	150	165	183	236	289

Окончание прил. 2

Температура, °C	$\beta_t \cdot 10^{10}$ , K <sup>-1</sup> , при давлении, Па · 10 <sup>-5</sup>				
40–50	422	422	426	429	437
60–70	556	548	539	523	514
90–100	719	704	-	661	631

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Плотность  $\rho$  и кинематический коэффициент вязкости  $v$  воды  
в зависимости от температуры

t, °C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$v \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	t, °C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$v \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с
4	1000,0	1,57	25	997,0	0,898
10	999,7	1,37	30	995,7	0,803
15	999,1	1,15	35	994,4	0,725
20	998,2	1,00	40	992,2	0,659

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Плотность некоторых жидкостей при различной температуре

Жидкость	Температура t, °C	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Масло минеральное	20	877–892
Бензин	15	680–740
Керосин	15	790–820
Нефть натуральная	15	700–900
Ртуть	0	13 596
Ртуть	20	13 546

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Среднее значение эквивалентной шероховатости  $k_3$  стенок труб из различных материалов

Вид труб	Состояние труб	$k_3$ , мм
Бесшовные стальные трубы	Новые и чистые, тщательно уложенные	0,014
	После нескольких лет эксплуатации	0,2

*Окончание прил. 5*

Вид труб	Состояние труб	$k_s$ , мм
Стальные сварные трубы	Новые и чистые	0,06
	С незначительной коррозией после очистки	0,15
	Умеренно заржавевшие	0,5
	Старые заржавевшие	1,0
Чугунные трубы	Новые асфальтированные	0,12
	Новые без покрытия	0,3
	Бывшие в употреблении	1,0
Бетонные трубы	Новые из предварительно напряженного бетона	0,03
	Бывшие в употреблении	0,5

**ПРИЛОЖЕНИЕ 7**

Значения коэффициентов местных сопротивлений некоторых видов  
и элементов трубопроводной арматуры

Тип сопротивления	$\zeta$	Тип сопротивления	$\zeta$
Вход в трубу	0,5	Вентиль (полное открытие)	3,00
Сетка на входе	5,0		
Обратный клапан на входе	4,5	Задвижка Лудло:	
Обратный клапан с сеткой на входе	10,0	полное открытие	0,15
Выход из трубы в резервуар больших размеров	1,0	открытие на 70 %	0,45
Колено с закруглением ( $\alpha = 90^\circ$ )	0,3	открытие на 50 %	2,00
Колено без закругления ( $\alpha = 90^\circ$ )	1,1	открытие на 25 %	20,00

**ПРИЛОЖЕНИЕ 8**

Величины скоростей, соответствующих границе квадратичной области  
сопротивления в трубах

Вид труб	Диаметр труб, м								
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1,0	1,4
Скорость, м/с, при превышении которой наступает квадратичная область									
Новые стальные	2,8	3,2	3,5	3,7	3,8	3,9	4,0	4,2	4,4
Новые чугунные	2,5	2,8	3,1	3,3	3,4	3,5	3,6	3,8	4,0
Нормальные	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3

**ПРИЛОЖЕНИЕ 9**

Значения поправки на неквадратичность  $\theta_i$

для расчета в переходной зоне гидравлического сопротивления

Вид труб	Значение коэффициента $\theta_1$ при скорости $V$ , м/с												
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0
Новые стальные	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99
Новые чугунные	0,81	0,84	0,86	0,87	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,98	0,99
Нормальные	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Значения расходных характеристик  $K_{KB}$  для труб в квадратичной зоне  
сопротивления

Диаметр, м	Новые стальные трубы		Новые чугунные трубы		Нормальные трубы	
	$K_{KB}$ , м <sup>3</sup> /с					
0,05	0,01010		0,009947		0,008313	
0,075	0,02970		0,02927		0,02477	
0,100	0,06373		0,06285		0,05361	
0,125	0,1151		0,1135		0,09739	
0,150	0,1863		0,1839		0,1584	
0,200	0,3980		0,3930		0,3408	
0,250	0,7163		0,7076		0,6164	
0,300	1,157		1,143		0,9993	
0,350	1,735		1,715		1,503	
0,400	2,463		2,435		2,140	
0,450	3,354		3,316		2,920	
0,500	4,423		4,374		3,857	
0,600	7,131		7,058		6,239	
0,700	10,674		10,560		9,362	
0,800	15,132		14,973		13,301	
0,900	20,587		20,373		18,129	
1,000	27,111		26,832		23,911	
1,000	34,769		34,416		30,709	
1,200	43,650		43,211		38,601	
1,300	53,769		53,232		47,604	
1,400	62,226		64,581		57,807	

Примечание. «Нормальными» условно называют металлические трубы после нескольких лет эксплуатации, когда инкрustация на стенках приводит к сглаживанию разницы шероховатости чугунных и стальных труб.

## **ГИДРАВЛИКА**

Методические указания и задания к выполнению контрольной работы  
для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавриата  
280700.62, 151900.62 заочной формы обучения

Александрова Лариса Николаевна

Главный редактор *Л. А. Суевалова*  
Редактор *Л. С. Бакаева*

Подписано в печать 00.00.12. Формат 60x84 1/16. Бумага писчая. Гарнитура «Таймс».  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 1,86. Тираж 250 экз. Заказ

Издательство Тихоокеанского государственного университета.  
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.  
Отдел оперативной полиграфии издательства Тихоокеанского государственного университета.  
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.