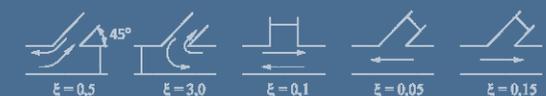
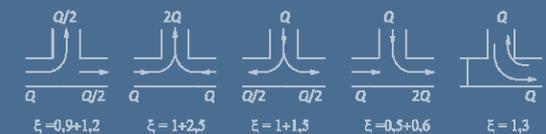
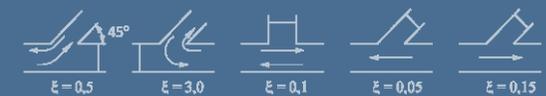
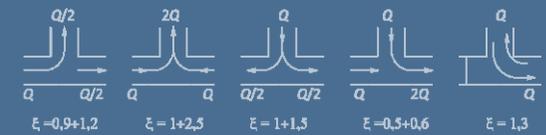


В.Г. ЧЕБАН
А.Н. ТУМИН
О.А. КОВАЛЕНКО

ГИДРОМЕХАНИКА

(ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА)



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

В. Г. Чебан, А. Н. Тумин, О. А. Коваленко

ГИДРОМЕХАНИКА
(теория и практика)

Учебное пособие

Рекомендовано Ученым советом ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ»

Алчевск
2022

УДК 532(075)

ББК Ж123

Г46

Чебан Виктор Григорьевич — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной гидромеханики имени З. Л. Финкельштейна ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ» (г. Алчевск);

Тумин Александр Николаевич — старший преподаватель кафедры прикладной гидромеханики имени З. Л. Финкельштейна ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ» (г. Алчевск);

Коваленко Ольга Александровна — кандидат технических наук, доцент кафедры охраны труда и промышленной безопасности ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ» (г. Алчевск).

Рецензенты:

Г. Г. Литвинский — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных геотехнологий ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ» (г. Алчевск);

Д. А. Семин — доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени В. Даля» (г. Луганск).

*Рекомендовано Ученым советом ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ»
(Протокол №9 от 27.05.2022)*

Гидромеханика (теория и практика) : учебное пособие /
Г46 В. Г. Чебан, А. Н. Тумин, О. А. Коваленко. — Алчевск : ГОУ ВО
ЛНР «ДонГТИ», 2022. — 187 с.

В учебном пособии в краткой форме изложены основные теоретические положения гидромеханики, используемые при решении разнообразных инженерных задач. Пособие содержит рекомендации, методики и примеры решения типовых задач, набор задач для самостоятельного решения.

Пособие предназначено для студентов технических специальностей высших учебных заведений, а также может быть полезным для аспирантов и научно-технических работников.

**УДК 532(075)
ББК Ж123**

© В. Г. Чебан, А. Н. Тумин,
О. А. Коваленко, 2022
© ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2022
© Н. В. Чернышева, художественное
оформление обложки, 2022

ВВЕДЕНИЕ

Гидромеханика — раздел механики, изучающий законы равновесия и движения несжимаемых жидкостей и их взаимодействие с твердыми телами, а также разрабатывающий способы и приемы приложения этих законов к решению практических и инженерных задач. Наибольшие затруднения у обучающихся связаны именно с решением данных задач. Именно эта практическая часть курса в наибольшей степени способствует развитию инженерного мышления, сознательному овладению курсом, выработке навыков применения теоретических знаний к решению конкретных инженерных задач.

Гидромеханику подразделяют на две части: *гидростатику* и *гидродинамику*. Первая изучает законы равновесия жидкостей, а вторая — законы их движения.

Гидромеханика дает методы расчета и проектирования разнообразных гидротехнических сооружений (плотин, каналов, водосливов, систем трубопроводов для подачи различных жидкостей), гидромашин (насосов, гидротурбин, гидропередатчиков), а также других устройств, применяемых во многих областях техники. Особенно огромное значение имеет применение гидромеханики в горном деле.

Основная часть учебного пособия отведена примерам решения типовых задач, причем их разбор проведен настолько подробно, чтобы обучающийся смог понять метод решения, практически не прибегая к помощи преподавателя. В приложениях к пособию приведены необходимые справочные материалы.

Учебное пособие разработано для методического обеспечения практических и самостоятельных занятий по дисциплине «Гидромеханика» для обучающихся по специальности 21.05.04 «Горное дело».

1 ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

Жидкость — физическое тело, обладающее текучестью, способностью изменять свою форму под действием сколь угодно малых сил. Основными характеристиками жидкостей являются плотность, сжимаемость, тепловое расширение и вязкость.

Плотность однородной жидкости — это отношение ее массы m (кг) к занимаемому объему V (м^3):

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1.1)$$

Единица измерения плотности в системе СИ — $\text{кг}/\text{м}^3$.

Значения плотности ρ для наиболее распространенных жидкостей приведены в *приложении А*.

Относительная плотность — безразмерная величина, характеризующая отношение плотности рассматриваемой жидкости к плотности воды, взятой при температуре 4°C :

$$\delta = \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{в}}}, \quad (1.2)$$

Сжимаемость — это свойство жидкости изменять свой объем под действием давления. Она учитывается коэффициентом объемного сжатия β_p , представляющим собой относительное изменение объема жидкости, приходящееся на единицу изменения давления:

$$\beta_p = -\frac{\Delta V}{V_o} \cdot \frac{1}{\Delta p}, \quad (1.3)$$

где ΔV — уменьшение объема при увеличении давления на Δp ;

V_o — первоначальный объем жидкости.

Единица измерения коэффициента объемного сжатия в системе СИ — Па^{-1} .

Коэффициент объемного сжатия β_p связан с объемным модулем упругости E (Па) соотношением

$$\beta_p = \frac{1}{E}. \quad (1.4)$$

Значения коэффициента объемного сжатия β_p для наиболее распространенных жидкостей приведены в *приложении А*.

Тепловое расширение жидкости характеризуется температурным коэффициентом объемного расширения, представляющим собой относительное изменение объема жидкости при изменении ее температуры на 1°C :

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V_o} \cdot \frac{1}{\Delta t}, \quad (1.5)$$

где Δt — изменение температуры жидкости.

Единица измерения температурного коэффициента объемного расширения в системе СИ — $^\circ\text{C}^{-1}$.

Значения коэффициента объемного расширения β_t для наиболее распространенных жидкостей приведены в *приложении А*.

Учитывая, что плотность жидкости определяется объемом, который она занимает, влияние температуры на эту характеристику может быть найдено из выражения

$$\rho_1 = \frac{\rho_o}{(1 + \beta_t \cdot \Delta t)}, \quad (1.6)$$

где ρ_o — начальная плотность жидкости;

ρ_1 — плотность жидкости после изменения температуры на величину Δt .

При изменении давления на величину Δp приближенное значение плотности можно вычислить по формуле

$$\rho_1 = \frac{\rho_o}{(1 - \beta_p \cdot \Delta p)}, \quad (1.7)$$

где ρ_o — начальная плотность жидкости;

ρ_1 — плотность жидкости после изменения давления на величину Δp .

Вязкость — это свойство жидкости оказывать сопротивление скольжению одного ее слоя относительно другого. Это свойство проявляется в том, что в жидкости при определенных условиях возникают касательные напряжения.

Касательные напряжения τ в жидкости зависят от ее рода и характера течения, а при слоистом течении изменяются прямо пропорционально поперечному градиенту скорости:

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy}, \quad (1.8)$$

где μ — коэффициент динамической вязкости;

dv — приращение скорости, соответствующее приращению координаты dy (см. рис. 1.1).

В системе СИ коэффициент динамической вязкости измеряется в паскаль-секундах ($\text{Па}\cdot\text{с}$).

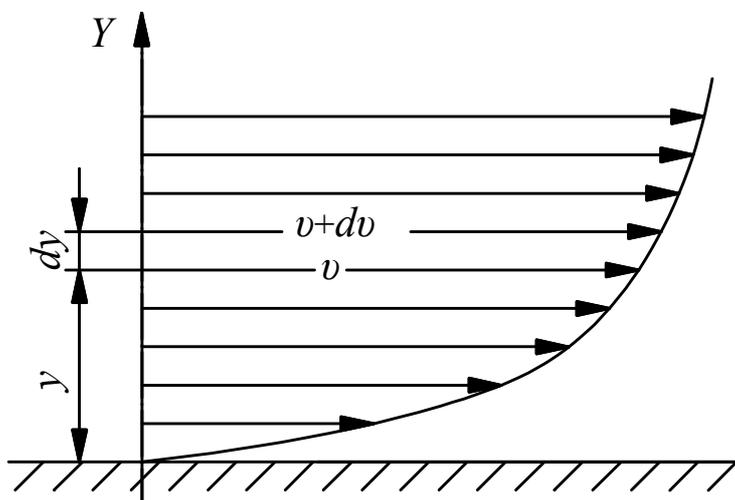


Рисунок 1.1 — Схема распределения скорости в потоке жидкости

Наряду с динамической вязкостью вводится понятие кинематической вязкости:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (1.9)$$

В системе СИ коэффициент кинематической вязкости ν измеряется в $\text{м}^2/\text{с}$ или в $\text{мм}^2/\text{с}$.

Значения коэффициента кинематической вязкости для наиболее распространенных жидкостей приведены в *приложении А*.

Примеры решения задач

Пример 1

Определить повышение давления, при котором начальный объем воды уменьшится на 1%.

Решение. Из формулы (1.3) находим

$$\Delta p = \frac{\Delta V}{V_o} \cdot \frac{1}{\beta_p},$$

где $\frac{\Delta V}{V_o} = 0,01$ — относительное уменьшение объема воды по условию задачи;

$\beta_p = 4,9 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$ — коэффициент объемного сжатия воды.

Следовательно, искомое повышение давления

$$\Delta p = \frac{0,01}{4,9 \cdot 10^{-10}} = 2,04 \cdot 10^7 \text{ Па}.$$

Пример 2

Высота цилиндрического вертикального резервуара равна $H = 10 \text{ м}$, а его диаметр $D = 3 \text{ м}$. Определить массу мазута ($\rho_o = 920 \text{ кг/м}^3$), которую можно налить в резервуар при температуре 15°C , если его температура может подняться до 40°C . Расширением стенок резервуара пренебечь, температурный коэффициент объемного расширения жидкости $\beta_t = 0,0008 \text{ C}^{-1}$.

Решение. При повышении температуры жидкость расширяется и ее объем увеличивается. Пусть V_o и H_o — объем и высота столба мазута при температуре 15°C , а V и H — то же самое, но при температуре 40°C , причем H не может быть больше высоты резервуара. В соответствии с формулой (1.5) имеем

$$\beta_t = \frac{V - V_o}{V_o} \cdot \frac{1}{\Delta t} = \frac{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_o}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_o} \cdot \frac{1}{\Delta t} = \frac{H - H_o}{H_o} \cdot \frac{1}{\Delta t},$$

откуда, принимая $H = 10$ м и $\Delta t = 40 - 15 = 25^\circ\text{C}$, получаем

$$H_o = \frac{H}{1 + \beta_t \cdot \Delta t} = \frac{10}{1 + 0,0008 \cdot 25} = 9,8 \text{ м.}$$

Масса мазута, которую можно залить в резервуар,

$$m = \rho_o \cdot V_o = \rho_o \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_o = 920 \cdot \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} \cdot 9,8 = 63700 \text{ кг.}$$

2 ГИДРОСТАТИКА

2.1 Гидростатическое давление

Гидростатика — это раздел гидромеханики, в котором изучаются законы равновесия жидкости и применение этих законов для решения практических задач.

Гидростатическим давлением в точке называется напряжение сжатия в ней, равное

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta S},$$

где ΔS — элементарная площадка, содержащая данную точку;

ΔP — нормальная сжимающая сила, действующая на эту площадку.

Гидростатическое давление направлено по нормали к площадке, в данной точке по всем направлениям одинаково, и зависит от положения точки в покоящейся жидкости.

Единицей измерения давления в системе СИ является паскаль ($Па$):

$$1 Па = 1 Н/м^2 = 10^{-3} кПа = 10^{-6} МПа.$$

Равновесие жидкости описывается дифференциальными уравнениями Эйлера, в результате преобразования которых может быть получено основное уравнение равновесия в дифференциальной форме:

$$dp = \rho \cdot (\bar{X} \cdot dx + \bar{Y} \cdot dy + \bar{Z} \cdot dz), \quad (2.1)$$

где dp — полный дифференциал давления;

\bar{X} , \bar{Y} , \bar{Z} — проекции ускорения массовых сил на соответствующие координатные оси;

dx , dy , dz — приращения координат.

Если на жидкость действует только сила тяжести и ось направлена вертикально вверх, то $\bar{X} = 0$, $\bar{Y} = 0$, $\bar{Z} = -g$, а после интегрирования уравнения (2.1) получаем основное уравнение гидростатики:

$$\frac{p}{\rho \cdot g} + z = const, \quad (2.2)$$

где p — давление в точке, расположенной на высоте z от горизонтальной плоскости сравнения $0-0$ (см. рис. 2.1).

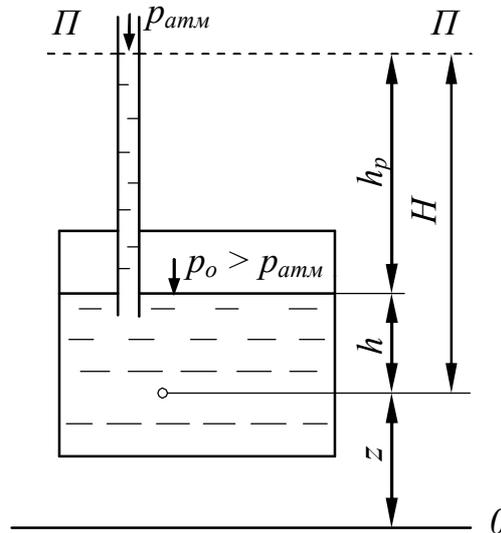


Рисунок 2.1 — Схема к определению давления в точке

Полное (абсолютное) гидростатическое давление в любой точке покоящейся жидкости

$$p = p_o + \rho \cdot g \cdot h, \quad (2.3)$$

где p_o — давление на свободной поверхности жидкости;

$\rho \cdot g \cdot h$ — давление, создаваемое столбом жидкости высотой h ;

где h — глубина погружения точки.

Поверхности уровня (поверхности равного давления) в рассматриваемом случае представляют собой горизонтальные плоскости. Действительно, из уравнения (2.1) при $p = const$, $dp = 0$; $\bar{X} = 0$, $\bar{Y} = 0$, $\bar{Z} = -g$ получаем

$$z = const. \quad (2.4)$$

Избыточным или манометрическим давлением называется разность между абсолютным и атмосферным давлением $p_{атм}$ (см. рис. 2.2):

$$p_{ман} = p_{абс.с} - p_{атм}. \quad (2.5)$$

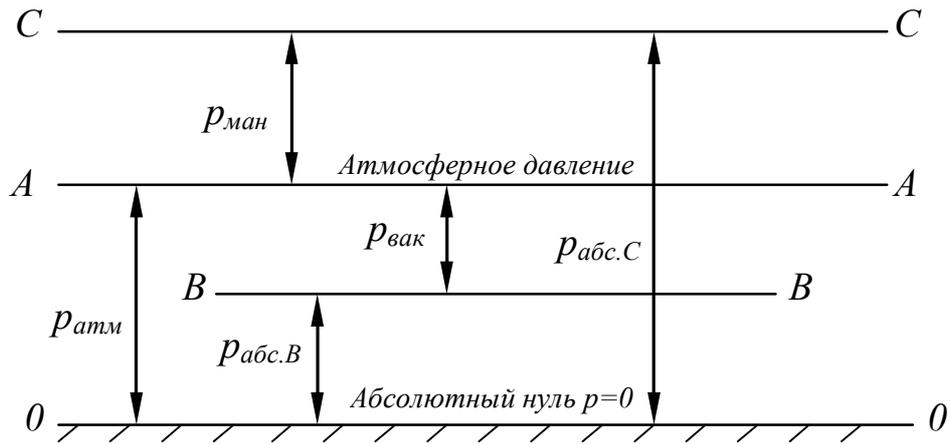


Рисунок 2.2 — Виды давления

Вакуум — это недостаток давления до атмосферного

$$p_{\text{вак}} = p_{\text{атм}} - p_{\text{абс.В}} \quad (2.6)$$

Величины

$$h_p = \frac{p_{\text{ман}}}{\rho \cdot g} = \frac{p_{\text{абс.С}} - p_{\text{атм}}}{\rho \cdot g}, \quad (2.7)$$

$$h_{\text{вак}} = \frac{p_{\text{вак}}}{\rho \cdot g} = \frac{p_{\text{атм}} - p_{\text{абс.В}}}{\rho \cdot g}. \quad (2.8)$$

называются соответственно пьезометрической и вакуумметрической высотами.

Плоскость $II-II$ (см. рис. 2.1), во всех точках которой давление равно атмосферному, называется пьезометрической плоскостью. Если сосуд открыт, то пьезометрическая плоскость совпадает со свободной поверхностью жидкости. Для закрытого сосуда пьезометрическая плоскость может располагаться как выше свободной поверхности жидкости (при $p_o > p_{\text{атм}}$), так и ниже ее (при $p_o < p_{\text{атм}}$).

Избыточное (манометрическое) давление в произвольной точке жидкости

$$p_{\text{ман}} = \rho \cdot g \cdot H,$$

где H — глубина погружения точки относительно пьезометрической плоскости.

2.2. Сила гидростатического давления на плоские стенки и криволинейные поверхности

Избыточная сила гидростатического давления на плоскую стенку равна давлению в центре тяжести стенки, умноженному на ее площадь,

$$P = (p_0 + \rho \cdot g \cdot h'_c) \cdot S, \quad (2.9)$$

где h'_c — глубина погружения центра тяжести стенки относительно свободной поверхности (см. рис. 2.3);

S — площадь стенки;

p_0 — избыточное давление на свободной поверхности жидкости.

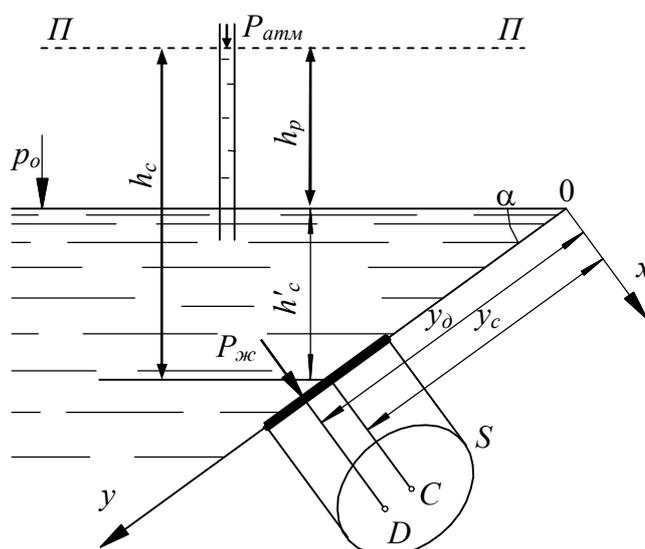


Рисунок 2.3 — Схема к определению силы давления на плоскую стенку

Формулу (2.9) можно переписать в виде

$$P = P_o + P_{ж}, \quad (2.10)$$

где $P_o = p_o \cdot S$ — сила, обусловленная внешним давлением;

$P_{ж} = \rho \cdot g \cdot h'_c \cdot S$ — сила, обусловленная только давлением столба жидкости.

Сила P_o приложена в центре тяжести стенки, а сила $P_{ж}$ — в центре давления, координата которого определяется по формуле

$$y_d = y_c + \frac{J_0}{S \cdot y_c}, \quad (2.11)$$

где y_c — координата центра тяжести;

J_0 — момент инерции плоской фигуры относительно центральной оси.

Моменты инерции некоторых плоских фигур приведены в *приложении Е*.

Избыточная сила давления на плоскую стенку

$$P = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S, \quad (2.12)$$

где h_c — расстояние от центра тяжести стенки до пьезометрической плоскости $\Pi-\Pi$.

Сила гидростатического давления на криволинейную поверхность

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}, \quad (2.13)$$

где P_x, P_y, P_z — составляющие силы давления P по соответствующим координатным осям.

Для цилиндрической криволинейной поверхности (см. рис. 2.4)

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2},$$

где P_x и P_z — горизонтальная и вертикальная составляющие силы давления P .

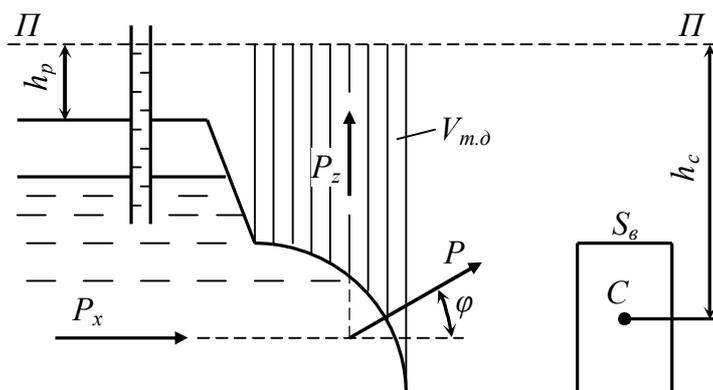


Рисунок 2.4 — Схема к определению силы давления на криволинейную поверхность

Горизонтальная составляющая силы давления

$$P_x = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S_g, \quad (2.14)$$

где h_c — расстояние от центра тяжести вертикальной проекции до пьезометрической плоскости;

S_g — площадь проекции криволинейной поверхности на вертикальную плоскость.

Вертикальная составляющая

$$P_z = \rho \cdot g \cdot V_{m.o}, \quad (2.15)$$

где $V_{m.o}$ — объем тела давления — вертикального столба жидкости, расположенного между пьезометрической плоскостью, криволинейной поверхностью и вертикальной проецирующей поверхностью, проходящей по контуру стенки.

Вектор полной силы давления на цилиндрическую поверхность проходит через ось цилиндра под углом φ к горизонту, причем

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_z}{P_x}, \quad (2.16)$$

2.3 Закон Архимеда. Плавание тел

По закону Архимеда на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая (архимедова) сила, направленная вертикально вверх

$$P_A = \rho \cdot g \cdot V_m, \quad (2.17)$$

где V_m — объем части тела, погруженной в жидкость.

Центр тяжести D вытесненного объема жидкости является центром водоизмещения (см. рис. 2.5). При наклоне (крене) плавающего тела центр водоизмещения изменяет свое местоположение.

Линия, проходящая через центр тяжести тела C и центр водоизмещения D в положении равновесия перпендикулярно к свободной поверхности жидкости (плоскости плавания), является осью плавания. В положении равновесия ось плавания вертикальна, при крене — наклонена.

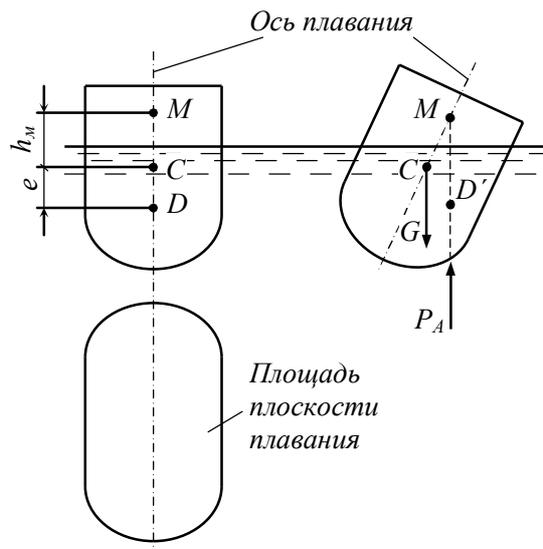


Рисунок 2.5 — Плавание тел

Точка пересечения M линии действия выталкивающей силы при наклонном положении с осью плавания называется метацентром. Расстояние h_m между центром тяжести тела C и метацентром M называется метацентрической высотой. Чем больше h_m , тем больше остойчивость тела (способность сопротивляться кренящему действию внешних сил и возвращаться в вертикальное положение после прекращения этого действия), так как момент пары сил $P - G$, стремящейся восстановить равновесие, прямо пропорционален метацентрической высоте.

Величина метацентрической высоты

$$h_m = \frac{J}{V_m} - e, \quad (2.18)$$

где J — наименьший момент инерции площади плоскости плавания;

e — расстояние между центрами тяжести и водоизмещения.

Если метацентр лежит ниже центра тяжести тела, т. е. метацентрическая высота отрицательна, то тело остойчивостью не обладает.

2.4 Относительный покой жидкости

2.4.1. При движении резервуара в горизонтальном направлении с постоянным ускорением (см. рис. 2.6) на жидкость, находящуюся в нем,

действует сила тяжести и сила инерции. Свободная поверхность представляет собой наклонную плоскость, уравнение которой имеет вид

$$a \cdot x + g \cdot z = C, \quad (2.19)$$

где C — постоянная величина;

a — ускорение резервуара.

Гидростатическое давление в любой точке жидкости

$$p = p_o + \rho \cdot g \cdot h, \quad (2.20)$$

где h — расстояние по вертикали от точки до свободной поверхности.

Пьезометрическая плоскость $\Pi - \Pi$ — поверхность уровня, во всех точках которой давление равно атмосферному, проходит параллельно свободной поверхности на высоте

$$h_p = \frac{p_o - p_{атм}}{\rho \cdot g},$$

если давление на свободной поверхности $p_o > p_{атм}$ (см. рис. 2.6), или на глубине

$$h_{вак} = \frac{p_{атм} - p_o}{\rho \cdot g},$$

под свободной поверхностью жидкости, если $p_o < p_{атм}$.

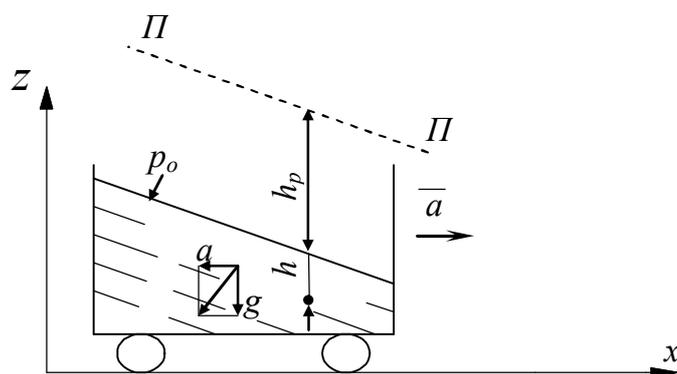


Рисунок 2.6 — Относительный покой жидкости, находящейся в резервуаре, движущемся в горизонтальном направлении с постоянным ускорением

Сила давления на переднюю (заднюю) плоскую стенку резервуара

$$P = (p_o + \rho \cdot g \cdot h'_c) \cdot S = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S, \quad (2.21)$$

где h'_c и h_c — расстояния по вертикали от центра тяжести стенки до свободной поверхности жидкости и до пьезометрической плоскости соответственно.

Сила давления на криволинейную поверхность (см. рис. 2.7) может быть найдена из условия динамического равновесия объема жидкости V , заключенного между криволинейной поверхностью и плоскостью, проведенной через граничный контур поверхности (на рисунке 2.7 этот объем заштрихован):

$$\bar{P} = \bar{P}_1 + \bar{F} + \bar{G}, \quad (2.22)$$

где P_1 — сила давления на плоское сечение AB , определяемая по формуле (2.21);

$F = \rho \cdot a \cdot V$ — сила инерции, действующая на заштрихованный объем жидкости;

$G = \rho \cdot g \cdot V$ — вес этого объема жидкости.

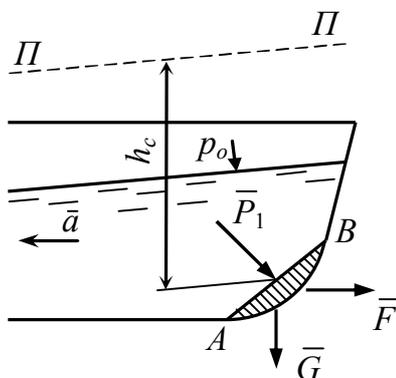


Рисунок 2.7 — Схема к определению силы давления жидкости на криволинейную поверхность АВ

2.4.2. При вращении резервуара вокруг вертикальной оси z (см. рис. 2.8) на любую частицу M жидкости кроме силы тяжести действует также центробежная сила инерции

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot r, \quad (2.23)$$

которую можно разложить на две составляющие

$$F_x = m \cdot \omega^2 \cdot x; \quad F_y = m \cdot \omega^2 \cdot y, \quad (2.24)$$

где m — масса частицы M ;

ω — угловая скорость;

r — расстояние от частицы M до оси вращения;

x и y — проекции вектора r на координатные оси, причем

$$x^2 + y^2 = r^2.$$

Следовательно, проекции ускорения массовых сил на координатные оси в рассматриваемом случае равновесия жидкости равны

$$\bar{X} = \omega^2 \cdot x; \quad \bar{Y} = \omega^2 \cdot y; \quad \bar{Z} = -g.$$

Подставив эти значения \bar{X} , \bar{Y} , и \bar{Z} в дифференциальное уравнение равновесия (2.1) и выполнив интегрирование, получим

$$p = p_o + \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot r^2 - \rho \cdot g \cdot (z - z_o), \quad (2.25)$$

где p_o — давление на свободной поверхности;

z_o — координата вершины параболоида вращения.

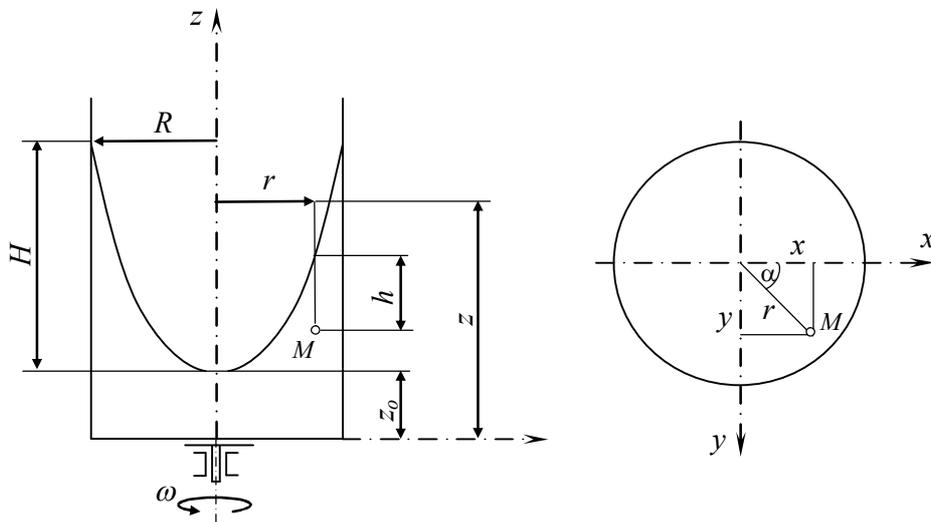


Рисунок 2.8 — Относительный покой жидкости, находящейся в резервуаре, вращающемся с постоянной угловой скоростью

В произвольной точке, расположенной на глубине h под поверхностью жидкости, давление

$$p = p_o + \rho \cdot g \cdot h. \quad (2.26)$$

Поверхности уровня представляют собой параболоиды вращения. Уравнение свободной поверхности жидкости имеет вид

$$z = z_o + \frac{\omega^2 \cdot r^2}{2 \cdot g}. \quad (2.27)$$

Пьезометрическая поверхность при $p_o = p_{атм}$ совпадает со свободной поверхностью жидкости. Если свободная поверхность отсутствует (закрытый резервуар полностью заполнен жидкостью под давлением), то пьезометрическая поверхность проходит через точку жидкости, в которой давление равно атмосферному (например, через уровень в открытом пьезометре, где $p_o = p_{атм}$).

Если R — радиус резервуара, а ω — угловая скорость, то высота параболоида вращения

$$H = \frac{\omega^2 \cdot R^2}{2 \cdot g}. \quad (2.28)$$

Объем параболоида вращения

$$V_n = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H. \quad (2.29)$$

2.5 Указания к решению задач

При решении задач по гидростатике прежде всего необходимо хорошо усвоить и не смешивать такие понятия, как давление p и сила давления P .

При решении задач на определение давления в той или иной точке неподвижной жидкости следует пользоваться основным уравнением гидростатики (2.3). Применяя это уравнение, нужно иметь в виду, что второй член в правой части этого уравнения может быть как положительным, так и отрицательным. Очевидно, что при увеличении глубины давление возрастает, а при подъеме — уменьшается.

Необходимо твердо различать виды давления (абсолютное, избыточное и вакуум) и обязательно знать связь между давлением и высотой, соответствующей этому давлению (пьезометрической высотой).

При решении задач, в которых даны поршни или системы поршней, следует записать уравнение равновесия, т. е. равенство нулю суммы всех сил, действующих на поршень (систему поршней).

В задачах на относительный покой жидкости в общем случае следует учитывать действие двух массовых сил (силы тяжести и силы инерции переносного движения) и использовать основное свойство поверхностей уровня, в том числе свободной поверхности жидкости. Положение свободной поверхности в резервуаре при заданной угловой скорости вращения определяется объемом находящейся в нем жидкости.

Примеры решения задач

Пример 1

Определить плотность жидкости, налитой в правое колено сообщающихся сосудов, если в левом колене — вода. Уровни жидкостей равны $H_1 = 240$ мм и $H_2 = 300$ мм.

Решение. Проведем по границе раздела жидкостей (см. рис. 2.9) горизонтальную плоскость $\theta-\theta$. Так как в покоящейся однородной жидкости любая горизонтальная плоскость является плоскостью равного давления, то абсолютные давления в точках 1 и 2 равны:

$$p_1 = p_2.$$

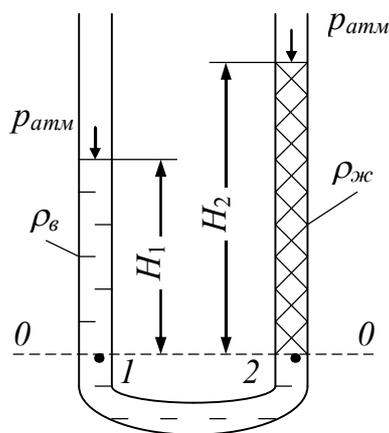


Рисунок 2.9 — Схема расчетная к примеру 1

В соответствии с основным уравнением гидростатики

$$p_1 = p_{атм} + \rho_в \cdot g \cdot H_1;$$

$$p_2 = p_{атм} + \rho_{жс} \cdot g \cdot H_2.$$

Следовательно

$$p_{атм} + \rho_в \cdot g \cdot H_1 = p_{атм} + \rho_{жс} \cdot g \cdot H_2,$$

откуда

$$\rho_{жс} = \rho_в \cdot \frac{H_1}{H_2} = 1000 \cdot \frac{0,24}{0,30} = 800 \text{ кг/м}^3.$$

Пример 2

Определить показание манометра p_m (в паскалях), установленного в верхней точке резервуара (см. рис. 2.10), если высота столба масла в U-образной трубке равна $H = 1,2 \text{ м}$, плотность масла $\rho_m = 880 \text{ кг/м}^3$, высота $h = 200 \text{ мм}$.

Решение. Проведем плоскость равного давления $0-0$ через границу раздела масла и воды.

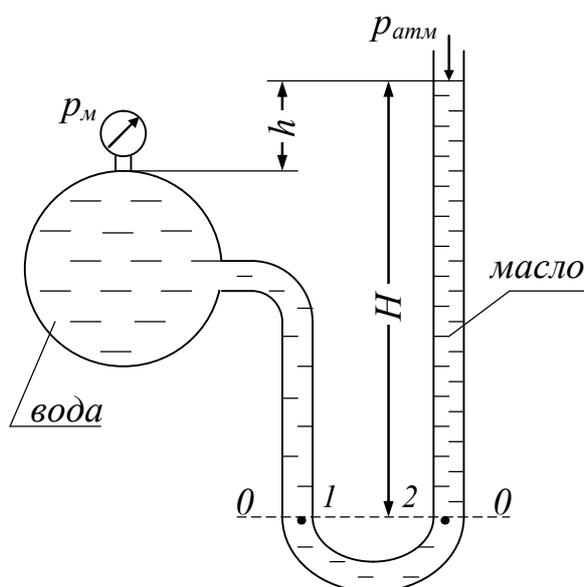


Рисунок 2.10 — Схема расчетная к примеру 2

На свободную поверхность масла действует атмосферное давление $p_{атм}$.

Абсолютные давления в точках 1 и 2 одинаковы, так как они принадлежат одной плоскости равного давления, т. е.

$$p_1 = p_2.$$

Применим основное уравнение гидростатики. Абсолютное давление в точке 1

$$p_1 = p_{атм} + \rho_m \cdot g \cdot H.$$

Абсолютное давление в точке 2

$$p_2 = p_{атм} + p_m + \rho_v \cdot g \cdot (H - h),$$

где p_m — показание манометра.

Следовательно

$$p_{атм} + \rho_m \cdot g \cdot H = p_{атм} + p_m + \rho_v \cdot g \cdot (H - h).$$

Откуда

$$\begin{aligned} p_m &= \rho_m \cdot g \cdot H - \rho_v \cdot g \cdot (H - h) \\ &= 880 \cdot 9,81 \cdot 1,2 - 1000 \cdot 9,81 \cdot (1,2 - 0,2) = 549 \text{ Па}. \end{aligned}$$

Пример 3

Определить показание вакуумметра $h_{вак}$ (в мм рт. ст.), установленного на маслобаке (см. рис. 2.11), если плотность масла $\rho_m = 850 \text{ кг/м}^3$, высоты $H = 1,5 \text{ м}$ и $h = 200 \text{ мм}$.

Решение. Обозначим на рисунке характерные точки. В данном случае, это точки 1, 2, 3, 4 и 5.

Точки 1 и 2 лежат в горизонтальной плоскости $\theta'-\theta'$, которая является плоскостью равного давления, поэтому давления в них будут одинаковыми, при этом давление в точке 1 равно атмосферному давлению, так как нижний резервуар открыт в атмосферу. Поэтому

$$p_1 = p_2 = p_{атм}.$$

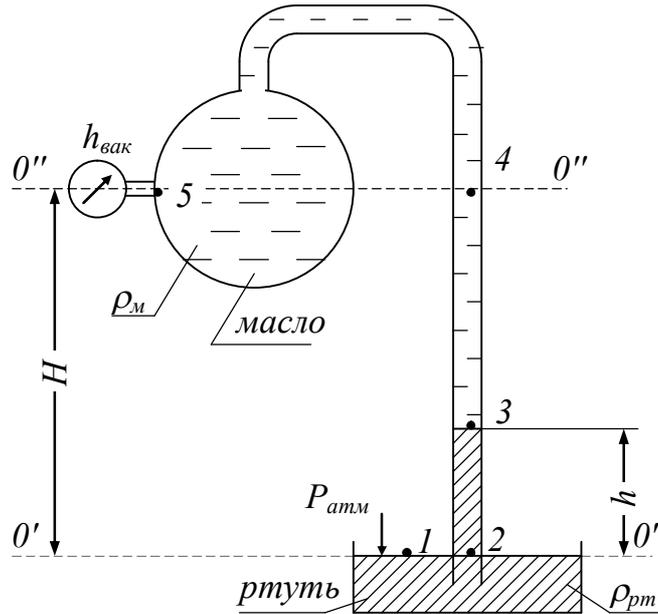


Рисунок 2.11 — Схема расчетная к примеру 3

Точка 3 лежит на границе раздела двух сред — масла и ртути. В соответствии с основным уравнением гидростатики

$$p_3 = p_2 - \rho_{рт} \cdot g \cdot h = p_{атм} - \rho_{рт} \cdot g \cdot h.$$

Точки 4 и 5 лежат в горизонтальной плоскости 0''-0'', проведенной через место установки вакуумметра. Она также является плоскостью равного давления, поэтому

$$p_4 = p_5.$$

Исходя из давления в точке 3, определим абсолютное давление в точке 5, — месте, в котором установлен вакуумметр:

$$p_5 = p_4 = p_3 - \rho_m \cdot g \cdot (H - h) = p_{атм} - \rho_{рт} \cdot g \cdot h - \rho_m \cdot g \cdot (H - h).$$

Вакуумметрическое давление в точке 5

$$\begin{aligned} p_{вак} &= p_{атм} - p_5 = p_{атм} - [p_{атм} - \rho_{рт} \cdot g \cdot h - \rho_m \cdot g \cdot (H - h)] = \\ &= \rho_{рт} \cdot g \cdot h + \rho_m \cdot g \cdot (H - h) = \\ &= 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,2 + 850 \cdot 9,81 \cdot (1,5 - 0,2) = 37523 \text{ Па}. \end{aligned}$$

Показание вакуумметра, выраженное в миллиметрах ртутного столба, получим, используя формулу

$$h_{\text{вак}} = \frac{p_{\text{вак}}}{\rho_{\text{рт}} \cdot g} = \frac{37523}{13600 \cdot 9,81} = 0,281 \text{ м рт. ст.} = 281 \text{ мм рт. ст.}$$

Пример 4

Определить избыточное давление воды ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) в закрытом резервуаре, если показания батарейного двухжидкостного манометра (вода–ртуть) равны $h_1 = 800 \text{ мм}$, $h_2 = 100 \text{ мм}$, $h_3 = 600 \text{ мм}$, $h_4 = 200 \text{ мм}$, $h_5 = 1400 \text{ мм}$ (см. рис. 2.12).

Решение. Находим последовательно избыточные давления в точках B , C , D , E , F , G и K , принимая во внимание тот факт, что во всех точках горизонтальной плоскости, проведенной в однородной жидкости, гидростатические давления одинаковы:

$$p_C = p_B = \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot (h_5 - h_4);$$

$$p_E = p_D = p_C - \rho \cdot g \cdot (h_3 - h_4) = \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot (h_5 - h_4) - \rho \cdot g \cdot (h_3 - h_4);$$

$$\begin{aligned} p_G = p_F &= p_E + \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot (h_3 - h_2) = \\ &= \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot (h_5 - h_4) - \rho \cdot g \cdot (h_3 - h_4) + \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot (h_3 - h_2). \end{aligned}$$

Избыточное давление в резервуаре

$$\begin{aligned} p_K &= p_G - \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot (h_5 - h_4) - \\ &- \rho \cdot g \cdot (h_3 - h_4) + \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot (h_3 - h_2) - \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = \\ &= \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot (h_5 - h_4 + h_3 - h_2) - \rho \cdot g \cdot (h_3 - h_4 + h_1 - h_2) = \\ &= 13600 \cdot 9,81 \cdot (1,4 - 0,2 + 0,6 - 0,1) - \\ &- 1000 \cdot 9,81 \cdot (0,6 - 0,2 + 0,8 - 0,1) = 219000 \text{ Па.} \end{aligned}$$

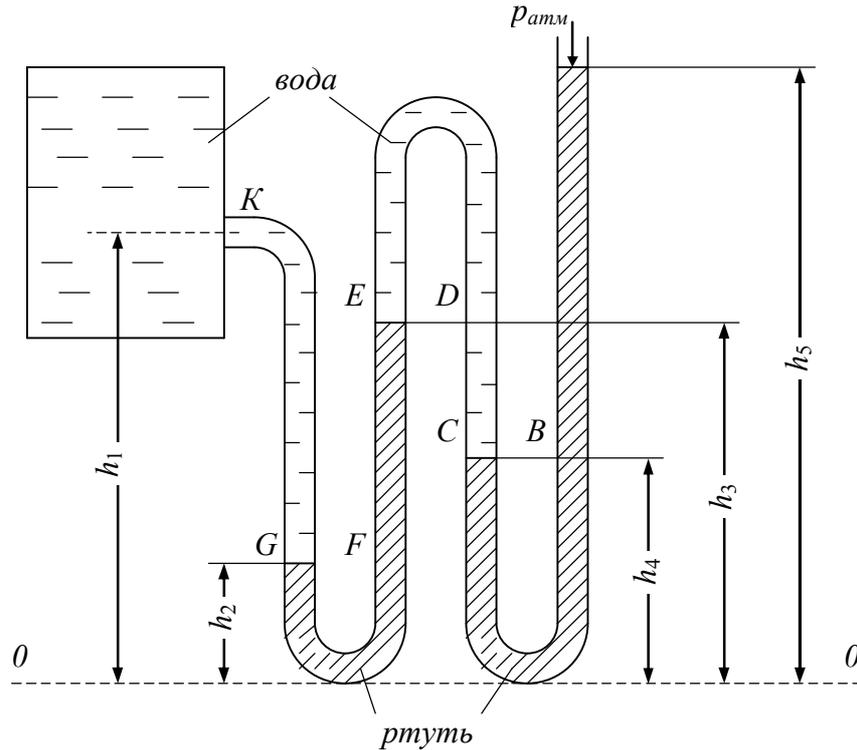


Рисунок 2.12 — Схема расчетная к примеру 4

Пример 5

Определить усилие F (кН), сжимающее испытуемый образец в гидравлическом прессе (см. рис. 2.13), если к рукоятке рычага приложено усилие $P = 200$ Н. Плечи рычага $a = 500$ мм, $b = 450$ мм. Диаметры поршней равны $D = 480$ мм, $d = 40$ мм.

Решение. В соответствии с правилом рычага усилие, сообщаемое малому поршню, может быть найдено из выражения

$$P_1 = P \cdot \frac{a}{a - b} = 200 \cdot \frac{0,5}{0,5 - 0,45} = 2000 \text{ Н.}$$

Давление жидкости в малом цилиндре

$$p = \frac{4 \cdot P_1}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 2000}{3,14 \cdot 0,04^2} = 1,59 \times 10^6 \text{ Па.}$$

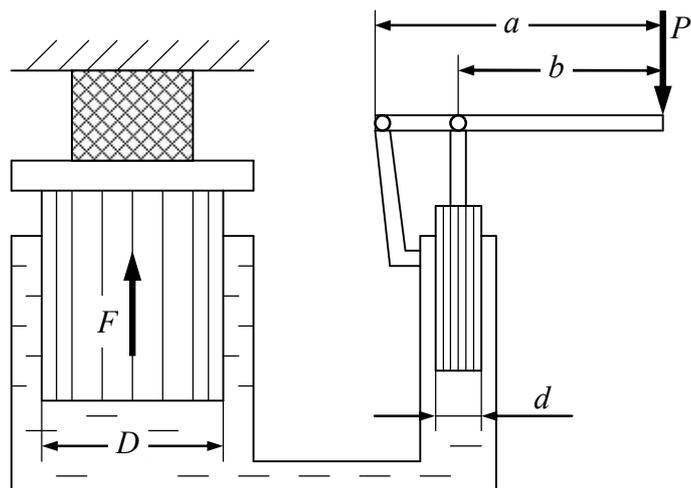


Рисунок 2.13 — Схема расчетная к примеру 5

В соответствии с законом Паскаля, это давление передается одинаково во все стороны, в том числе и к большому поршню. Следовательно, пренебрегая трением поршня, сжимающее усилие гидравлического пресса равно

$$F = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 1,59 \times 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,48^2}{4} = 288 \times 10^3 \text{ Н} = 288 \text{ кН}.$$

Пример 6

Определить давление масла p_1 , подаваемого в поршневую полость гидроцилиндра (см. рис. 2.14), если избыточное давление в штоковой полости $p_2 = 80 \text{ кПа}$, усилие на штоке $R = 10 \text{ кН}$, сила трения поршня о цилиндр $F = 0,4 \text{ кН}$, диаметр поршня $D = 125 \text{ мм}$, диаметр штока $d = 70 \text{ мм}$.

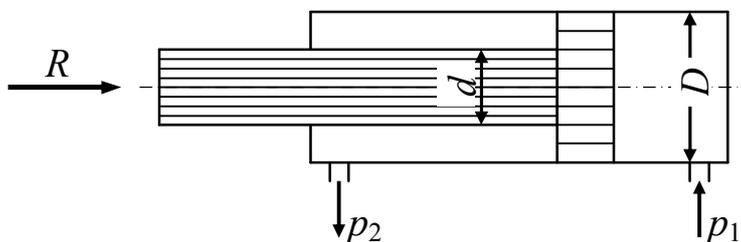


Рисунок 2.14 — Схема расчетная к примеру 6

Решение. Искомое давление p_1 находится из условия равновесия сил, действующих на поршень. Кроме силы R , на поршень действуют

силы давления $P_1 = p_1 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ и $P_2 = p_2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$, а также сила трения F , направленная против направления движения поршня:

$$R + P_2 + F - P_1 = 0$$

или можно записать в общем виде

$$R + p_2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) + F - p_1 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0.$$

Отсюда

$$p_1 = \frac{4 \cdot R}{\pi \cdot D^2} + p_2 \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right] + \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2} =$$

$$= \frac{4 \cdot 10000}{3,14 \cdot 0,125^2} + 80 \times 10^3 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,07}{0,125} \right)^2 \right] + \frac{4 \cdot 400}{3,14 \cdot 0,125^2} = 9,03 \times 10^5 \text{ Па.}$$

Пример 7

Определить величину и точку приложения силы давления воды на плоский щит шириной $B = 2 \text{ м}$, высотой $h = 3 \text{ м}$, если уровень воды перед щитом $H = 8 \text{ м}$ (см. рис. 2.15).

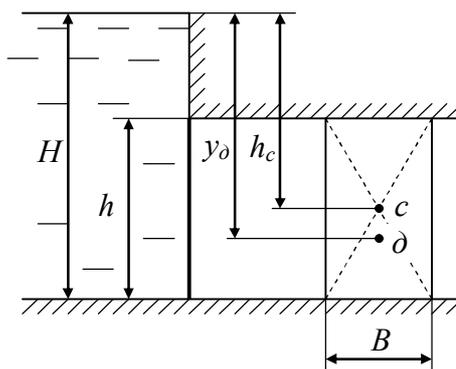


Рисунок 2.15 — Схема расчетная к примеру 7

Решение. Сила гидростатического давления воды на щит

$$P = \rho_g \cdot g \cdot h_c \cdot S = 1000 \cdot 9,81 \cdot 6,5 \cdot 6 = 382590 \text{ Н,}$$

где $\rho_g = 1000 \text{ кг/м}^3$ — плотность воды;

h_c — расстояние по вертикали от свободной поверхности до центра тяжести щита;

$$h_c = H - \frac{h}{2} = 8 - \frac{3}{2} = 6,5 \text{ м},$$

S — площадь поверхности щита;

$$S = B \cdot h = 2 \cdot 3 = 6 \text{ м}^2.$$

Определим точку приложения этой силы (расположение центра давления):

$$y_d = y_c + \frac{J_0}{S \cdot y_c} = h_c + \frac{J_0}{S \cdot h_c} = 6,5 + \frac{4,5}{6 \cdot 6,5} = 6,615 \text{ м},$$

где J_0 — момент инерции щита относительно центральной оси.

$$J_0 = \frac{B \cdot h^3}{12} = \frac{2 \cdot 3^3}{12} = 4,5 \text{ м}^4.$$

Пример 8

Определить величину и точку приложения силы давления на крышку, перекрывающую круглое отверстие диаметром $d = 500 \text{ мм}$ в вертикальной перегородке закрытого резервуара, если левый отсек резервуара заполнен нефтью ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$), а правый — воздухом. Избыточное давление на поверхности жидкости $p_{ман} = 15 \text{ кПа}$, показание ртутного мановакуумметра, подключенного к правому отсеку резервуара, $h = 80 \text{ мм}$, центр отверстия расположен на глубине $H = 0,8 \text{ м}$ (см. рис. 2.16), атмосферное давление $p_{атм} = 100 \text{ кПа}$.

Решение. Найдем значение давления p_n воздуха в правом отсеке резервуара. Поскольку давления в точках B и C , принадлежащих горизонтальной плоскости, одинаковы и равны атмосферному давлению, т. е. $p_C = p_B = p_{атм}$, то абсолютное давление воздуха в правом отсеке резервуара

$$p_n = p_{атм} - \rho_{рт} \cdot g \cdot h = 100000 - 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,08 = 89300 \text{ Па}.$$

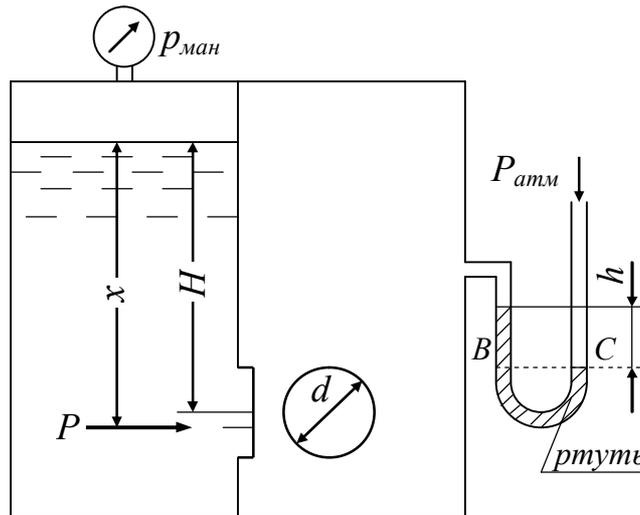


Рисунок 2.16 — Схема расчетная к примеру 8

Сила давления воздуха на крышку справа

$$P_n = p_n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 89300 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 17500 \text{ Н.}$$

Эта сила приложена в центре тяжести крышки.

Абсолютное давление воздуха на свободной поверхности жидкости в левом отсеке

$$p_l = p_{атм} + p_{ман} = 100000 + 15000 = 115000 \text{ Па.}$$

Сила давления воздуха на крышку слева

$$P_l = p_l \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 115000 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 22600 \text{ Н.}$$

Эта сила также приложена в центре тяжести крышки.

Сила давления жидкости на крышку слева

$$P_{ж} = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S = \rho \cdot g \cdot H \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 900 \cdot 9,81 \cdot 0,8 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 1380 \text{ Н,}$$

где h_c — расстояние от свободной поверхности жидкости до центра тяжести крышки;

S — площадь крышки (отверстия).

Эта сила приложена в центре давления, расстояние до которого от свободной поверхности жидкости равно

$$y_{\partial} = y_c + \frac{J_0}{S \cdot y_c} = H + \frac{4 \cdot \pi \cdot d^4}{64 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot H} = H + \frac{d^2}{16 \cdot H} =$$

$$= 0,8 + \frac{0,5^2}{16 \cdot 0,8} = 0,82 \text{ м},$$

где $J_0 = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$ — момент инерции круглой площадки (крышки).

Результирующую силу давления, действующую на круглую крышку, найдем из первого условия равновесия — векторная сумма всех действующих на тело сил равна нулю:

$$P = P_l + P_{жс} - P_n = 22600 + 1380 - 17500 = 6480 \text{ Н}.$$

Расстояние x от свободной поверхности жидкости до точки приложения результирующей силы P найдем исходя из второго условия равновесия — сумма моментов всех сил равна нулю:

$$P \cdot x = P_l \cdot H + P_{жс} \cdot y_{\partial} - P_n \cdot H,$$

откуда

$$x = \frac{P_{жс} \cdot y_{\partial} + (P_l - P_n) \cdot H}{P} = \frac{1380 \cdot 0,82 + (22600 - 17500) \cdot 0,8}{6480} = 0,804 \text{ м}.$$

Пример 9

Определить величину и направление действия силы гидростатического давления воды на цилиндрический затвор радиусом $r = 1 \text{ м}$ и шириной $B = 2 \text{ м}$, расположенный на глубине $H = 6 \text{ м}$ (см. рис. 2.17).

Решение. Сила гидростатического давления, действующая на цилиндрический затвор

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2},$$

где P_x и P_z — горизонтальная и вертикальная составляющие силы гидростатического давления.

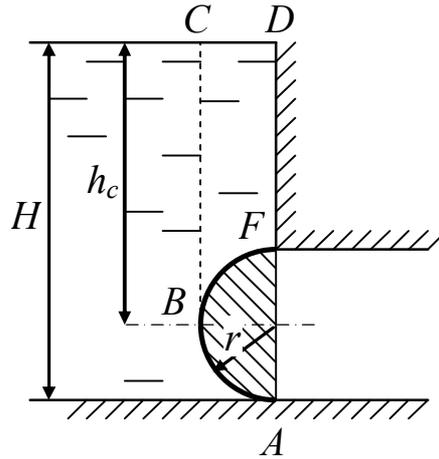


Рисунок 2.17 — Схема расчетная к примеру 9

Горизонтальная составляющая

$$P_x = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S_g = 1000 \cdot 9,81 \cdot 5 \cdot 4 = 196200 \text{ Н},$$

где $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ — плотность воды;

h_c — расстояние по вертикали от центра тяжести вертикальной проекции цилиндрического затвора до пьезометрической плоскости;

S_g — площадь проекции цилиндрического затвора на вертикальную плоскость.

$$h_c = H - r = 6 - 1 = 5 \text{ м},$$

$$S_g = 2 \cdot r \cdot B = 2 \cdot 1 \cdot 2 = 4 \text{ м}^2.$$

Вертикальная составляющая

$$P_z = \rho \cdot g \cdot V_{m.\partial} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3,14 = 30800 \text{ Н},$$

где $V_{m.\partial}$ — объем тела давления ABF шириной B .

$$V_{m.\partial} = V_{ABCDFFA} - V_{BCDF} = \frac{\pi \cdot r^2}{2} \cdot B = \frac{3,14 \cdot 1^2}{2} \cdot 2 = 3,14 \text{ м}^3.$$

$$P = \sqrt{196200^2 + 30800^2} = 198600 \text{ Н}.$$

Направление действия результирующей силы гидростатического давления определяется углом наклона ее к горизонту:

$$\alpha = \arctg \frac{P_z}{P_x} = \arctg \frac{30800}{196200} \approx 9^\circ.$$

Пример 10

Определить частоту вращения цилиндрического резервуара вокруг вертикальной оси, при которой сила давления воды на его верхнюю крышку $P = 6500 \text{ Н}$ (см. рис. 2.18). До начала вращения уровень воды в открытых пьезометрах, установленных на верхней крышке на расстояниях $R_1 = 150 \text{ мм}$ и $R_2 = 300 \text{ мм}$ от оси вращения цилиндра, был равен $h = 700 \text{ мм}$. Радиус цилиндра $R = 450 \text{ мм}$, диаметры пьезометров одинаковые.

Решение. При вращении цилиндрического резервуара вокруг вертикальной оси пьезометрическая поверхность (поверхность уровня с давлением $p = p_{атм} = const$), представляющая собой параболоид вращения, проходит через уровни жидкости в открытых пьезометрах:

$$z = z_o + \frac{\omega^2 \cdot r^2}{2 \cdot g},$$

где z_o — расстояние до вершины параболоида вращения от начала координат, которое выбираем на поверхности верхней крышки.

Высоты столбов жидкости в пьезометрах

$$z_1 = z_o + \frac{\omega^2 \cdot R_1^2}{2 \cdot g}; \quad z_2 = z_o + \frac{\omega^2 \cdot R_2^2}{2 \cdot g},$$

причем $0,5 \cdot (z_1 + z_2) = h$, так как объем жидкости в рассматриваемой системе постоянный. С учетом этого условия получим:

$$h = \frac{1}{2} \cdot \left(z_o + \frac{\omega^2 \cdot R_1^2}{2 \cdot g} + z_o + \frac{\omega^2 \cdot R_2^2}{2 \cdot g} \right).$$

Отсюда получим выражение для определения координаты вершины параболоида вращения

$$z_o = h - \frac{\omega^2 \cdot R_1^2}{4 \cdot g} - \frac{\omega^2 \cdot R_2^2}{4 \cdot g}.$$

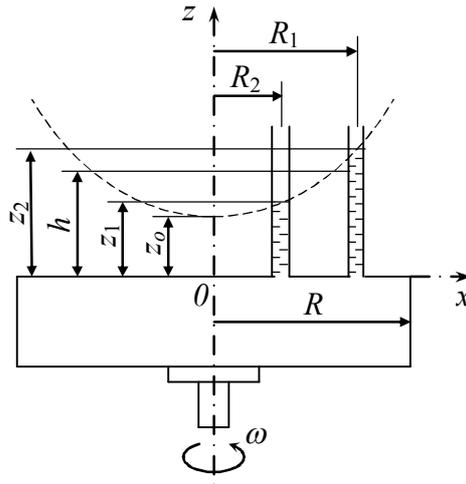


Рисунок 2.18 — Схема расчетная к примеру 10

Полное давление в любой точке жидкости во вращающемся цилиндре

$$p = p_o + \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot r^2 - \rho \cdot g \cdot (z - z_o),$$

где $p_o = p_{атм}$ — давление на пьезометрической поверхности.

Избыточное давление в любой точке жидкости

$$p_{ман} = p - p_{атм} = \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot r^2 - \rho \cdot g \cdot (z - z_o).$$

Поскольку для всех точек верхней крышки $z = 0$, то избыточное давление в любой его точке

$$p_{ман} = \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot r^2 - \rho \cdot g \cdot z_o,$$

или с учетом того, что $z_o = h - \frac{\omega^2 \cdot R_1^2}{4 \cdot g} - \frac{\omega^2 \cdot R_2^2}{4 \cdot g}$, получим

$$p_{ман} = \rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot r^2 - \frac{\rho}{4} \cdot \omega^2 \cdot R_1^2 - \frac{\rho}{4} \cdot \omega^2 \cdot R_2^2,$$

где r — расстояние точки от оси вращения;

ω — искомая угловая скорость.

Найдем выражение для определения силы давления воды на верхнюю крышку. Для этого разобьем ее на элементарные площадки в виде колец. Сила, действующая на данную элементарную площадку

$$dP = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot p_{\text{ман}} =$$

$$= 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot \left(\rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot r^2 - \frac{\rho}{4} \cdot \omega^2 \cdot R_1^2 - \frac{\rho}{4} \cdot \omega^2 \cdot R_2^2 \right),$$

а сила, действующая на всю верхнюю крышку

$$P = \int_0^R 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot \left(\rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2 \cdot r^2 - \frac{\rho}{4} \cdot \omega^2 \cdot R_1^2 - \frac{\rho}{4} \cdot \omega^2 \cdot R_2^2 \right) =$$

$$= \rho \cdot g \cdot h \cdot \pi \cdot R^2 + \frac{\rho}{4} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot (R^2 - R_1^2 - R_2^2) \cdot \omega^2.$$

Отсюда найдем угловую скорость

$$\omega = 2 \cdot \sqrt{\frac{P - \rho \cdot g \cdot h \cdot \pi \cdot R^2}{\rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot (R^2 - R_1^2 - R_2^2)}} =$$

$$= 2 \cdot \sqrt{\frac{6500 - 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,7 \cdot 3,14 \cdot 0,45^2}{1000 \cdot 3,14 \cdot 0,45^2 \cdot (0,45^2 - 0,3^2 - 0,15^2)}} = 12,2 \text{ с}^{-1}.$$

Искомая частота вращения резервуара

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 12,2}{3,14} = 117 \text{ мин}^{-1}.$$

3 ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ

3.1 Основные понятия о движении жидкости. Уравнение расхода (неразрывности потока)

Движение жидкости может быть установившимся и неуставившимся, равномерным и неравномерным, напорным и безнапорным, плавно изменяющимся и резко изменяющимся, ламинарным и турбулентным.

Установившимся называется такое движение жидкости, при котором скорость и давление в любой ее точке с течением времени не изменяются. При неуставившемся движении скорость и давление жидкости изменяются во времени.

Установившееся движение называется равномерным, если живые сечения потока, средние скорости и местные скорости в соответственных точках всех живых сечений одинаковы. В противном случае движение называется неравномерным.

Напорным называется такое движение жидкости в закрытом русле, при котором поток не имеет свободной поверхности, а давление отличается от атмосферного. При безнапорном движении жидкость имеет свободную поверхность, давление во всех точках которой равно атмосферному.

Линией тока называется линия, проведенная в жидкости так, что в любой ее точке вектор скорости в данный момент времени направлен по касательной к ней. Движение жидкости называется плавно изменяющимся, если кривизна линий тока и угол расхождения между ними незначительны. В противном случае движение называется резко изменяющимся.

Трубчатая поверхность, образованная линиями тока, проведенными через все точки бесконечно малого замкнутого контура в движущейся жидкости, называется трубкой тока. Часть потока, заключенная внутри трубки тока, называется элементарной стружкой. Поток — это совокупность элементарных струек.

Живым сечением называется поверхность внутри потока, нормальная в каждой точке к соответствующей линии тока. Часть перимет-

ра живого сечения, соприкасающаяся с твердыми стенками, называется смоченным периметром. Отношение площади живого сечения S к смоченному периметру χ называется гидравлическим радиусом:

$$R_G = \frac{S}{\chi}. \quad (3.1)$$

Для трубы, имеющей круглое сечение, при напорном течении гидравлический диаметр

$$d_G = 4 \cdot R_G. \quad (3.2)$$

Объемным расходом называется количество жидкости, проходящее через живое сечение потока в единицу времени. Он может быть измерен объемным способом:

$$Q = \frac{V}{T}, \quad (3.3)$$

где V — объем мерного бака;

T — время его наполнения.

Также он может быть вычислен по формуле

$$Q = \int_S u \cdot dS, \quad (3.4)$$

где dS — площадь сечения элементарной площадки;

u — местная скорость в центре тяжести этой площадки.

Средней скоростью v называется такая фиктивная скорость, одинаковая для всех точек живого сечения, при которой расход, подсчитанный по формуле

$$Q = v \cdot S, \quad (3.5)$$

был бы равен фактическому расходу, подсчитанному по (3.4):

$$v = \frac{\int_S u \cdot dS}{S}. \quad (3.6)$$

При установившемся движении жидкости расход через все живые сечения потока одинаков:

$$Q = v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 = \dots = v_n \cdot S_n = const, \quad (3.7)$$

где v_1, v_2, \dots, v_n — средние скорости в соответствующих живых сечениях;

S_1, S_2, \dots, S_n — площади живых сечений.

Выражение (3.7) называется уравнением расхода или уравнением неразрывности (сплошности) потока несжимаемой жидкости. Из него следует, что средние скорости обратно пропорциональны площади живых сечений:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}.$$

3.2. Уравнение Бернулли

При решении некоторых простейших задач о движении жидкостей часто в первом приближении делают допущение о том, что движущаяся жидкость является *идеальной*. Под идеальной понимают жидкость абсолютно несжимаемую и нерасширяемую, не способную сопротивляться растяжению и сдвигу. Главное, чем отличается жидкость идеальная от жидкости реальной — это отсутствие у нее вязкости, вызывающей способность сопротивления сдвигу, т. е. возникновению касательных напряжений (трения в жидкости).

Следовательно, в движущейся идеальной жидкости возможен только лишь один вид напряжений — напряжение сжатия, т. е. давление p , а касательное напряжение $\tau = 0$.

Основными уравнениями, позволяющими решать простейшие задачи о движении идеальной жидкости, являются уравнение расхода и уравнение Бернулли.

Уравнение Бернулли для потока идеальной жидкости выражает собой закон сохранения удельной энергии жидкости вдоль потока. Под удельной понимают энергию, отнесенную к единице веса, объема или массы жидкости. Обычно удобнее бывает относить энергию к единице веса. В этом случае уравнение Бернулли, записанное для двух сечений элементарной струйки или потока идеальной жидкости, будет иметь вид

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{u_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{u_2^2}{2 \cdot g} = H. \quad (3.8)$$

Для двух сечений потока реальной (вязкой) жидкости при плавно изменяющемся установившемся движении уравнение Бернулли имеет следующий вид

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + \sum h_n^{1-2}, \quad (3.9)$$

где u_1 (v_1) и u_2 (v_2) — действительные (средние) скорости соответственно в первом и во втором сечениях;

α_1 и α_2 — коэффициенты Кориолиса, учитывающие неравномерность распределения скоростей в соответствующих сечениях;

p_1 и p_2 — давление жидкости в соответствующих сечениях;

z_1 и z_2 — расстояния от произвольной горизонтальной плоскости сравнения $\theta-\theta$ до центров соответствующих сечений;

$\sum h_n^{1-2}$ — суммарные потери полного напора в потоке, при его движении от первого до второго сечений.

С геометрической точки зрения, слагаемые уравнения Бернулли представляют собой следующее:

z — высоту, на которой располагается центр живого сечения относительно плоскости сравнения $\theta-\theta$;

$\frac{p}{\rho \cdot g}$ — пьезометрическую высоту, которую можно измерить пьезометрической трубкой;

$\frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g}$ — высоту скоростного напора, равную разности уровней в трубках полного и статического напоров.

Сумму высот $\frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g} + \frac{p}{\rho \cdot g} + z = H$ — называют полным гидродинамическим напором.

Коэффициент α представляет собой отношение действительной кинетической энергии к кинетической энергии, подсчитанной по средней скорости. При турбулентном режиме движения $\alpha \approx 1$, при ламинарном режиме движения в трубе круглого сечения $\alpha = 2$.

С помощью уравнения Бернулли (3.9) решаются многие задачи практической гидравлики. Для этого выбираются два сечения потока

так, чтобы в одном из них величины z , p и v были известны, а во втором неизвестной была лишь одна из этих величин. Затем выбирается горизонтальная плоскость сравнения $\theta-\theta$. Ее целесообразно провести через центр одного из выбранных сечений, тогда z_1 или z_2 будет равен нулю. После упрощения уравнения Бернулли, записанного для выбранных сечений, находят неизвестную величину (p , v или z).

При двух неизвестных кроме уравнения Бернулли используется также уравнение неразрывности (сплошности) потока (3.7).

3.3. Режимы течения жидкости

Существует два различных режима течения — ламинарный и турбулентный. При ламинарном режиме жидкость движется отдельными слоями, пульсация скорости или давления не наблюдается. Турбулентный режим характеризуется неупорядоченным, хаотичным движением частиц, интенсивным перемешиванием жидкости.

Доказано, что при ламинарном режиме потери напора пропорциональны скорости в первой степени, а при турбулентном — примерно квадрату скорости.

Критерием для определения режима течения является безразмерное число Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (3.10)$$

где v — средняя скорость в потоке;

d — внутренний диаметр трубы;

ν — коэффициент кинематической вязкости.

Для труб, имеющих поперечное сечение отличное от круглого

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d_{\Gamma}}{\nu}, \quad (3.11)$$

где d_{Γ} — гидравлический диаметр, определяемый по формуле (3.2).

Чтобы определить режим течения, необходимо фактическое число Рейнольдса сопоставить с критическим $\text{Re}_{\text{кр}}$, которое для круглых труб равно примерно 2320:

если $Re_{кр} < 2320$, то режим течения ламинарный;
если $Re_{кр} > 2320$ — турбулентный.

3.4 Указания к решению задач

Часть задач, отнесенных к данному разделу, рассчитаны на применение уравнения Бернулли для идеальной жидкости (3.8), т. е. без учета гидравлических потерь (потерь напора) и неравномерности распределения скоростей (коэффициента Кориолиса). Другая часть задач решается с помощью уравнения Бернулли для потока реальной жидкости (3.9) в общем случае с учетом указанных выше обстоятельств.

Однако коэффициент Кориолиса следует учитывать лишь при ламинарном режиме течения, когда $\alpha = 2$. Для турбулентных потоков можно принимать $\alpha = 1$.

При применении уравнения Бернулли важно правильно выбрать те два сечения, для которых оно записывается.

В качестве сечений рекомендуется брать:

- свободную поверхность жидкости в резервуаре (баке), где $v = 0$;
- выход в атмосферу, где $p_{ман} = 0$; $p_{абс} = p_{атм}$;
- сечение, где присоединен манометр, пьезометр или вакуумметр;
- вход в трубу, в которую происходит всасывание воздуха из атмосферы.

Уравнение Бернулли рекомендуется сначала записать в общем виде, а затем переписать с заменой его членов заданными буквенными величинами и исключить члены, равные нулю.

При этом необходимо помнить следующее:

- вертикальная ордината z всегда отсчитывается от произвольной горизонтальной плоскости вверх;
- давление p , входящее в правую и левую части уравнения, должно быть задано в одной системе отсчета (абсолютной или избыточной);
- суммарные потери напора $\sum h_n^{1-2}$ всегда пишутся в правой части уравнения Бернулли со знаком «+»;
- величина $\sum h_n^{1-2}$ в общем случае складывается из местных потерь и потерь на трение по длине.

Примеры решения задач

Пример 1

Определить объемный расход жидкости Q в трубопроводе, если высоты уровней жидкости в пьезометре $H_1 = 300$ мм, в трубке Пито $H_2 = 500$ мм, а расстояние по вертикали между центрами сечений $\Delta h = 200$ мм (см. рис. 3.1). Диаметр трубопровода меньшего сечения $d = 100$ мм. Потерями напора пренебречь.

Решение. Проводим в трубопроводе два сечения — сечение 1–1 через место установки пьезометра, а сечение 2–2 через носик трубки Пито. Сечения всегда проводятся перпендикулярно к направлению движения потока жидкости.

Проводим плоскость сравнения 0–0 через центр сечения 1–1. Плоскость сравнения всегда горизонтальна.

Ввиду отсутствия потерь напора (по условию задачи) жидкость можно считать идеальной. Запишем уравнение Бернулли для идеальной жидкости:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{u_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{u_2^2}{2 \cdot g}.$$

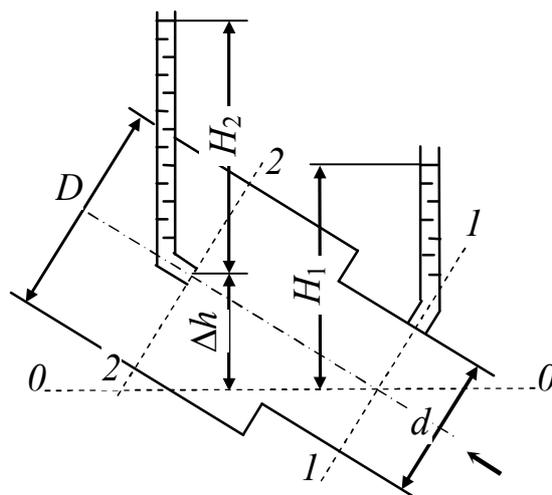


Рисунок 3.1 — Схема расчетная к примеру 1

Определим слагаемые, входящие в уравнение Бернулли.

В данном случае:

$z_1 = 0$ — плоскость сравнения $0-0$ проходит через центр сечения $1-1$;

$z_2 = \Delta h$ — расстояние по вертикали от плоскости $0-0$ до центра сечения $2-2$;

$\frac{p_1}{\rho \cdot g} = H_1$ — показание пьезометра равно пьезометрическому напору в сечении $1-1$;

$\frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{u_2^2}{2 \cdot g} = H_2$ — показание трубки Пито равно сумме пьезометрического и скоростного напоров в сечении $2-2$.

Подставим найденные значения в уравнение Бернулли:

$$H_1 + \frac{u_1^2}{2 \cdot g} = \Delta h + H_2,$$

откуда найдем скорость движения жидкости в сечении $1-1$:

$$\begin{aligned} u_1 &= \sqrt{2 \cdot g \cdot (\Delta h + H_2 - H_1)} = \\ &= \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (0,2 + 0,5 - 0,3)} = 2,8 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

Объемный расход жидкости в трубопроводе:

$$Q = u_1 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 2,8 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} = 0,022 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Пример 2

Определить расход бензина ($\rho = 700 \text{ кг/м}^3$), подаваемого по горизонтальной трубе диаметром $D = 25 \text{ мм}$, в которой установлено сопло диаметром $d = 10 \text{ мм}$ и дифференциальный ртутный манометр, показания которого $h = 100 \text{ мм}$. Потерями напора пренебречь (см. рис. 3.2).

Решение. Запишем уравнение Бернулли для сечений $1-1$ и $2-2$ относительно плоскости сравнения $0-0$, проведенной через ось трубы ($z_1 = z_2 = 0$; $h_n = 0$; $\alpha = 1$):

$$\frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g}$$

и уравнение неразрывности

$$v_1 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = v_2 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}.$$

Решая совместно эти два уравнения, находим скорость

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_1 - p_2)}{\rho \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right)}}.$$

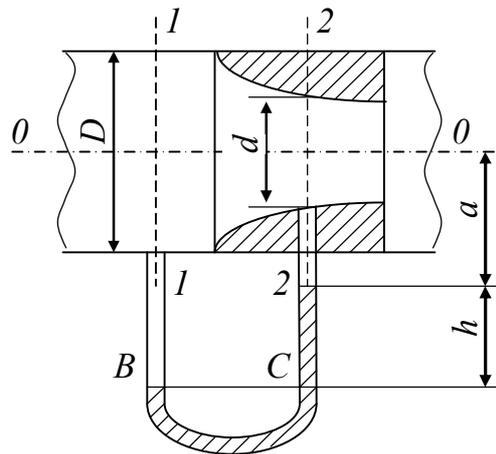


Рисунок 3.2 — Схема расчетная к примеру 2

Разность давлений $(p_1 - p_2)$ в центрах тяжести сечений $1-1$ и $2-2$ найдем, используя показание ртутного дифференциального манометра. С этой целью приравняем выражения для определения давления в точках B и C , принадлежащих одной горизонтальной плоскости:

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot (a + h) = p_2 + \rho \cdot g \cdot a + \rho_{pm} \cdot g \cdot h.$$

Отсюда получим

$$p_1 - p_2 = g \cdot (\rho_{pm} - \rho) \cdot h.$$

Подставляя это значение в выражение для определения скорости, находим

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h \cdot (\rho_{pm} - \rho)}{\rho \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,1 \cdot (13600 - 700)}{700 \cdot \left(1 - \left(\frac{10}{25}\right)^4\right)}} = 6,56 \text{ м/с.}$$

Расход бензина

$$Q = v_2 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = 6,56 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} = 5,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с.}$$

4 ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Движение вязкой жидкости сопровождается потерями напора, обусловленными гидравлическими сопротивлениями. Определение потерь напора является одним из главных вопросов практически любого гидравлического расчета. Различают два вида потерь напора — потери на трение по длине, зависящие в общем случае от длины и размеров поперечного сечения трубопровода, его шероховатости, вязкости жидкости, скорости течения, и потери в местных сопротивлениях — коротких участках трубопроводов, в которых происходит изменение скорости по величине или по направлению:

$$\sum h_n = \sum h_{mp} + \sum h_m, \quad (4.1)$$

где $\sum h_{mp}$ — суммарные потери на трение по длине;

$\sum h_m$ — сумма потерь в местных сопротивлениях.

При движении жидкости в круглых трубах постоянного сечения потери напора на трение определяются по формуле Дарси–Вейсбаха:

$$h_{mp} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (4.2)$$

где λ — коэффициент гидравлического трения по длине (коэффициент Дарси);

l — длина трубопровода;

d — диаметр трубопровода;

v — средняя скорость течения жидкости.

Для ламинарного режима течения жидкости в круглой трубе коэффициент λ определяется по теоретической формуле

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}, \quad (4.3)$$

где Re — число Рейнольдса, вычисленное по формулам (3.10) или (3.11).

При расчете трубопроводов объемных гидроприводов применяется формула

$$\lambda = \frac{A}{\text{Re}}, \quad (4.4)$$

где $A = 75$ — для стальных труб;

$A = 150$ — для гибких шлангов.

При турбулентном режиме течения жидкости коэффициент λ зависит в общем случае от числа Рейнольдса и относительной шероховатости Δ/d (где Δ — эквивалентная шероховатость) и определяется по эмпирическим формулам. При этом различают три области гидравлических сопротивлений: гидравлически гладких труб, переходная и квадратичная.

Для области гидравлически гладких труб коэффициент гидравлического трения λ определяется по формуле Блазиуса и не зависит от шероховатости внутренних стенок трубы:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}, \quad (4.5)$$

Область гидравлически гладких труб имеет место, когда значения числа Рейнольдса принадлежат следующему интервалу

$$2320 < \text{Re} < 20 \cdot d/\Delta.$$

Для переходной области ($20 \cdot d/\Delta < \text{Re} < 500 \cdot d/\Delta$) коэффициент гидравлического трения λ можно определить по универсальной (применимой для всех областей) формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}. \quad (4.6)$$

Для квадратичной области сопротивления ($\text{Re} > 500 \cdot d/\Delta$), называемой также областью гидравлически шероховатых труб, коэффициент гидравлического трения λ может быть найден по формуле Никурадзе:

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \cdot \lg \frac{d}{\Delta} + 1,14 \right)^2}, \quad (4.7)$$

или по формуле Шифринсона:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} \quad (4.8)$$

Средние значения эквивалентной шероховатости Δ для некоторых видов труб приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 — Средние значения эквивалентной шероховатости Δ для труб, рукавов и шланг

Вид трубы	Состояние трубы	Δ , мм
Бесшовная стальная	Новая и чистая	0,03
	После нескольких лет эксплуатации	0,20
Стальная сварная	Новая и чистая	0,05
	Умеренно заржавленная	0,50
	Старая заржавленная	1,00
Тянущая из стекла или цветных металлов	Новая, технически гладкая	0,005
Рукава и шланги резиновые	—	0,03

Более детальные значения эквивалентной шероховатости для различных видов труб приведены в *приложении В*.

Для труб, имеющих поперечное сечение отличное от круглого, в формулах (4.2) – (4.8) вместо диаметра необходимо подставлять значение гидравлического диаметра.

При ламинарном режиме течения жидкости в круглых трубах потери напора и давления можно также определить по формуле Пуазейля:

$$h_{mp} = \frac{32 \cdot \nu \cdot l \cdot \nu}{g \cdot d^2} = \frac{128 \cdot \nu \cdot l \cdot Q}{\pi \cdot g \cdot d^4}; \quad p_{mp} = \frac{128 \cdot \rho \cdot \nu \cdot l \cdot Q}{\pi \cdot d^4} \quad (4.9)$$

Потери напора в местных сопротивлениях определяются по формуле Вейсбаха:

$$h_m = \xi_m \cdot \frac{\nu^2}{2 \cdot g}, \quad (4.10)$$

где ξ_m — коэффициент местного сопротивления.

В большинстве случаев коэффициент ξ_M определяют по справочным данным, полученным в результате опытов. Значения коэффициентов некоторых местных сопротивлений приведены в *приложении Д*.

Для случая внезапного расширения трубы, коэффициент местного сопротивления определяют по формуле

$$\xi_{\text{exp}} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2, \quad (4.11)$$

где S_1 и S_2 — площади поперечных сечений трубы до и после внезапного расширения соответственно.

При внезапном сужении трубы без закругления кромок коэффициент сопротивления определяют по формуле Идельчика:

$$\xi_{\text{вс}} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right), \quad (4.12)$$

где S_1 и S_2 — площади поперечных сечений трубы до и после внезапного сужения соответственно.

Коэффициенты местного сопротивления для внезапного расширения (4.11) и внезапного сужения (4.12) отнесены к скорости в трубе меньшего сечения.

Примеры решения задач

Пример 1

К горизонтальной трубе переменного сечения ($D = 150$ мм, $d = 50$ мм), по которой прокачивается бензин ($\rho = 750$ кг/м³), присоединен дифференциальный манометр, разность уровней ртути в котором $h = 120$ мм (см. рис. 4.1). Определить расход бензина Q . Потерями напора на трение по длине пренебречь.

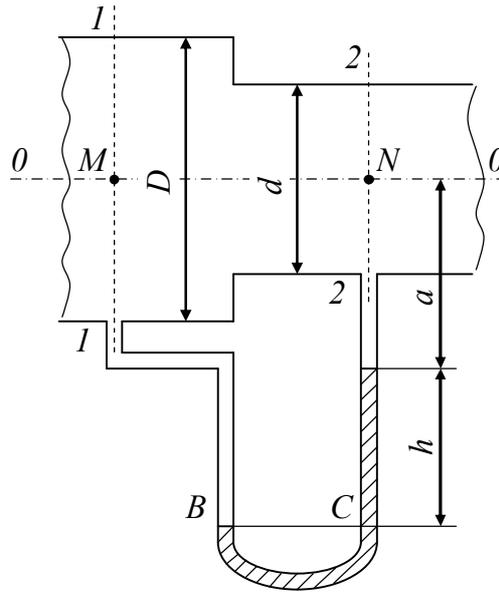


Рисунок 4.1 — Схема расчетная к примеру 1

Решение. Запишем уравнение Бернулли для сечений 1–1 и 2–2 относительно плоскости равнения 0–0 ($z_1 = z_2 = 0$):

$$\frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} = \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \xi_{\text{вс}} \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g},$$

где $\xi_{\text{вс}}$ — коэффициент сопротивления внезапного сужения, определяемый по формуле (4.12):

$$\xi_{\text{вс}} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) = 0,5 \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right] = 0,5 \cdot \left[1 - \left(\frac{50}{150}\right)^2\right] = 0,445.$$

Из уравнения Бернулли найдем разность пьезометрических высот, принимая режим течения турбулентный ($\alpha = 1$):

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} - \frac{p_2}{\rho \cdot g} = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \cdot \left(1 + \xi_{\text{вс}} - \frac{v_1^2}{v_2^2}\right).$$

Из уравнения неразрывности потока (3.7) получаем

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{d}{D}\right)^2.$$

Поэтому

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} - \frac{p_2}{\rho \cdot g} = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \cdot \left(1 + \xi_{ec} - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right). \quad (4.13)$$

Пусть давление в точках M и N равны соответственно p_1 и p_2 . Тогда давления в точках B и C

$$p_B = p_1 + \rho \cdot g \cdot (a + h); \quad p_C = p_2 + \rho \cdot g \cdot a + \rho_{pm} \cdot g \cdot h.$$

Поскольку $p_B = p_C$, то можно приравнять их правые части

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot (a + h) = p_2 + \rho \cdot g \cdot a + \rho_{pm} \cdot g \cdot h.$$

После выполнения простых преобразований, получим второе выражение для определения разности пьезометрических высот:

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} - \frac{p_2}{\rho \cdot g} = h \cdot \left(\frac{\rho_{pm}}{\rho} - 1 \right). \quad (4.14)$$

Подставляя выражение (4.14) в выражение (4.13), получаем

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h \cdot \left(\frac{\rho_{pm}}{\rho} - 1 \right)}{1 + \xi_{ec} - \left(\frac{d}{D} \right)^4}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,12 \cdot \left(\frac{13600}{750} - 1 \right)}{1 + 0,445 - \left(\frac{50}{150} \right)^4}} = 5,26 \text{ м/с}$$

$$v_1 = v_2 \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^2 = 5,26 \cdot \left(\frac{50}{150} \right)^2 = 0,584 \text{ м/с.}$$

Расход бензина

$$Q = v_2 \cdot S_2 = 5,26 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,0103 \text{ м}^3/\text{с} = 10,3 \text{ л/с.}$$

5 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

5.1 Расчет простых трубопроводов постоянного сечения

Простым называется трубопровод постоянного или переменного сечения, который не имеет ответвлений и в котором расход жидкости постоянный по длине (см. рис. 5.1).

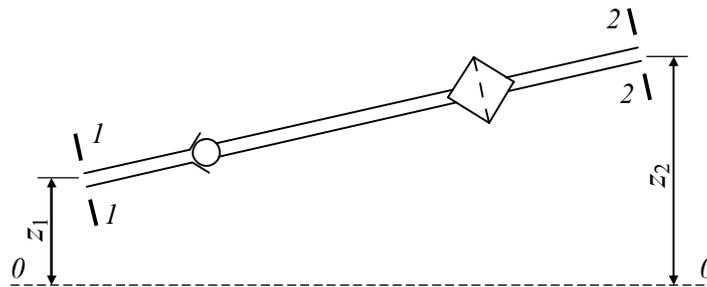


Рисунок 5.1 — Простой трубопровод

Исходными для гидравлического расчета трубопровода являются уравнение Бернулли (3.9), которое вследствие постоянства скоростей по длине принимает вид

$$h_n = \left(\frac{p_1}{\rho \cdot g} + z_1 \right) - \left(\frac{p_2}{\rho \cdot g} + z_2 \right) = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (5.1)$$

уравнение неразрывности (3.7), а также зависимости для определения потерь напора на трение по длине (4.2) и в местных сопротивлениях (4.10). При расчете простых трубопроводов встречаются следующие типовые задачи:

Задача 1.

Требуется определить расход жидкости Q при заданных геометрических размерах трубопровода (l , d , Δ , z_1 и z_2), давлениях (p_1 и p_2) и местных сопротивлениях ($\Sigma \xi_m$).

Так как число Рейнольдса в данной задаче подсчитать нельзя, то сначала задаются режимом течения, основываясь на роде жидкости (вода, бензин, керосин — режим обычно турбулентный; масла — ламинарный) с последующей проверкой режима течения после решения задачи и определения числа Рейнольдса.

Из уравнения (5.1) способом последовательных приближений находят скорость жидкости

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h_n}{\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi_m}}$$

(коэффициент λ в общем случае зависит от числа Рейнольдса, а значит и от скорости). Для этого в первом приближении следует задаться коэффициентом λ . После вычисления скорости уточняют значение λ и производят повторный расчет скорости. Обычно бывает достаточно второго приближения. Затем находят расход жидкости $Q = v \cdot S$.

Задача 2.

Заданы: расход жидкости Q , геометрические размеры трубопровода (l, d, Δ), отметки точек z_1 и z_2 , местные сопротивления ($\Sigma \xi_m$) и давление в конечном сечении трубопровода p_2 . Требуется найти давление в начальном сечении трубопровода p_1 .

Сначала определяют скорость жидкости, число Рейнольдса, область гидравлического сопротивления, коэффициент гидравлического трения λ и потери напора

$$h_n = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi_m \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Из уравнения (5.1) находят давление p_1 .

Задача 3.

Определить диаметр трубопровода, при котором расход жидкости равен Q , если заданы давления p_1 и p_2 , отметки z_1 и z_2 , местные сопротивления ($\Sigma \xi_m$), длина трубопровода l и шероховатость его стенок Δ .

Поскольку в левую часть уравнения (5.1) входят заданные величины, а правая часть его является функцией диаметра, то он может быть найден из этого уравнения методом подбора. Для этого задаются рядом значений диаметра d и по ним подсчитывают расчетные потери напора h'_n . Затем строят график $h'_n = f(d)$ и по нему, зная действительные потери h_n , определяют диаметр d .

5.2 Расчет сложных трубопроводов

Под сложными трубопроводами подразумевают систему трубопроводов, имеющих ответвления, последовательные и параллельные соединения труб, кольцевые участки, переменный расход и т. д.

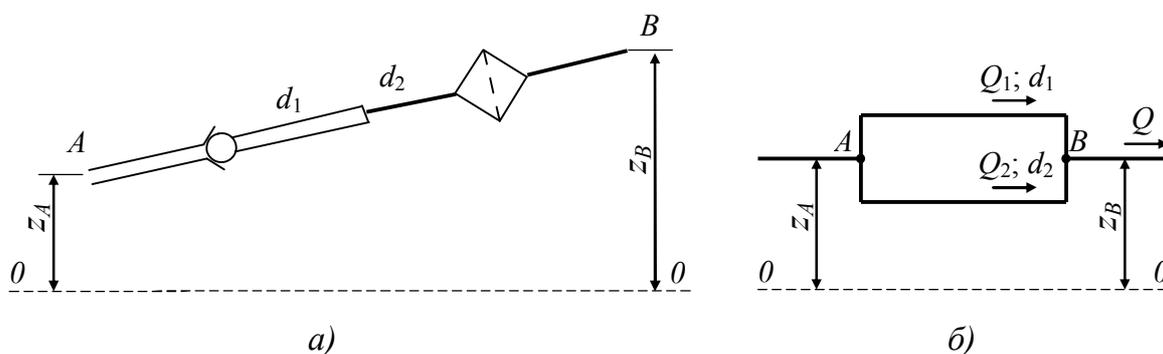


Рисунок 5.2 — Сложные трубопроводы

При последовательном соединении трубопроводов различного диаметра (см. рис. 5.2, а) исходят из того, что полные потери напора в трубопроводе равны сумме потерь напора на отдельных его участках ($h_n = h_{n1} + h_{n2}$). Расчет таких трубопроводов целесообразно производить графоаналитическим способом с использованием графиков зависимости потерь напора от расхода (см. рис. 5.3, а). При этом кривую $h_n = f(Q)$ строят сложением ординат кривых $h_{n1} = f(Q)$ и $h_{n2} = f(Q)$.

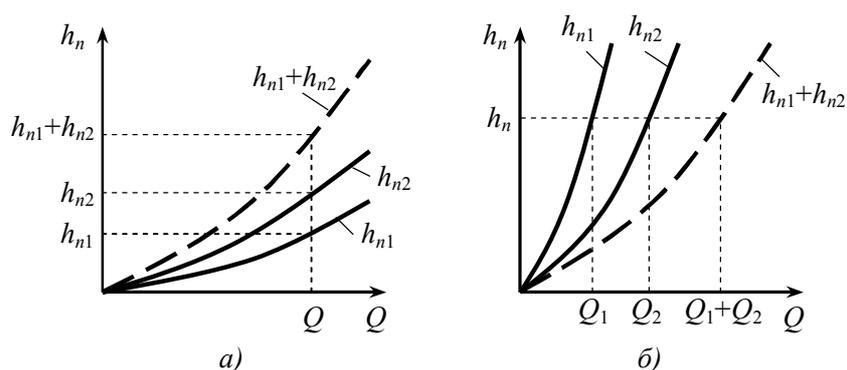


Рисунок 5.3 — Построение характеристик сложных трубопроводов

При расчете трубопроводов с параллельными ветвями (см. рис. 5.2, б) исходят из того, что сумма расходов в отдельных ветвях равна полному расходу ($Q_1 + Q_2 = Q$) и что потери напора во всех ветвях

одинаковы ($h_{п1} = h_{п2}$). Зависимость полного расхода Q на разветвленном участке от потерь напора h_n строится сложением абсцисс кривых $h_{п1} = f(Q)$ и $h_{п2} = f(Q)$ (см. рис. 5.3, б).

Если сложный трубопровод состоит из нескольких участков с последовательным и параллельным соединением простых трубопроводов, то для того чтобы построить напорную характеристику сложного трубопровода, целесообразно использовать следующую методику:

- представить трубопровод в виде соединения простых участков;
- рассчитать и построить характеристики для каждого простого участка трубопровода;
- провести графическое сложение характеристик параллельных участков;
- провести графическое сложение характеристик последовательных участков.

Если подача жидкости по трубопроводу осуществляется насосом с заданной характеристикой, то принцип расчета такого трубопровода заключается в совместном построении в координатах $H-Q$ напорной характеристики трубопровода и характеристики насоса. Точка пересечения этих характеристик соответствует рабочему режиму.

5.3 Неустановившееся движение жидкости в трубопроводах. Гидравлический удар

Гидравлическим ударом называется колебательный процесс, состоящий из чередующихся этапов резкого повышения и понижения давления, вызванный мгновенным изменением скорости жидкости. Он может возникнуть при быстром закрытии задвижки, мгновенной остановке насоса, внезапном перекрытии гидротурбины. Различают прямой и непрямой гидравлический удар.

Прямой гидравлический удар имеет место тогда, когда время закрытия задвижки $T_з$ меньше продолжительности фазы $T_ф$ гидравлического удара, т. е.

$$T_з < T_ф = \frac{2 \cdot l}{c}, \quad (5.2)$$

где l — длина трубопровода;

c — скорость распространения ударной волны, определяемая по формуле

$$c = \sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho \cdot \left(1 + \frac{E_{ж}}{E} \cdot \frac{d}{\delta}\right)}}, \quad (5.3)$$

где $E_{ж}$ и E — модули упругости жидкости и материала стенок трубопровода соответственно;

ρ — плотность жидкости;

d и δ — внутренний диаметр и толщина стенки трубопровода.

При $T_3 > T_\phi$ возникает не прямой гидравлический удар.

Повышение давления при прямом гидравлическом ударе определяется по формуле Жуковского:

$$\Delta p_{y\delta} = \rho \cdot v_o \cdot c, \quad (5.4)$$

где v_o — скорость движения жидкости в трубопроводе до гидравлического удара.

При не прямом гидравлическом ударе повышение давления будет меньшим:

$$\Delta p'_{y\delta} = \Delta p_{y\delta} \cdot \frac{T_\phi}{T_3}. \quad (5.5)$$

Примеры решения задач

Пример 1

Всасывающий трубопровод насоса имеет длину $l = 5$ м и диаметр $d = 32$ мм, высота всасывания $h = 0,8$ м (см. рис. 5.4). Определить давление в конце трубопровода (перед насосом), если расход масла ($\rho = 890$ кг/м³; $v = 10$ мм²/с) $Q = 50$ л/мин, коэффициент сопротивления колена $\xi_k = 0,3$, вентиля $\xi_v = 4,5$, фильтра $\xi_\phi = 10$.

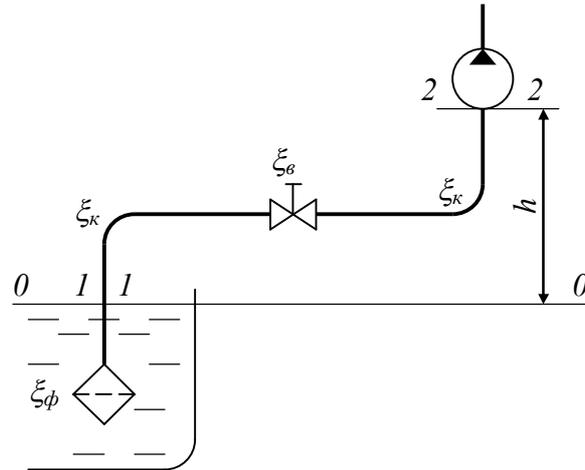


Рисунок 5.4 — Схема расчетная к примеру 1

Решение. Определяем скорость, число Рейнольдса и коэффициент гидравлического трения по длине при расходе $Q = 50/60 = 0,833$ л/с:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,833 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,032^2} = 1,04 \text{ м/с};$$

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{1,04 \cdot 0,032}{10 \cdot 10^{-6}} = 3330;$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}} = \frac{0,3164}{3330^{0,25}} = 0,042.$$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений

$$\Sigma \xi_m = \xi_\phi + 2 \cdot \xi_\kappa + \xi_\sigma = 10 + 2 \cdot 0,3 + 4,5 = 15,1.$$

Потери напора во всасывающем трубопроводе

$$h_n = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi_m \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = \left(0,042 \cdot \frac{5}{0,032} + 15,1 \right) \cdot \frac{1,04^2}{2 \cdot 9,81} = 1,2 \text{ м}.$$

Из уравнения Бернулли для сечений 1-1 и 2-2 относительно плоскости сравнения 0-0

$$\frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + z_1 = \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + z_2 + h_n,$$

в котором $v_1 = 0$; $p_1 = p_{атм} = 1 \times 10^5$ Па; $z_1 = 0$; $v_2 = 1,04$ м/с; $z_2 = h$; $h_n = 1,2$ м; $\alpha = 1$, находим давление перед насосом

$$p_2 = p_{атм} - \rho \cdot g \cdot (h + h_n) - \frac{\rho}{2} \cdot v_2^2 =$$

$$= 100000 - 890 \cdot 9,81 \cdot (0,8 + 1,2) - \frac{890}{2} \cdot 1,04^2 = 82000 \text{ Па.}$$

Пример 2

В стальном трубопроводе длиной $l = 150 \text{ м}$, диаметром $d = 160 \text{ мм}$ и толщиной стенки $\delta = 3 \text{ мм}$ расход Q керосина ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$) составляет 60 л/с . Определить:

а) время закрытия задвижки T_3 , при котором повышение давления в конце трубопровода при гидравлическом ударе не превысит значения $\Delta p'_{y\partial} = 0,35 \text{ МПа}$;

б) повышение давления при мгновенном закрытии задвижки.

Модуль упругости материала стенок стального трубопровода $E = 210 \times 10^9 \text{ Па}$.

Решение. Скорость движения керосина в трубопроводе до закрытия задвижки:

$$v_0 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,06}{3,14 \cdot 0,16^2} = 3 \text{ м/с.}$$

Время закрытия задвижки определяем из выражения (5.5) с учетом (5.2) и (5.4):

$$T_3 = \frac{2 \cdot l \cdot \rho \cdot v_0}{\Delta p'_{y\partial}} = \frac{2 \cdot 150 \cdot 800 \cdot 3}{0,35 \times 10^6} = 2,06 \text{ с.}$$

Чтобы определить давление при мгновенном закрытии задвижки, необходимо предварительно найти значения некоторых величин.

Согласно *приложения А* коэффициент объемного сжатия керосина составляет $\beta_p = 0,77 \times 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$.

Модуль упругости жидкости определяем из выражения (1.4):

$$E_{жс} = \frac{1}{\beta_p} = \frac{1}{0,77 \times 10^{-9}} = 1,3 \times 10^9 \text{ Па.}$$

Скорость распространения ударной волны определяем из выражения (5.3):

$$c = \sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho \cdot \left(1 + \frac{E_{ж}}{E} \cdot \frac{d}{\delta}\right)}} = \sqrt{\frac{1,3 \times 10^9}{800 \cdot \left(1 + \frac{1,3 \times 10^9}{210 \times 10^9} \cdot \frac{0,16}{0,003}\right)}} = 1105 \text{ м/с.}$$

Повышение давления при прямом гидравлическом ударе определяем по формуле Жуковского (5.4):

$$\Delta p_{yd} = \rho \cdot v_o \cdot c = 800 \cdot 3 \cdot 1105 = 2,65 \times 10^6 \text{ Па} = 2,65 \text{ МПа.}$$

6 ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ И НАСАДКИ

6.1 Истечение жидкости через отверстия, насадки и дроссели при постоянном напоре

В гидравлике различают малые и большие отверстия. Малым называют отверстие, размеры которого малы по сравнению с напором. При истечении через малое отверстие в тонкой стенке (см. рис. 6.1, *a*) происходит сжатие струи, степень которого оценивается коэффициентом сжатия

$$\varepsilon = \frac{S_c}{S}, \quad (6.1)$$

где S_c — площадь поперечного сечения струи;
 S — площадь отверстия.

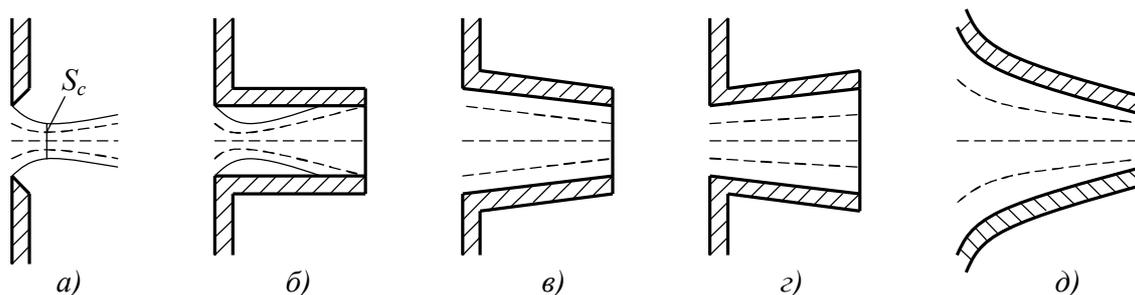


Рисунок 6.1 — Типы насадков

Насадки — это короткие патрубки длиной 3–4 диаметра, приставляемые к отверстию для увеличения расхода или получения компактной дальнобойной струи (см. рис. 6.1). Они бывают цилиндрическими (см. рис. 6.1, *b*), коническими сходящимися (см. рис. 6.1, *в*) или коническими расходящимися (см. рис. 6.1, *г*), коноидальными (см. рис. 6.1, *д*) (очерченными по форме струи) и др. При истечении через насадки $\varepsilon = 1$, поэтому $S_c = S$, где S — площадь выходного сечения насадка.

При истечении жидкости через малые отверстия в тонкой стенке и насадки происходит преобразование потенциальной энергии жидкости в кинетическую. При постоянном напоре скорость и расход жидкости определяются по формулам:

$$v = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(H + \frac{p_1 - p_2}{\rho \cdot g} \right)}, \quad (6.2)$$

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(H + \frac{p_1 - p_2}{\rho \cdot g} \right)}, \quad (6.3)$$

где φ — коэффициент скорости;

μ — коэффициент расхода;

H — геометрический напор над центром тяжести отверстия или насадка (см. рис. 6.2);

p_1 — давление на свободной поверхности жидкости;

p_2 — давление в среде, куда происходит истечение жидкости.

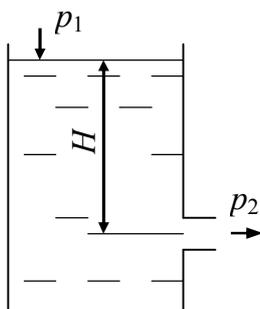


Рисунок 6.2 — Схема расчетная к определению параметров истечения жидкости через малые отверстия и насадки

Коэффициент скорости

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}}, \quad (6.4)$$

где α — коэффициент кинетической энергии;

ξ — коэффициент местного сопротивления.

При истечении жидкости из открытого резервуара в атмосферу ($p_1 = p_2 = p_{атм}$) формулы (6.2) и (6.3) примут вид:

$$v = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \quad (6.5)$$

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}. \quad (6.6)$$

В общем случае коэффициенты μ , φ и ε зависят от числа Рейнольдса. На рисунке 6.3 приведены эти зависимости для малого отверстия в тонкой стенке. В таблице 6.1 даны значения коэффициентов μ , φ и ε для отверстия и насадков при больших числах Рейнольдса.

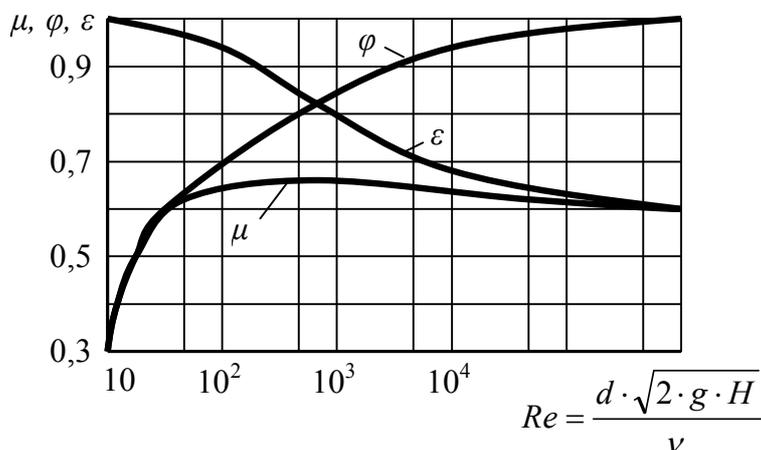


Рисунок 6.3 — Зависимости коэффициентов μ , φ и ε от числа Рейнольдса для малого отверстия в тонкой стенке

Таблица 6.1 — Значения коэффициентов μ , φ и ε для отверстия и насадков

Тип отверстия или насадка	Значения коэффициентов		
	μ	φ	ε
Отверстие в тонкой стенке	0,62	0,97	0,64
Внешний цилиндрический насадок	0,82	0,82	1,00
Конический сходящийся насадок (угол конусности 12...15°)	0,94	0,96	0,98
Коноидальный насадок	0,97	0,97	1,00

6.2 Истечение жидкости через отверстия и насадки при переменном напоре

Рассмотрим истечение жидкости из цилиндрического резервуара с вертикальными стенками, площадь поперечного сечения которого S , через отверстие, выполненное в дне, площадью S_0 .

В этом подразделе будем рассматривать случай, когда скорость опускания уровня жидкости в резервуаре незначительна, поэтому локальным ускорением частиц жидкости можно пренебречь, рассматривая

процесс истечения за бесконечно малый промежуток времени как установившийся.

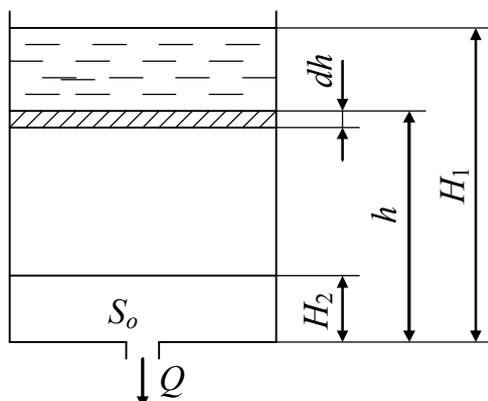


Рисунок 6.4 — Истечение жидкости через отверстие при переменном напоре

Пусть H_1 — начальный напор жидкости в резервуаре, H_2 — конечный напор, а h — некоторый промежуточный напор (см. рис. 6.4). Пусть за бесконечно малый отрезок времени dT уровень жидкости опустился на dh . Объем жидкости, вытекающей из резервуара за этот отрезок времени через отверстие в дне, можно определить двумя способами:

$$dV = Q \cdot dT = \mu \cdot S_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot dT; \quad dV = -S \cdot dh.$$

Знак минус поставлен потому, что напор снижается ($dh < 0$).

Приравняем правые части этих выражений и выполним разделение переменных. После преобразования получим

$$dT = -\frac{S}{\mu \cdot S_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}} \cdot dh.$$

Время, за которое напор уменьшится от значения H_1 до H_2 ,

$$T = -\frac{S}{\mu \cdot S_o \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \cdot \int_{H_1}^{H_2} h^{-\frac{1}{2}} \cdot dh = \frac{2 \cdot S}{\mu \cdot S_o \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \cdot (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}). \quad (6.7)$$

Время полного опорожнения резервуара определим, положив $H_2 = 0$:

$$T = \frac{2 \cdot S \cdot \sqrt{H_1}}{\mu \cdot S_o \cdot \sqrt{2 \cdot g}} = \frac{2 \cdot S \cdot H_1}{\mu \cdot S_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_1}} = \frac{2 \cdot V_1}{Q_1}, \quad (6.8)$$

где $V_1 = S \cdot H_1$ — начальный объем жидкости в резервуаре;

$Q_1 = \mu \cdot S_o \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_1}$ — начальный расход жидкости через отверстие, выполненное в дне резервуара.

Примеры решения задач

Пример 1

Сопоставить расходы жидкости и потери напора при истечении через малое круглое отверстие в тонкой стенке ($\mu_o = 0,62$; $\varphi_o = 0,97$), внешний цилиндрический насадок ($\mu_1 = \varphi_1 = 0,82$), конический сходящийся насадок ($\mu_2 = \varphi_2 = 0,95$) и коноидальный насадок ($\mu_3 = \varphi_3 = 0,97$). Напоры H и диаметры выходных сечений во всех случаях одинаковы.

Решение. Расход жидкости находится по формуле (6.6), в которой все величины, за исключением μ , во всех случаях одинаковы.

Пусть Q_o, Q_1, Q_2, Q_3 — расходы соответственно через отверстие, цилиндрический, конический и коноидальный насадки. Тогда

$$\frac{Q_1}{Q_o} = \frac{\mu_1 \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}{\mu_o \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}} = \frac{\mu_1}{\mu_o} = \frac{0,82}{0,62} = 1,33,$$

т.е. расход через внешний цилиндрический насадок

$$Q_1 = 1,33 \cdot Q_o.$$

Аналогично находим расход через конический насадок

$$Q_2 = \frac{\mu_2}{\mu_o} \cdot Q_o = \frac{0,95}{0,62} \cdot Q_o = 1,53 \cdot Q_o$$

и расход через коноидальный насадок

$$Q_3 = \frac{\mu_3}{\mu_o} \cdot Q_o = \frac{0,97}{0,62} \cdot Q_o = 1,56 \cdot Q_o.$$

Потери напора можно найти из уравнения Бернулли, записанного для сечения 1–1, совпадающего со свободной поверхностью жидкости в резервуаре, и сечения 2–2, проведенного через выходное сечение насадка, которое после упрощений сводится к виду

$$H = \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + h_n.$$

Подставляя в это выражение значения $v_2 = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$ и $\alpha = 1$, после преобразований получаем

$$h_n = (1 - \varphi^2) \cdot H.$$

Потеря напора при истечении через отверстие

$$h_{no} = (1 - \varphi_o^2) \cdot H = (1 - 0,97^2) \cdot H = 0,06 \cdot H.$$

Потери напора при истечении через насадок:
цилиндрический

$$h_{n1} = (1 - \varphi_1^2) \cdot H = (1 - 0,82^2) \cdot H = 0,33 \cdot H;$$

конический

$$h_{n2} = (1 - \varphi_2^2) \cdot H = (1 - 0,95^2) \cdot H = 0,10 \cdot H;$$

коноидальный

$$h_{n3} = (1 - \varphi_3^2) \cdot H = (1 - 0,97^2) \cdot H = 0,06 \cdot H.$$

Таблица вариантов контрольных работ

№ в-та	Номера задач						№ в-та	Номера задач					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
1	<i>1</i>	<i>26</i>	<i>76</i>	<i>116</i>	<i>166</i>	<i>216</i>	26	<i>25</i>	<i>51</i>	<i>101</i>	<i>141</i>	<i>191</i>	<i>241</i>
2	<i>2</i>	<i>27</i>	<i>77</i>	<i>117</i>	<i>167</i>	<i>217</i>	27	<i>24</i>	<i>52</i>	<i>102</i>	<i>142</i>	<i>192</i>	<i>242</i>
3	<i>3</i>	<i>28</i>	<i>78</i>	<i>118</i>	<i>168</i>	<i>218</i>	28	<i>23</i>	<i>53</i>	<i>103</i>	<i>143</i>	<i>193</i>	<i>243</i>
4	<i>4</i>	<i>29</i>	<i>79</i>	<i>119</i>	<i>169</i>	<i>219</i>	29	<i>22</i>	<i>54</i>	<i>104</i>	<i>144</i>	<i>194</i>	<i>244</i>
5	<i>5</i>	<i>30</i>	<i>80</i>	<i>120</i>	<i>170</i>	<i>220</i>	30	<i>21</i>	<i>55</i>	<i>105</i>	<i>145</i>	<i>195</i>	<i>245</i>
6	<i>6</i>	<i>31</i>	<i>81</i>	<i>121</i>	<i>171</i>	<i>221</i>	31	<i>20</i>	<i>56</i>	<i>106</i>	<i>146</i>	<i>196</i>	<i>246</i>
7	<i>7</i>	<i>32</i>	<i>82</i>	<i>122</i>	<i>172</i>	<i>222</i>	32	<i>19</i>	<i>57</i>	<i>107</i>	<i>147</i>	<i>197</i>	<i>247</i>
8	<i>8</i>	<i>33</i>	<i>83</i>	<i>123</i>	<i>173</i>	<i>223</i>	33	<i>18</i>	<i>58</i>	<i>108</i>	<i>148</i>	<i>198</i>	<i>248</i>
9	<i>9</i>	<i>34</i>	<i>84</i>	<i>124</i>	<i>174</i>	<i>224</i>	34	<i>17</i>	<i>59</i>	<i>109</i>	<i>149</i>	<i>199</i>	<i>249</i>
10	<i>10</i>	<i>35</i>	<i>85</i>	<i>125</i>	<i>175</i>	<i>225</i>	35	<i>16</i>	<i>60</i>	<i>110</i>	<i>150</i>	<i>200</i>	<i>250</i>
11	<i>11</i>	<i>36</i>	<i>86</i>	<i>126</i>	<i>176</i>	<i>226</i>	36	<i>15</i>	<i>61</i>	<i>111</i>	<i>151</i>	<i>201</i>	<i>251</i>
12	<i>12</i>	<i>37</i>	<i>87</i>	<i>127</i>	<i>177</i>	<i>227</i>	37	<i>14</i>	<i>62</i>	<i>112</i>	<i>152</i>	<i>202</i>	<i>252</i>
13	<i>13</i>	<i>38</i>	<i>88</i>	<i>128</i>	<i>178</i>	<i>228</i>	38	<i>13</i>	<i>63</i>	<i>113</i>	<i>153</i>	<i>203</i>	<i>253</i>
14	<i>14</i>	<i>39</i>	<i>89</i>	<i>129</i>	<i>179</i>	<i>229</i>	39	<i>12</i>	<i>64</i>	<i>114</i>	<i>154</i>	<i>204</i>	<i>254</i>
15	<i>15</i>	<i>40</i>	<i>90</i>	<i>130</i>	<i>180</i>	<i>230</i>	40	<i>11</i>	<i>65</i>	<i>115</i>	<i>155</i>	<i>205</i>	<i>255</i>
16	<i>16</i>	<i>41</i>	<i>91</i>	<i>131</i>	<i>181</i>	<i>231</i>	41	<i>10</i>	<i>66</i>	<i>35</i>	<i>156</i>	<i>206</i>	<i>256</i>
17	<i>17</i>	<i>42</i>	<i>92</i>	<i>132</i>	<i>182</i>	<i>232</i>	42	<i>9</i>	<i>67</i>	<i>82</i>	<i>157</i>	<i>207</i>	<i>257</i>
18	<i>18</i>	<i>43</i>	<i>93</i>	<i>133</i>	<i>183</i>	<i>233</i>	43	<i>8</i>	<i>68</i>	<i>83</i>	<i>158</i>	<i>208</i>	<i>258</i>
19	<i>19</i>	<i>44</i>	<i>94</i>	<i>134</i>	<i>184</i>	<i>234</i>	44	<i>7</i>	<i>69</i>	<i>84</i>	<i>159</i>	<i>209</i>	<i>259</i>
20	<i>20</i>	<i>45</i>	<i>95</i>	<i>135</i>	<i>185</i>	<i>235</i>	45	<i>6</i>	<i>70</i>	<i>85</i>	<i>160</i>	<i>210</i>	<i>260</i>
21	<i>21</i>	<i>46</i>	<i>96</i>	<i>136</i>	<i>186</i>	<i>236</i>	46	<i>5</i>	<i>71</i>	<i>86</i>	<i>161</i>	<i>211</i>	<i>261</i>
22	<i>22</i>	<i>47</i>	<i>97</i>	<i>137</i>	<i>187</i>	<i>237</i>	47	<i>4</i>	<i>72</i>	<i>87</i>	<i>162</i>	<i>212</i>	<i>262</i>
23	<i>23</i>	<i>48</i>	<i>98</i>	<i>138</i>	<i>188</i>	<i>238</i>	48	<i>3</i>	<i>73</i>	<i>35</i>	<i>163</i>	<i>213</i>	<i>263</i>
24	<i>24</i>	<i>49</i>	<i>99</i>	<i>139</i>	<i>189</i>	<i>239</i>	49	<i>2</i>	<i>74</i>	<i>82</i>	<i>164</i>	<i>214</i>	<i>264</i>
25	<i>25</i>	<i>50</i>	<i>100</i>	<i>140</i>	<i>190</i>	<i>240</i>	50	<i>1</i>	<i>75</i>	<i>83</i>	<i>165</i>	<i>215</i>	<i>265</i>

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача 1

Определить плотность жидкости, полученной смешиванием 10 л жидкости плотностью $\rho_1 = 900 \text{ кг/м}^3$ и 20 л жидкости плотностью $\rho_2 = 870 \text{ кг/м}^3$.

Задача 2

Стальной трубопровод длиной $l = 300 \text{ м}$ и диаметром $D = 500 \text{ мм}$ испытывается на прочность гидравлическим способом. Определить объем воды, который необходимо дополнительно подать в трубопровод во время испытания, для повышения давления от $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ до $p_2 = 0,5 \text{ МПа}$. Расширение трубопровода не учитывать. Объемный модуль упругости воды $E = 2060 \text{ МПа}$.

Задача 3

Определить, насколько уменьшится давление масла в закрытом объеме ($V_o = 150 \text{ л}$) гидропривода, если суммарные утечки масла составили $\Delta V = 0,5 \text{ л}$, а коэффициент объемного сжатия жидкости $\beta_p = 7,5 \times 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$. Деформацией элементов объемного гидропривода, в которых находится указанный объем масла, пренебречь.

Задача 4

Определить повышение давления в закрытом объеме гидропривода при повышении температуры масла от 20 до 40 °С, если температурный коэффициент объемного расширения $\beta_t = 7 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{С}$, коэффициент объемного сжатия $\beta_p = 6,5 \times 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$. Утечками жидкости и деформацией элементов конструкции объемного гидропривода пренебречь.

Задача 5

Определить изменение положения уровня жидкости в вертикальном цилиндрическом резервуаре, заполненным при 0 °С маслом на высоту 2,7 м, при повышении температуры жидкости до 30 °С, если ее температурный коэффициент объемного расширения равен $0,0008 \text{ }^\circ\text{С}^{-1}$. Деформацией стенок резервуара пренебречь.

Задача 6

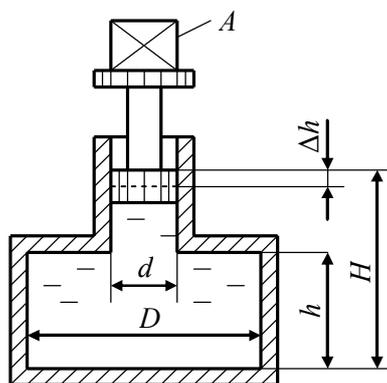
Давление воды в заполненном толстостенном плотно закрытом резервуаре равно $0,2 \text{ МПа}$. Как изменится давление при повышении температуры воды от 10 до 30°C . Деформацией стенок резервуара и изменением плотности воды при изменении температуры пренебречь.

Задача 7

Канистра, заполненная бензином и не содержащая воздуха, нагрелась на солнце до температуры 50°C . На сколько повысилось бы давление бензина внутри канистры, если бы она была абсолютно жесткой? Начальная температура бензина 20°C . Модуль объемной упругости бензина принять равным $E = 1300 \text{ МПа}$, температурный коэффициент объемного расширения $\beta_t = 8 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Задача 8

Определить объемный модуль упругости жидкости, если под действием груза A массой 250 кг поршень прошел расстояние $\Delta h = 5 \text{ мм}$. Начальная высота положения поршня (без груза) $H = 1,5 \text{ м}$, диаметры поршня $d = 80 \text{ мм}$ и резервуара $D = 300 \text{ мм}$, высота резервуара $h = 1,3 \text{ м}$. Весом поршня пренебречь. Резервуар считать абсолютно жестким.

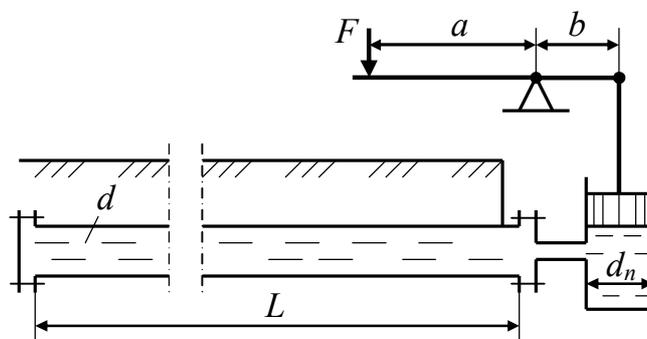


Задача 9

Для опрессовки водой подземного трубопровода (проверки герметичности) применяется ручной поршневой насос. Определить объем воды (модуль упругости $E = 2000 \text{ МПа}$), который нужно закачать в трубопровод для повышения избыточного давления в нем от 0 до $1,0 \text{ МПа}$. Трубопровод считать абсолютно жестким.

Размеры трубопровода: длина $L = 500$ м, диаметр $d = 100$ мм.

Чему равно усилие на рукоятке насоса в последний момент опрессовки, если диаметр поршня насоса $d_n = 40$ мм, а соотношение плеч рычажного механизма $a/b = 5$?



Задача 10

В результате действия внешней нагрузки давление в вертикально расположенном гидроцилиндре возросло от $p_1 = 10$ МПа до $p_2 = 15$ МПа. Определить изменение плотности масла и величину опускания штока, если объем внутренней полости гидроцилиндра при полностью выдвинутом штоке составляет $V = 770$ см³, а диаметр поршня гидроцилиндра $d = 70$ мм.

Плотность масла ρ и модуль объемной упругости E принять равными соответственно 890 кг/м³ и 1362 МПа.

Задача 11

Для гидравлического испытания подземного трубопровода (проверка герметичности) применяется ручной поршневой насос. Определить объем воды (модуль объемной упругости $E = 2050$ МПа), который нужно закачать насосом в трубопровод для повышения избыточного давления в нем от 0 до $p_m = 1,5$ МПа. Трубопровод считать абсолютно жестким. Размеры трубопровода: длина $l = 100$ м, диаметр $d = 50$ мм.

Задача 12

В гидромотор ежеминутно поступает минеральное масло в объеме $V = 50$ л с температурой $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Отработанное масло, сливаемое из гидромотора, имеет температуру $t_2 = 40^\circ\text{C}$. Температурный коэффици-

ент объемного расширения масла $\beta_t = 700 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Определить, какой объем масла ежеминутно сливается из гидромотора.

Задача 13

Рабочая жидкость получена смешиванием двух масел: плотность первого масла $\rho_1 = 880 \text{ кг/м}^3$, плотность второго — $\rho_2 = 910 \text{ кг/м}^3$. Объем полученной смеси $V_{см} = 100 \text{ л}$. Определить содержание каждого масла в смеси, если ее плотность $\rho_{см} = 886 \text{ кг/м}^3$.

Задача 14

Смесь минерального масла и керосина имеет плотность $\rho_{см} = 860 \text{ кг/м}^3$. Керосин составляет 40% от объема смеси. Определить плотность минерального масла.

Задача 15

Определить изменение объема и плотности керосина при изменении ее температуры от $t_1 = 30^\circ\text{C}$ до $t_2 = 45^\circ\text{C}$.

Первоначальный объем керосина $V = 100 \text{ л}$.

Задача 16

Определить изменение объема и плотность воды, находящейся в открытом резервуаре, при ее охлаждении от начальной температуры $t_1 = 60^\circ\text{C}$ до конечной температуры $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Плотность воды при температуре 60°C принять равной 983 кг/м^3 . Первоначальный объем нагретой воды $V = 100 \text{ л}$.

Задача 17

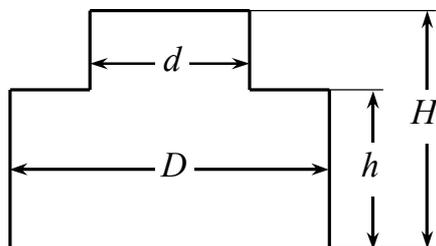
Определить изменение объема и плотности воды при изменении избыточного давления от $p_1 = 2 \text{ МПа}$ до $p_2 = 7 \text{ МПа}$.

Первоначальный объем воды $V = 75 \text{ л}$.

Задача 18

Определить массу и вес жидкости в резервуаре, если плотность жидкости $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Размеры резервуара: диаметр верхней части

$d = 50$ мм, диаметр нижней части $D = 100$ мм, высота нижней части $h = 80$ мм, высота резервуара $H = 120$ мм.



Задача 19

Стальной толстостенный резервуар, объем которого 42 дм^3 , заполнен водой и плотно закрыт при температуре 20°C и давлении $1 \times 10^5 \text{ Па}$. Определить давление в баллоне при температуре воды в нем 60°C . Плотность воды при температуре 20°C равна 998 кг/м^3 , а при температуре 60°C — 983 кг/м^3 .

Задача 20

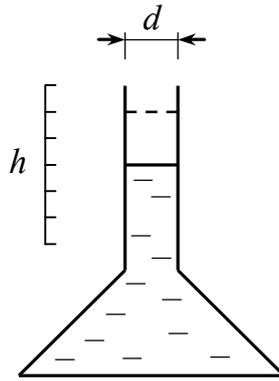
Определить плотность и кинематическую вязкость рабочей жидкости, полученной смешиванием минерального масла АМГ-10 и керосина. Объем минерального масла $V_m = 10 \text{ л}$, объем керосина $V_k = 20 \text{ л}$.

Задача 21

При испытании прочности вертикального цилиндрического резервуара гидравлическим способом он был заполнен водой под давлением 6 МПа . Через некоторое время в результате утечки части воды через неплотности, давление в баллоне снизилось вдвое. Размеры резервуара: диаметр $D = 350 \text{ мм}$, высота $H = 1200 \text{ мм}$. Пренебрегая деформацией стенок резервуара, определить объем воды, вытекшей за время испытания.

Задача 22

Определить повышение h (мм) уровня спирта в цилиндрической части колбы, при изменении температуры от $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $t_2 = 50^\circ\text{C}$. Первоначальный объем спирта $V = 200 \text{ мл}$. Диаметр цилиндрической части колбы $d = 10 \text{ мм}$.



Задача 23

Резервуар, объем которого 36 дм^3 , заполнен нефтью и плотно закрыт при давлении $1 \times 10^5 \text{ Па}$.

Какое количество нефти необходимо закачать в резервуар дополнительно, чтобы давление в нем повысилось в 25 раз?

Истинный модуль упругости нефти равен $1325 \times 10^6 \text{ Па}$. Деформацией стенок резервуара пренебречь.

Задача 24

При испытании прочности резервуара гидравлическим способом он был заполнен водой под давлением в $5,0 \text{ МПа}$. Через некоторое время в результате утечки части воды через неплотности давление в резервуаре снизилось до $1,15 \text{ МПа}$.

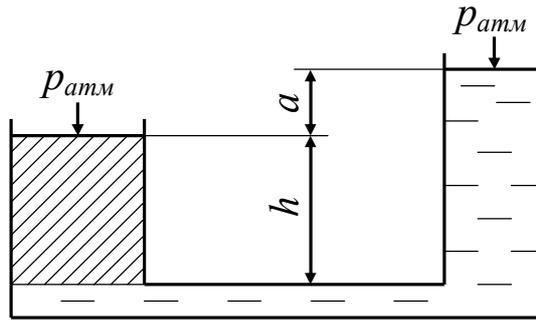
Пренебрегая деформацией стенок резервуара, определить объем воды, вытекшей за время испытания. Объем резервуара равен 20 м^3 .

Задача 25

Стальной трубопровод длиной $l = 90 \text{ м}$ и внутренним диаметром $d = 800 \text{ мм}$ перед гидравлическим испытанием заполнен водой, находящейся под атмосферным давлением. Определить сколько нужно добавить в трубопровод воды, чтобы давление в нем повысилось на величину $\Delta p = 2,0 \text{ МПа}$. Температура воды $t = 20^\circ \text{ С}$.

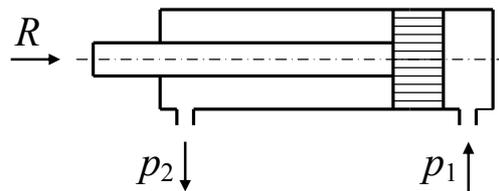
Задача 26

В сообщающиеся резервуары налиты вода ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) и бензин. Определить плотность бензина, если высота столба воды $h = 150 \text{ мм}$, а разность уровней жидкости в резервуарах $a = 60 \text{ мм}$.



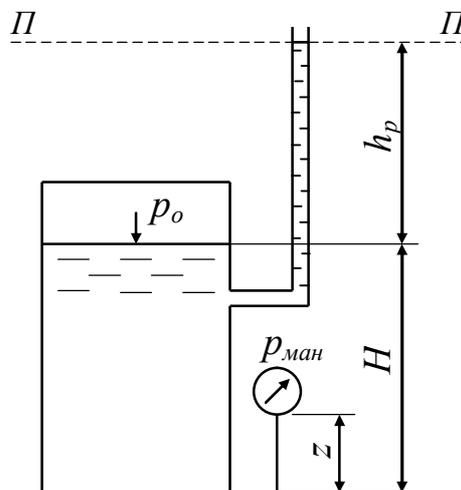
Задача 27

Определить давление масла p_1 , подводимого в поршневую полость гидроцилиндра, если избыточное давление в штоковой полости $p_2 = 80 \text{ кПа}$, усилие на штоке $R = 10 \text{ кН}$, сила трения поршня о цилиндр $F = 0,4 \text{ кН}$, диаметр поршня $D = 125 \text{ мм}$, диаметр штока $d = 70 \text{ мм}$.



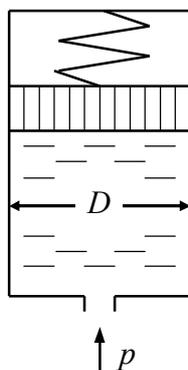
Задача 28

Манометр, подключенный к закрытому резервуару с нефтью ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$), показывает избыточное давление $p_{\text{ман}} = 36 \text{ кПа}$. Определить абсолютное давление воздуха на поверхности жидкости p_o и положение пьезометрической плоскости h_p , если уровень нефти в резервуаре $H = 3,06 \text{ м}$, а расстояние от точки подключения до центра манометра $z = 1,02 \text{ м}$, атмосферное давление $p_{\text{атм}} = 100 \text{ кПа}$.



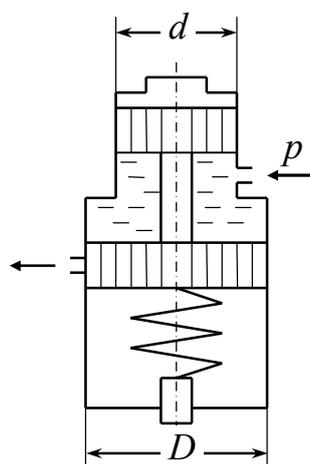
Задача 29

Поршень пружинного гидроаккумулятора диаметром $D = 250$ мм во время зарядки поднялся вверх на высоту $x = 14$ см. Определить жесткость пружины c , если давление жидкости $p = 1,0$ МПа. Трением между поршнем и цилиндром, а также весом поршня пренебречь.



Задача 30

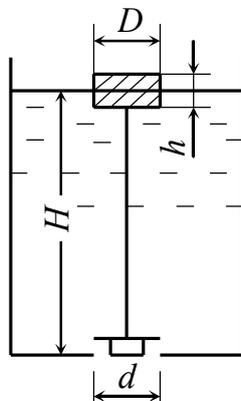
В дифференциальном предохранительном клапане предварительный натяг пружины $x = 18$ мм, жесткость пружины $c = 7,5$ Н/мм. Определить давление жидкости, при котором клапан откроется, если диаметры поршней $D = 25$ мм и $d = 20$ мм. Весом поршней и силой трения пренебречь.



Задача 31

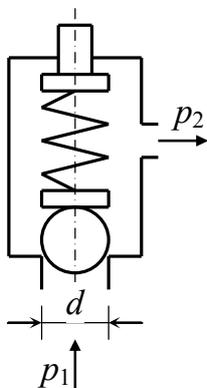
Во избежание переполнения водой резервуар снабжен поплавковым клапаном, перекрывающим отверстие диаметром $d = 50$ мм в дне резервуара. Определить диаметр D цилиндрического поплавка высотой

$h = 100$ мм, при котором максимальный уровень воды в резервуаре не будет превышать $H = 1,0$ м. Вес клапана $G = 10$ Н, весом поплавка пренебречь.



Задача 32

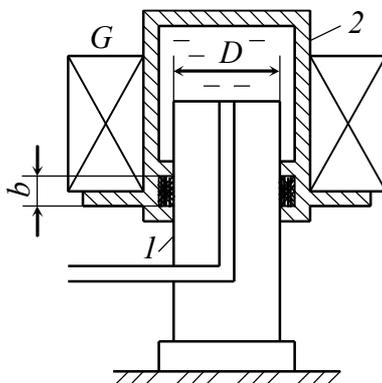
Определить величину предварительной деформации пружины, прижимающей шарик к седлу предохранительного клапана диаметром $d = 25$ мм, если он открылся при давлении $p_1 = 2,5$ МПа. Давление после клапана $p_2 = 0,35$ МПа, жесткость пружины $c = 150$ Н/мм. Весом шарика, пружины и шайбы пренебречь.



Задача 33

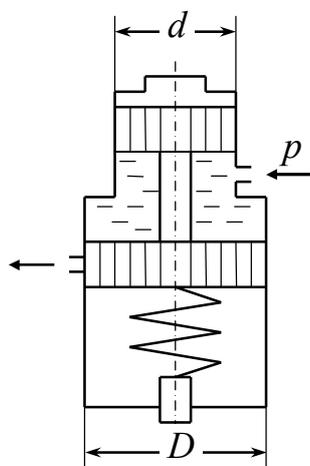
Гидравлический аккумулятор состоит из плунжера 1, помещенного в цилиндр 2, который поднимается вместе с грузом при зарядке (нагнетании жидкости в цилиндр). При разрядке аккумулятора цилиндр, скользя по плунжеру, опускается вниз и жидкость под давлением подается к потребителю. Определить давление при зарядке и разрядке аккумулятора, если диаметр плунжера $D = 250$ мм, вес груза вместе с по-

движными частями $G = 900 \text{ кН}$, коэффициент трения манжеты о плунжер $f = 0,10$, ширина манжеты $b = 35 \text{ мм}$.



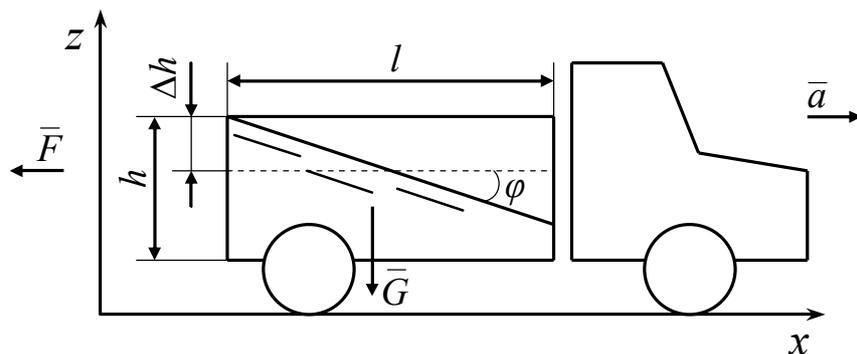
Задача 34

Диаметры поршней дифференциального предохранительного клапана равны соответственно $D = 30 \text{ мм}$ и $d = 20 \text{ мм}$. Пренебрегая весом поршней и силой трения, определить давление, при котором клапан откроется, если жесткость пружины равна $c = 50 \text{ Н/мм}$, а ее предварительный натяг $x_0 = 12 \text{ мм}$.



Задача 35

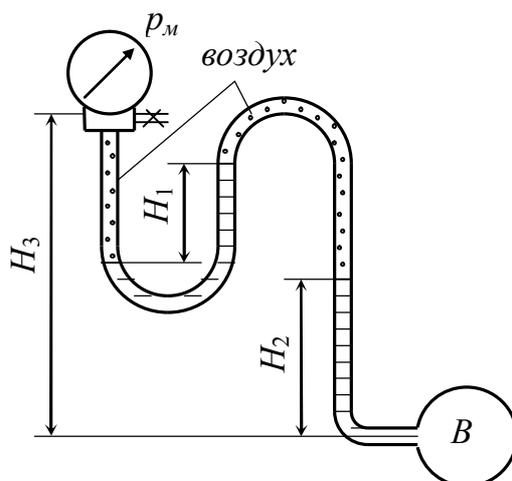
Определить длину пути разгона L автомобиля-самосвала от скорости $u_0 = 0$ до $u = 40 \text{ км/ч}$ и максимальное ускорение a , при котором цементный раствор ($\rho = 2200 \text{ кг/м}^3$) не выплеснется из его кузова, длина которого $l = 2,6 \text{ м}$, ширина $b = 1,8 \text{ м}$ и высота $h = 0,8 \text{ м}$. Раствор заполняет кузов на $3/4$ его высоты. С какой силой при этом ускорении цементный раствор действует на задний борт кузова? Движение автомобиля считать прямолинейным и равноускоренным.



Задача 36

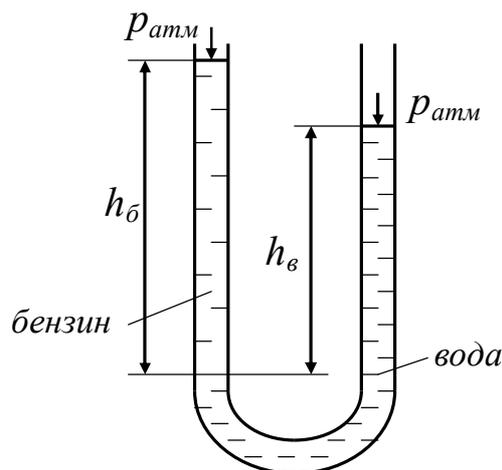
Определить избыточное давление воды в трубе B , если показание манометра $p_m = 0,025 \text{ МПа}$. Соединительная трубка заполнена водой и воздухом, как показано на схеме, причем $H_1 = 0,5 \text{ м}$; $H_2 = 3 \text{ м}$.

Как изменится показание манометра, если при том же давлении в трубе всю соединительную трубку заполнить водой (воздух выпустить через кран)? Высота $H_3 = 5 \text{ м}$.



Задача 37

В U-образную трубку налиты вода и бензин. Определить плотность бензина, если $h_b = 500 \text{ мм}$; $h_g = 350 \text{ мм}$. Капиллярный эффект не учитывать.

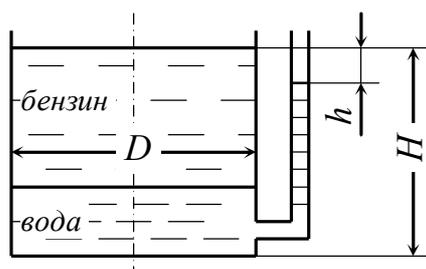


Задача 38

Определить избыточное давление на дне океана, глубина которого $H = 10$ км, приняв плотность морской воды $\rho = 1030$ кг/м³ и считая ее несжимаемой. Определить плотность воды на той же глубине с учетом сжимаемости и приняв модуль объемной упругости $E = 2000$ МПа.

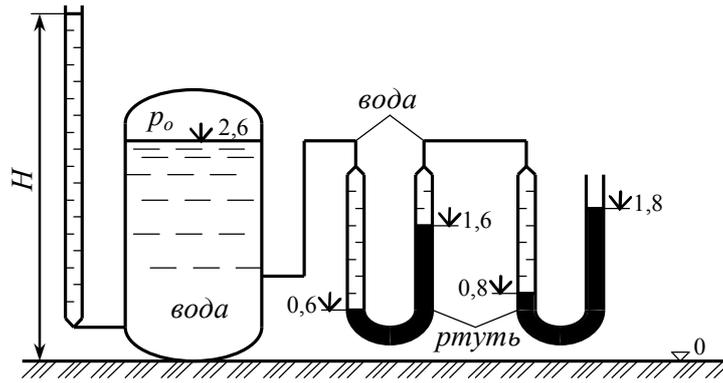
Задача 39

В цилиндрический бак диаметром $D = 2$ м до уровня $H = 1,5$ м налиты вода и бензин. Уровень воды в пьезометре ниже уровня бензина в баке на $h = 300$ мм. Определить вес находящегося в баке бензина, если его плотность $\rho_б = 700$ кг/м³.



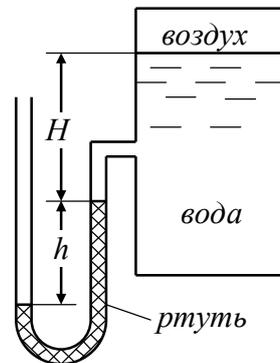
Задача 40

Определить избыточное давление p_o воздуха в напорном баке по показанию манометра, составленного из двух U-образных трубок с ртутью. Соединительные трубки заполнены водой. Отметки уровней даны в метрах. Какой высоты H должен быть пьезометр для измерения того же давления p_o ? Плотность ртути $\rho_{рт} = 13\,600$ кг/м³.



Задача 41

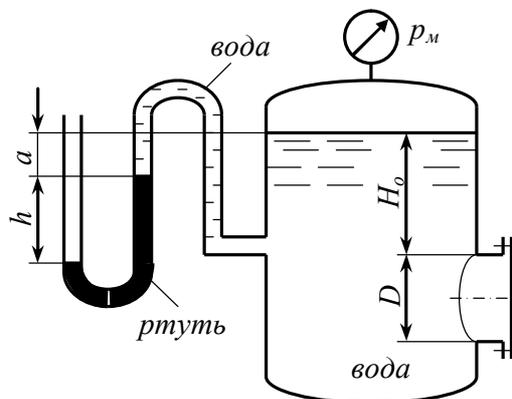
Определить абсолютное давление воздуха в резервуаре, если показание ртутного прибора $h = 368$ мм, высота $H = 1$ м. Плотность ртути $\rho_{рт} = 13\,600$ кг/м³. Атмосферное давление 736 мм рт. ст.



Задача 42

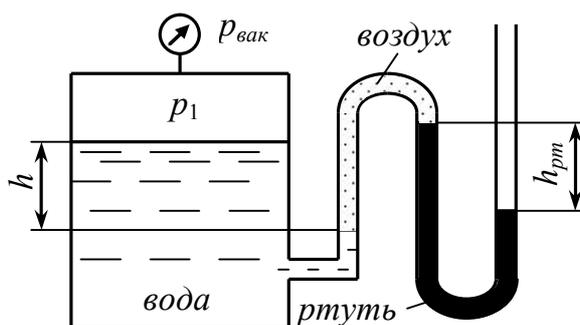
Определить силу давления жидкости (воды) на крышку люка диаметром $D = 1$ м в следующих двух случаях:

- 1) показание манометра $p_m = 0,08$ МПа; $H_0 = 1,5$ м;
- 2) показание ртутного вакуумметра $h = 73,5$ мм при $a = 1$ м; $\rho_{рт} = 13\,600$ кг/м³; $H_0 = 1,5$ м.



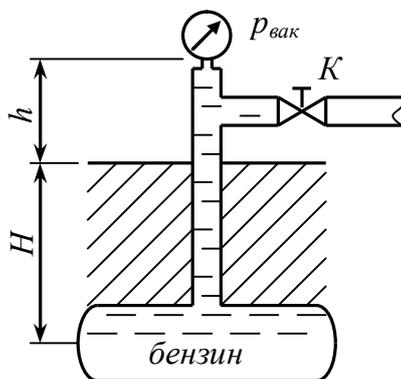
Задача 43

Определить абсолютное давление воздуха p_1 в герметично закрытом баке если при атмосферном давлении, соответствующем $h_{атм} = 760 \text{ мм рт. ст.}$, показание ртутного вакуумметра $h_{рт} = 0,2 \text{ м}$, высота $h = 1,5 \text{ м}$. Каково при этом будет показание пружинного вакуумметра? Плотность ртути $\rho_{рт} = 13\,600 \text{ кг/м}^3$.



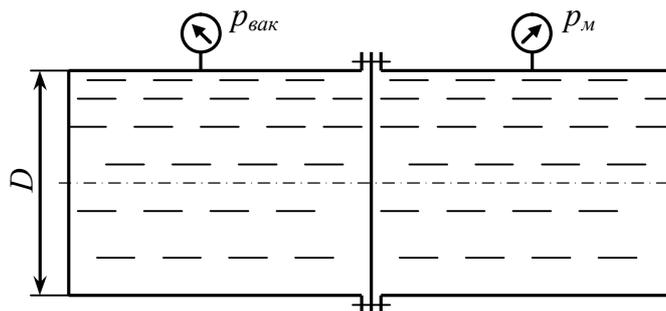
Задача 44

При перекрытом кране трубопровода K определить абсолютное давление в резервуаре, зарытом на глубине $H = 5 \text{ м}$, если показание вакуумметра, установленного на высоте $h = 1,7 \text{ м}$, равно $p_{вак} = 0,02 \text{ МПа}$. Атмосферное давление соответствует $h_{атм} = 740 \text{ мм рт. ст.}$. Плотность бензина $\rho_б = 700 \text{ кг/м}^3$.



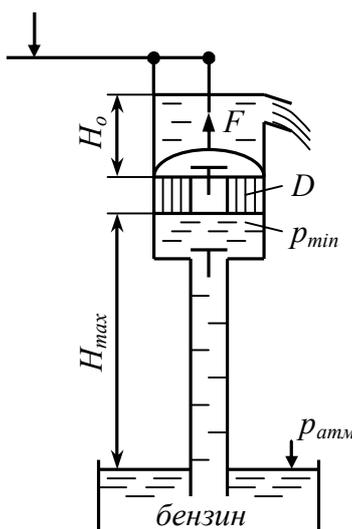
Задача 45

Определить значение силы, действующей на перегородку, которая разделяет бак, если ее диаметр $D = 0,5 \text{ м}$, показания вакуумметра $p_{вак} = 0,08 \text{ МПа}$ и манометра $p_м = 0,1 \text{ МПа}$.



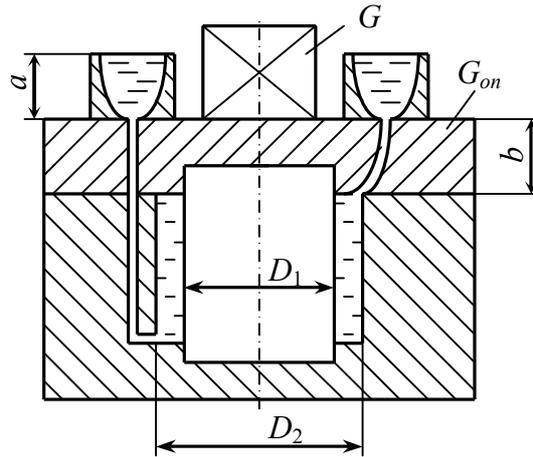
Задача 46

Определить максимальную высоту H_{max} , на которую можно подкачивать бензин поршневым насосом, если давление его насыщенных паров составляет $h_{н.п} = 200 \text{ мм рт. ст.}$, а атмосферное давление $h_{атм} = 700 \text{ мм рт. ст.}$ Чему равна при этом сила вдоль штока, если $H_o = 1 \text{ м}$; $\rho_{б} = 700 \text{ кг/м}^3$; $D = 50 \text{ мм}$?



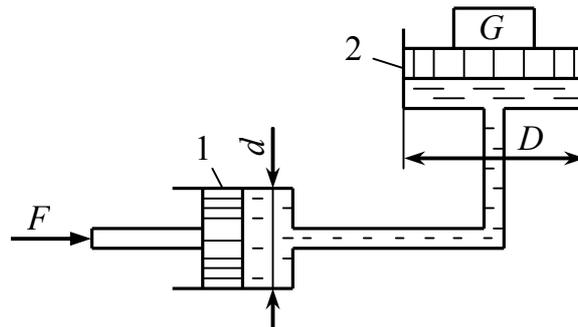
Задача 47

Определить минимальный вес груза G , который при заливке формы чугуном нужно положить на верхнюю опоку, чтобы предотвратить ее всплывание. Вес верхней опоки $G_{он} = 650 \text{ Н}$. Плотность жидкого чугуна $\rho = 7000 \text{ кг/м}^3$. Вес чугуна в литниках и выпорах не учитывать. Размеры: $a = 150 \text{ мм}$; $b = 150 \text{ мм}$; $D_1 = 160 \text{ мм}$; $D_2 = 300 \text{ мм}$.



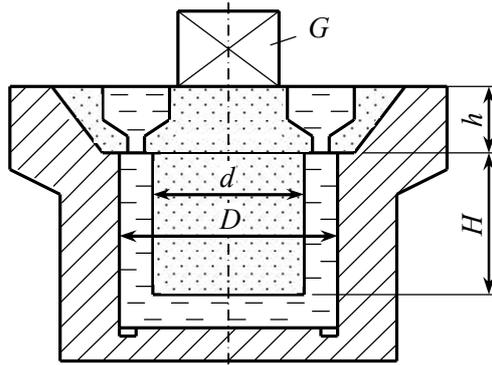
Задача 48

Определить давление в гидросистеме и вес груза G , лежащего на поршне 2, если для его подъема к поршню 1 приложена сила $F = 1 \text{ кН}$. Диаметры поршней: $D = 300 \text{ мм}$; $d = 80 \text{ мм}$. Разностью высот пренебречь.



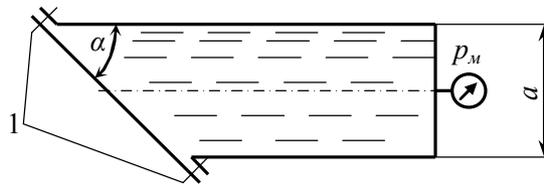
Задача 49

Определить минимальный вес груза G , который при заливке формы чугуном нужно положить на верхний стержень, чтобы предотвратить его всплытие. Вес стержня с учетом веса чугуна в литнике и выпоре $G_1 = 50 \text{ Н}$. Плотность жидкого чугуна $\rho = 7000 \text{ кг/м}^3$; размеры: $H = 200 \text{ мм}$; $h = 80 \text{ мм}$; $D = 140 \text{ мм}$; $d = 120 \text{ мм}$.



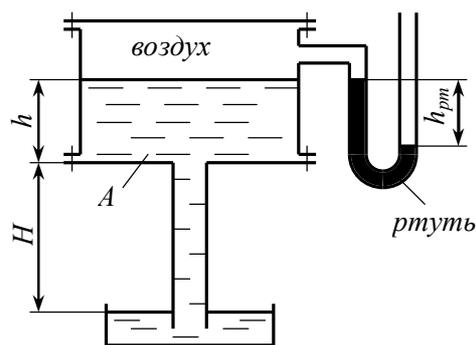
Задача 50

Определить силу, действующую на болты l крышки бака, если показание манометра $p_m = 2 \text{ МПа}$, а угол наклона крышки $\alpha = 45^\circ$. В поперечном сечении бак имеет форму квадрата со стороной $a = 200 \text{ мм}$.



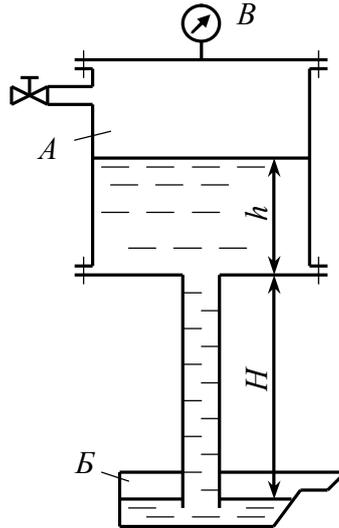
Задача 51

В резервуаре A и в вертикальной трубе вода находится в состоянии покоя. Показание ртутного U -образного прибора $h_{рт} = 295 \text{ мм}$. Определить высоту H , если $h = 1 \text{ м}$.



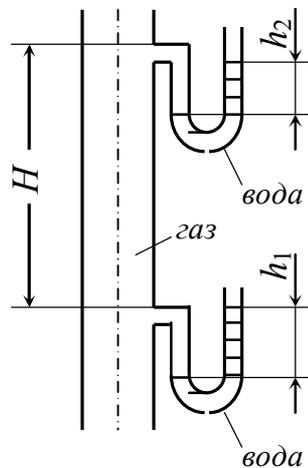
Задача 52

В герметичном резервуаре-питателе A находится расплавленный металл ($\rho = 8000 \text{ кг/м}^3$). При показании вакуумметра $p_{\text{вак}} = 0,07 \text{ МПа}$ заполнение разливочного ковша B прекратилось. При этом $H = 750 \text{ мм}$. Определить высоту уровня металла h в резервуаре-питателе A .



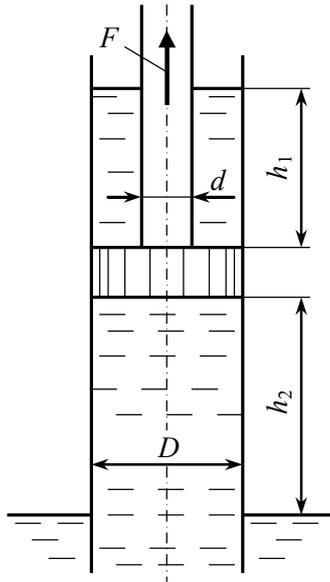
Задача 53

Избыточный напор газа на первом этаже дома составляет $h_1 = 100$ мм вод. ст. Определить избыточный напор h_2 газа на высоте $H = 60$ м, считая плотность воздуха и газа неизменными. Плотность газа $\rho_g = 0,70$ кг/м³, воздуха $\rho_v = 1,29$ кг/м³.



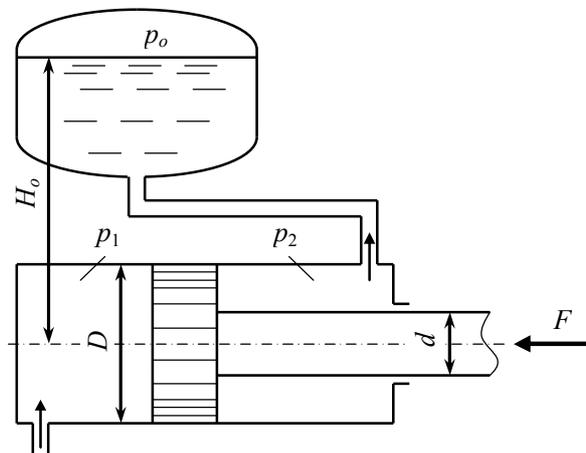
Задача 54

Определить силу F , необходимую для удержания поршня на высоте $h_2 = 2$ м над поверхностью воды в колодце. Над поршнем поднимается столб воды высотой $h_1 = 3$ м. Диаметры: поршня $D = 100$ мм; штока $d = 30$ мм. Вес поршня и штока не учитывать.



Задача 55

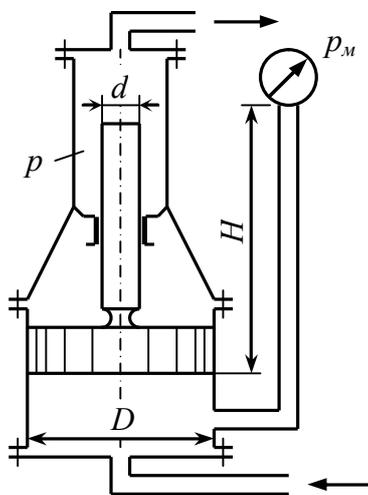
Определить давление p_1 жидкости, которую необходимо подвести к гидроцилиндру, чтобы преодолеть усилие, направленное вдоль штока $F = 1$ кН. Диаметры: цилиндра $D = 50$ мм; штока $d = 25$ мм. Давление в бачке $p_o = 50$ кПа, высота $H_o = 5$ м. Силу трения не учитывать. Плотность жидкости $\rho = 1000$ кг/м³.



Задача 56

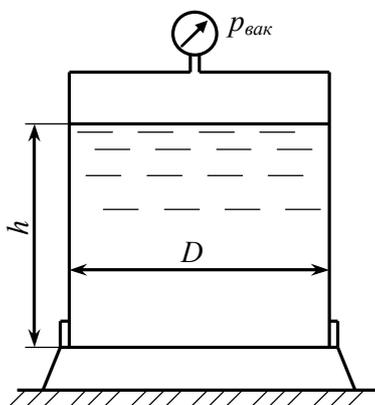
Определить давление p в верхнем цилиндре гидропреобразователя (мультипликатора), если показание манометра, присоединенного к нижнему цилиндру, равно $p_m = 0,48$ МПа. Поршни перемещаются вверх, причем сила трения составляет 10% от силы давления жидкости на

нижний поршень. Вес поршней $G = 4 \text{ кН}$. Диаметры поршней: $D = 400 \text{ мм}$, $d = 100 \text{ мм}$; высота $H = 2,5 \text{ м}$; плотность масла $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.



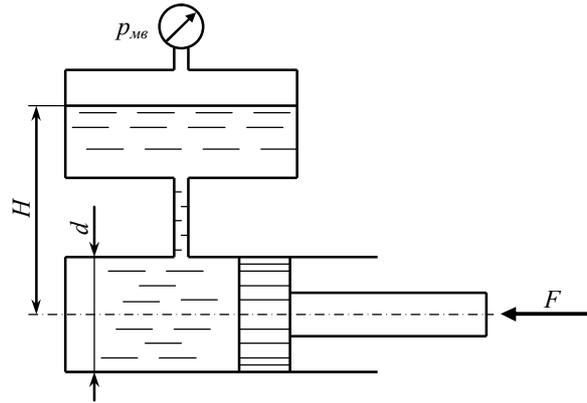
Задача 57

В резервуаре находится расплавленный свинец ($\rho = 11 \text{ г/см}^3$). Определить силу давления, действующую на дно резервуара, если высота уровня свинца $h = 500 \text{ мм}$, диаметр резервуара $D = 400 \text{ мм}$, показание мановакуумметра $p_{\text{вак}} = 30 \text{ кПа}$.



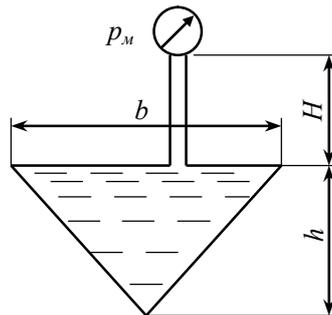
Задача 58

Определить показание мановакуумметра $p_{\text{мв}}$, если к штоку поршня приложена сила $F = 0,1 \text{ кН}$, его диаметр $d = 100 \text{ мм}$, высота $H = 1,5 \text{ м}$, плотность жидкости $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$.



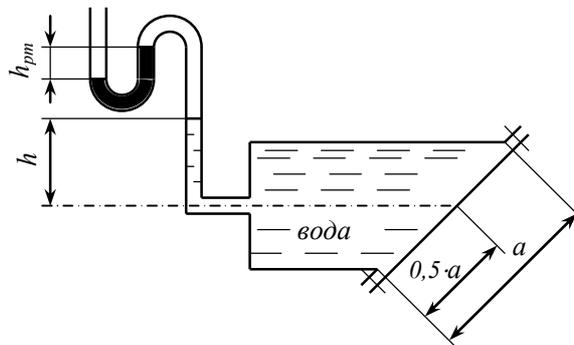
Задача 59

Определить силу, действующую на каждую из четырех стенок резервуара, имеющего форму перевернутой правильной пирамиды, если $p_m = 0,5 \text{ МПа}$, $H = 4 \text{ м}$ и $h = 1,2 \text{ м}$; каждая сторона основания пирамиды $b = 0,8 \text{ м}$. Плотность жидкости $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$.



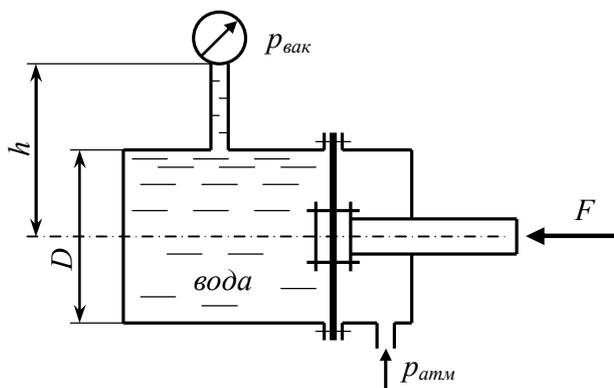
Задача 60

Определить силы, действующие на верхние F_v и нижние F_n болты крышки, которая имеет форму прямоугольника высотой $a = 0,64 \text{ м}$ и шириной $b = 1,5 \text{ м}$. Показание ртутного вакуумметра $h_{pm} = 150 \text{ мм}$, высота $h = 2,2 \text{ м}$.



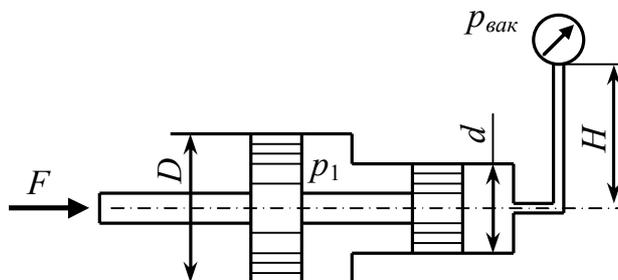
Задача 61

Определить силу F , действующую на шток гибкой диафрагмы, если ее диаметр $D = 200$ мм, показание вакуумметра $p_{\text{вак}} = 0,05$ МПа, высота $h = 1$ м. Площадь штока пренебречь. Найти абсолютное давление в левой полости, если $h_{\text{атм}} = 740$ мм рт. ст.



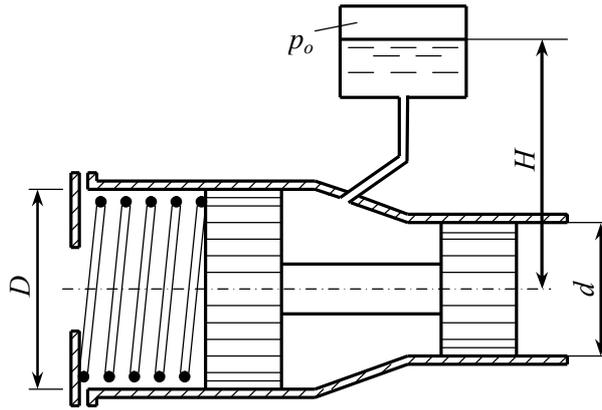
Задача 62

Определить силу F на штоке золотника, если показание вакуумметра $p_{\text{вак}} = 60$ кПа, избыточное давление $p_1 = 1$ МПа, высота $H = 3$ м, диаметры поршней $D = 20$ мм и $d = 15$ мм, плотность жидкости $\rho = 1000$ кг/м³.



Задача 63

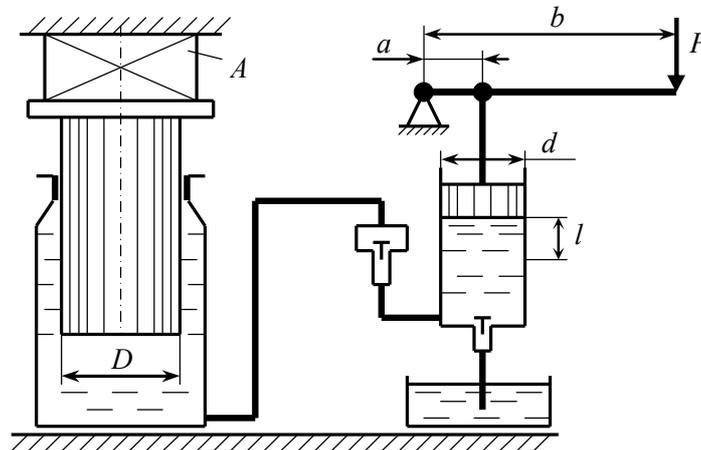
Система из двух поршней, соединенных штоком, находится в равновесии. Определить силу, сжимающую пружину. Жидкость, находящаяся между поршнями и в бачке, — масло с плотностью $\rho = 870$ кг/м³. Диаметры поршней: $D = 80$ мм и $d = 30$ мм; высота $H = 1000$ мм; избыточное давление $p_o = 10$ кПа.



Задача 64

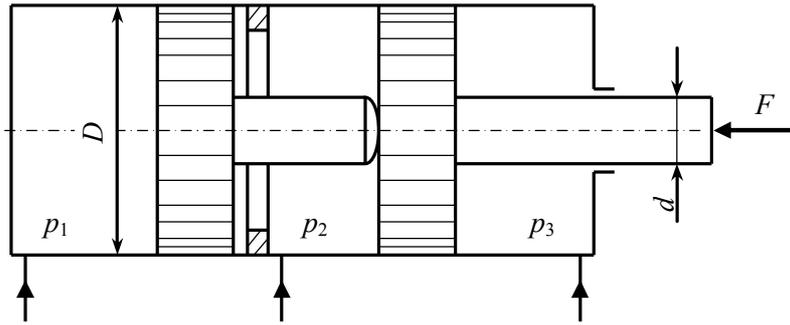
Давление в цилиндре гидравлического пресса повышается в результате нагнетания в него жидкости ручным поршневым насосом и сжатия ее в цилиндре. Определить число двойных ходов n поршня ручного насоса, необходимое для увеличения силы прессования детали A от 0 до 0,8 МН, если диаметры поршней: $D = 500$ мм и $d = 10$ мм; ход поршня ручного насоса $l = 30$ мм; объемный модуль упругости жидкости $E = 1300$ МПа; объем жидкости в прессе $V = 60$ л.

Чему равно максимальное усилие F на рукоятке насоса при ходе нагнетания, если $b/a = 10$?



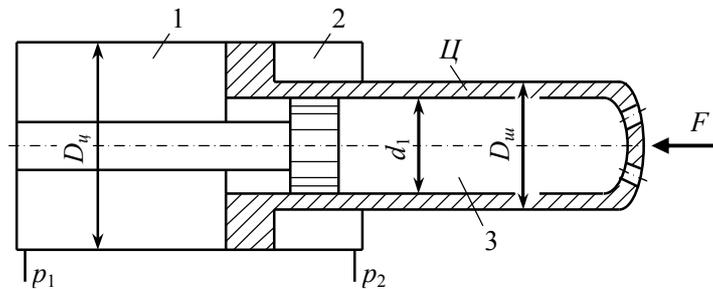
Задача 65

Определить давление p_1 , необходимое для удержания штоком трехпозиционного гидроцилиндра нагрузки $F = 50$ кН. Давление $p_2 = p_3 = 0,3$ кПа, диаметры: $D = 40$ мм; $d = 20$ мм.



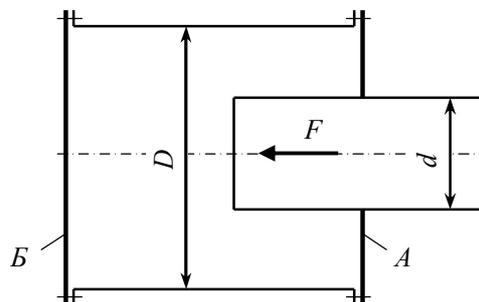
Задача 66

Определить давление p_1 , необходимое для удержания цилиндром Ц нагрузки $F = 70 \text{ кН}$. Противодействие в полости 2 равно $p_2 = 0,3 \text{ МПа}$, давление в полости 3 равно атмосферному. Диаметры: $D_y = 80 \text{ мм}$; $D_{ш} = 70 \text{ мм}$; $d_1 = 50 \text{ мм}$.



Задача 67

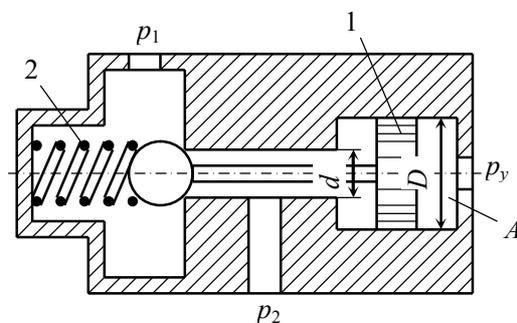
Определить нагрузку, действующую на болты крышек А и Б гидравлического цилиндра диаметром $D = 160 \text{ мм}$, если к плунжеру диаметром $d = 120 \text{ мм}$ приложена сила $F = 20 \text{ кН}$.



Задача 68

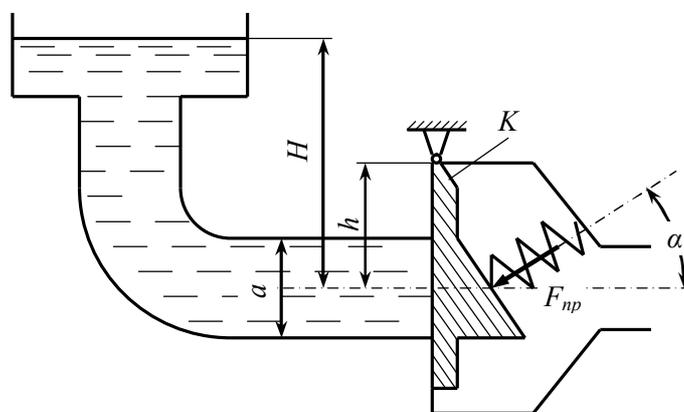
На рисунке представлена конструктивная схема гидрозамка, проходное сечение которого открывается при подаче в полость А управляющего потока жидкости с давлением p_y . Определить, при каком мини-

мальном значении давления p_y толкатель поршня 1 сможет открыть шариковый клапан, если известно: предварительное усилие пружины 2 $F = 50 \text{ Н}$; диаметры $D = 25 \text{ мм}$ и $d = 15 \text{ мм}$; величины давления $p_1 = 0,5 \text{ МПа}$ и $p_2 = 0,2 \text{ МПа}$. Силами трения пренебречь.



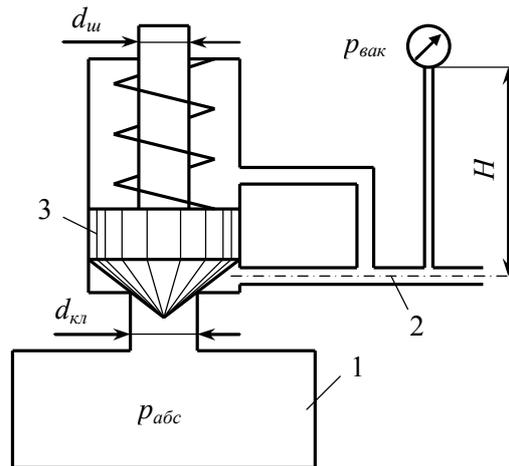
Задача 69

Определить, при какой высоте уровня воды начнет открываться клапан K , если сила пружины $F_{np} = 2 \text{ кН}$, угол ее установки $\alpha = 45^\circ$, высота $h = 0,3 \text{ м}$. Труба перед клапаном имеет квадратное сечение со стороной $a = 300 \text{ мм}$.



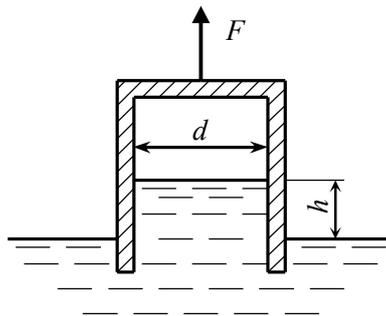
Задача 70

Определить абсолютное давление в резервуаре 1, если подача жидкости из него по трубопроводу 2 прекратилась и клапан 3 закрылся. Показание вакуумметра $p_{\text{вак}} = 0,05 \text{ МПа}$, высота $H = 2,5 \text{ м}$, сила пружины $F_{np} = 10 \text{ Н}$, плотность жидкости $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$, атмосферное давление соответствует $h_{\text{атм}} = 755 \text{ мм рт. ст.}$, диаметры клапана (седла) $d_{\text{кл}} = 20 \text{ мм}$, штока $d_{\text{ш}} = 10 \text{ мм}$. Вертикальными размерами клапана 3 пренебречь.



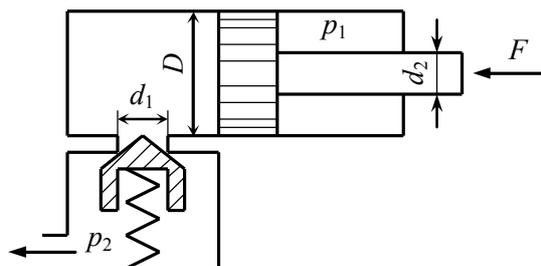
Задача 71

Определить абсолютное давление на поверхности жидкости в резервуаре и высоту h , если атмосферное давление соответствует $h_{атм} = 740 \text{ мм рт. ст.}$, поддерживающая сила $F = 10 \text{ Н}$, вес резервуара $G = 2 \text{ Н}$, а его диаметр $d = 60 \text{ мм}$. Толщиной стенки резервуара пренебречь. Плотность жидкости $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.



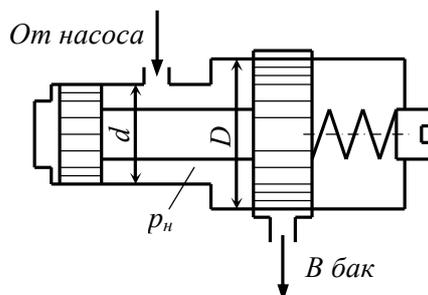
Задача 72

Определить минимальное значение силы F , приложенной к штоку, под действием которой начнется движение поршня диаметром $D = 80 \text{ мм}$, если сила пружины, прижимающая клапан к седлу, равна $F_0 = 100 \text{ Н}$, а давление жидкости $p_2 = 0,2 \text{ МПа}$. Диаметр входного отверстия клапана (седла) $d_1 = 10 \text{ мм}$. Диаметр штока $d_2 = 40 \text{ мм}$, давление жидкости в штоковой полости гидроцилиндра $p_1 = 1,0 \text{ МПа}$.



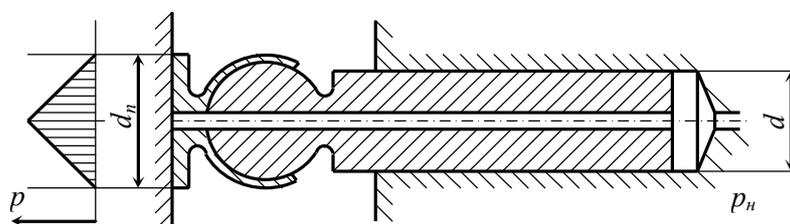
Задача 73

Определить величину предварительного поджатия пружины дифференциального предохранительного клапана (мм), обеспечивающую начало открытия клапана при $p_n = 0,8 \text{ МПа}$. Диаметры клапана: $D = 24 \text{ мм}$, $d = 18 \text{ мм}$; жесткость пружины $c = 6 \text{ Н/мм}$. Давление справа от большого и слева от малого поршней — атмосферное.



Задача 74

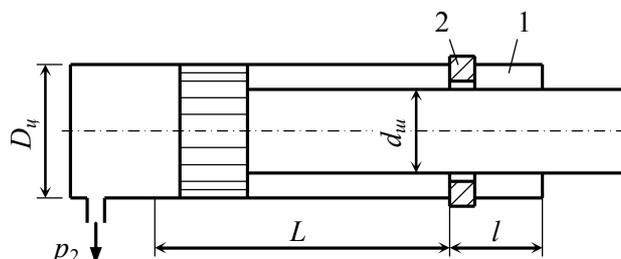
Определить диаметр пяты d_n плунжера аксиально-плунжерного насоса из условия безотрывного скольжения пяты по диску с 5%-ным запасом по прижимающей силе. Закон распределения давления в зазоре принять линейным (см. эпюру). Диаметр плунжера $d = 12 \text{ мм}$. Площадь отверстия в плунжере не учитывать.



Задача 75

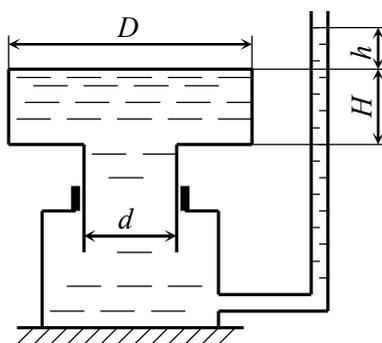
Для обеспечения обратного хода гидроцилиндра его полость l заполнена воздухом под начальным давлением p_1 . Найти размер l , опреде-

ляющий положение стопорного кольца 2, которое ограничивает ход штока. Размеры цилиндра: $D_{ц} = 150 \text{ мм}$, $d_{ш} = 130 \text{ мм}$; ход штока $L = 400 \text{ мм}$. Сила трения поршня и штока 400 Н , давление слива $p_2 = 0,3 \text{ МПа}$, давление воздуха в начале обратного хода $p_{1max} = 2 \text{ МПа}$. Процесс расширения и сжатия воздуха принять изотермическим.



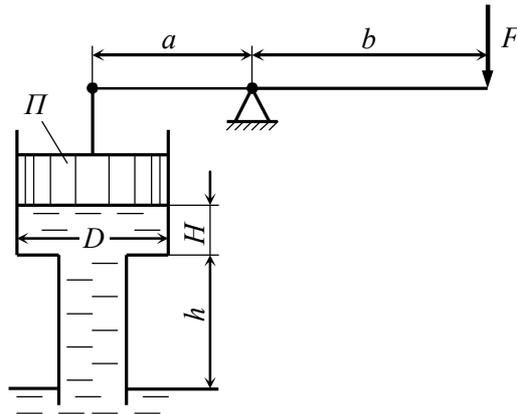
Задача 76

Определить высоту h столба воды в пьезометрической трубке. Столб воды уравнивает полый поршень с $D = 0,5 \text{ м}$ и $d = 0,2 \text{ м}$, имеющий высоту $H = 0,3 \text{ м}$. Собственным весом поршня и трением в уплотнении пренебречь.



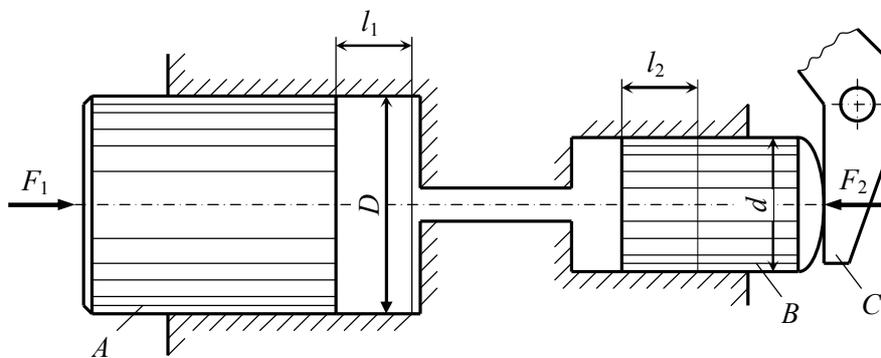
Задача 77

Определить силу F , необходимую для удержания в равновесии поршня Π , если труба под поршнем заполнена водой, а размеры трубы: $D = 100 \text{ мм}$; $H = 0,5 \text{ м}$; $h = 4 \text{ м}$. Длины рычага: $a = 0,2 \text{ м}$ и $b = 1,0 \text{ м}$. Собственным весом поршня пренебречь.



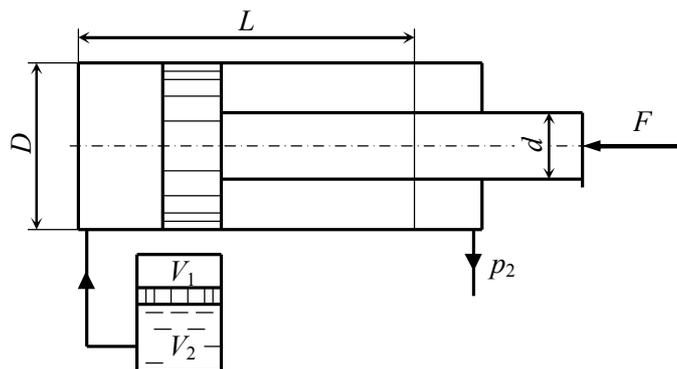
Задача 78

В системе дистанционного гидроуправления необходимо обеспечить ход l_2 поршня B равным ходу l_1 поршня A , т. е. $l_1 = l_2 = l = 32$ мм. Поршень B диаметром $d = 20$ мм должен действовать на рычаг C с силой $F_2 = 8$ кН. Цилиндры и трубопровод заполнены маслом с модулем упругости $E = 1400$ МПа. Объем масла, залитого при атмосферном давлении, $V = 700$ см³. Определить диаметр D поршня A и силу F_1 , приложенную к поршню A . Упругостью стенок цилиндров и трубок, а также силами трения поршней о стенки цилиндров пренебречь.



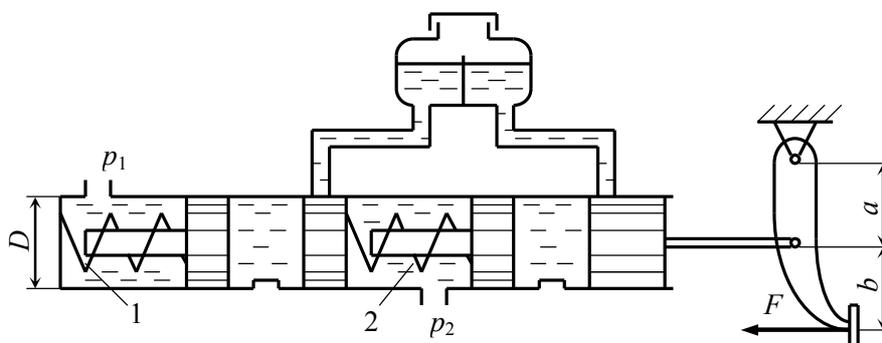
Задача 79

Определить объем гидроаккумулятора $V_2 = V_1 + V_2$, обеспечивающего выпуск штока гидроцилиндра против действия нагрузки $F = 45$ кН. Диаметры: цилиндра $D = 120$ мм; штока $d = 60$ мм; ход штока $L = 1200$ мм; давление на сливе $p_2 = 0,3$ МПа. Процесс расширения воздуха считать изотермическим, максимальное давление в системе $p_{max} = 12$ МПа.



Задача 80

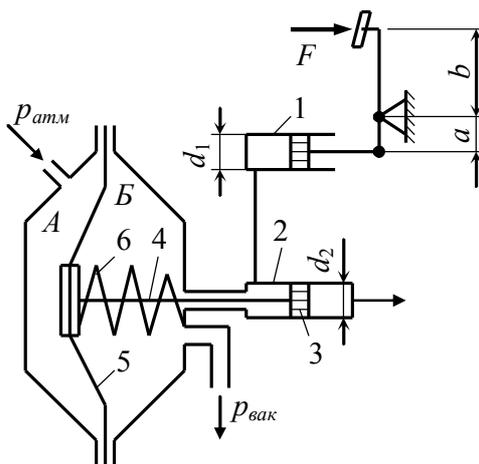
На рисунке представлена схема главного тормозного цилиндра автомобиля в момент торможения. Определить силу F , которую необходимо приложить к педали тормоза, чтобы давление в рабочих цилиндрах передних колес было $p_1 = 6 \text{ МПа}$. Каким при этом будет давление в рабочих цилиндрах задних колес p_2 ? При расчете принять: усилие 1 пружины $F_1 = 100 \text{ Н}$; усилие 2 пружины $F_2 = 150 \text{ Н}$; диаметр цилиндра $D = 20 \text{ мм}$; плечи педали тормоза $a = 60 \text{ мм}$ и $b = 180 \text{ мм}$. Силами трения пренебречь.



Задача 81

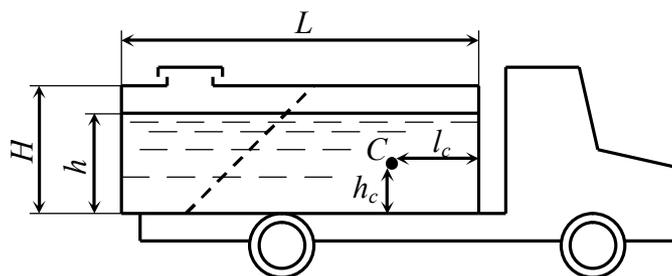
На рисунке показана принципиальная схема гидровакуумного усилителя гидропривода тормоза автомобиля. Давление жидкости, создаваемое в гидроцилиндре 1 благодаря нажатию на ножную педаль с силой F , передается в левую полость тормозного гидроцилиндра 2. Помимо давления жидкости на поршень 3 в том же направлении действует сила вдоль штока 4, связанного с диафрагмой 5. Последняя отделяет полость А, сообщающуюся с атмосферой, от полости В, где устанавливается вакуум благодаря соединению ее со всасывающим коллектором дви-

гателя при нажатии на педаль. Пружина $б$ при этом действует на диафрагму справа налево с силой F_{np} . Определить давление жидкости, подаваемой из правой полости гидроцилиндра 2 к колесным тормозным цилиндрам. Принять: усилие педали $F = 200\text{ Н}$; сила пружины $б$ $F_{np} = 20\text{ Н}$; давление в полости $Б$ $p_{вак} = 0,06\text{ МПа}$; диаметры: диафрагмы 5 $D = 100\text{ мм}$, гидроцилиндра 1 $d_1 = 25\text{ мм}$, гидроцилиндра 2 $d_2 = 20\text{ мм}$; отношение плеч $b/a = 5$. Площадью сечения штока 4 пренебречь.



Задача 82

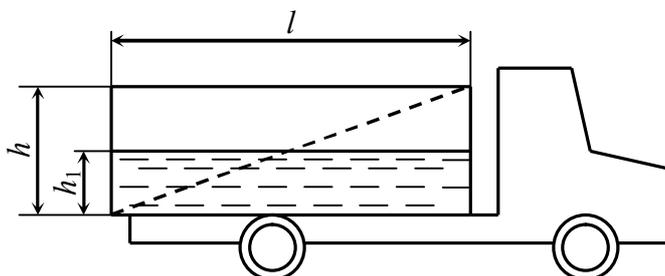
Определить расположение центра тяжести C бетонного раствора (h_c и l_c), залитого в закрытый кузов автомобиля при его торможении с ускорением $a = g$. Считать, что кузов имеет форму параллелепипеда: $L = 1,92\text{ м}$, $H = 1,2\text{ м}$ и $h = 1\text{ м}$.



Задача 83

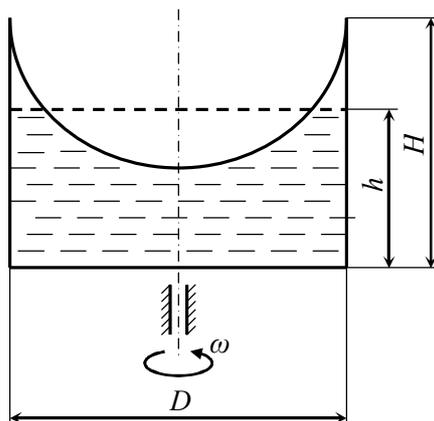
В кузов автомобиля-самосвала до уровня $h_1 = 0,4\text{ м}$ налит цементный раствор. Определить наименьший допустимый путь торможения самосвала от скорости $v = 36\text{ км/ч}$ до полной остановки, чтобы при этом раствор не выплеснулся из кузова. Для упрощения принять, что кузов

самосвала имеет форму прямоугольной коробки с размерами $l = 2,5$ м и $h = 0,8$ м, а движение автомобиля при торможении равнозамедленное.



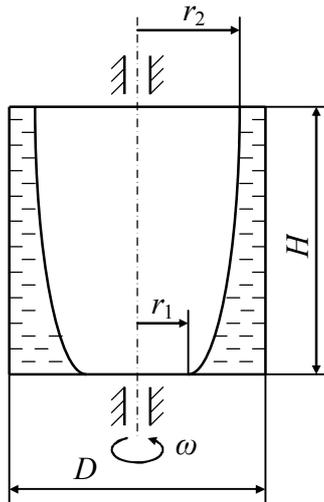
Задача 84

В вертикальный цилиндрический резервуар высотой $H = 0,3$ м залита жидкость до уровня $h = 0,2$ м. Определить, до какой угловой скорости ω можно раскрутить резервуар, чтобы при этом жидкость не выплеснулась из него, если его диаметр $D = 100$ мм.



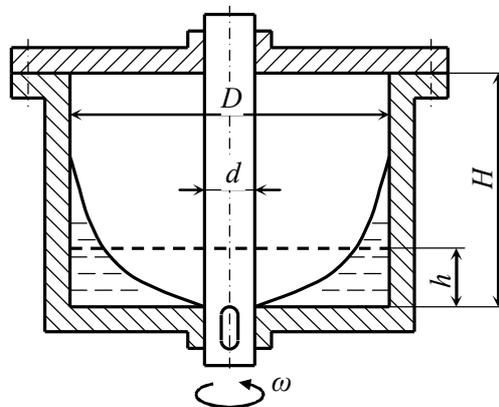
Задача 85

При отливке цилиндрической полый заготовки во вращающейся относительно вертикальной оси форме из-за действия сил тяжести нижний внутренний радиус r_1 будет меньше верхнего внутреннего радиуса r_2 . Определить их разность, если высота отливки $H = 0,5$ м, форма вращается с угловой скоростью $\omega = 200$ с⁻¹, ее диаметр $D = 200$ мм и она в начальный момент заполнена на 30% своего объема.



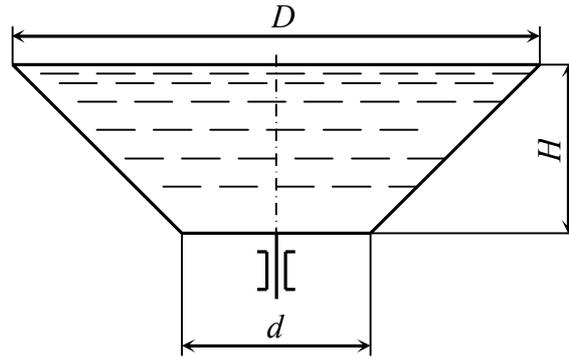
Задача 86

Цилиндрический резервуар диаметром $D = 80$ мм вращается на вертикальном валу диаметром $d = 30$ мм. Определить минимальную угловую скорость ω , при которой жидкость не будет соприкасаться с валом, если первоначально резервуар был заполнен до уровня $h = 0,05$ м. Считать, что высота H резервуара достаточно велика, чтобы при этой угловой скорости жидкость не доставала до крышки сосуда.



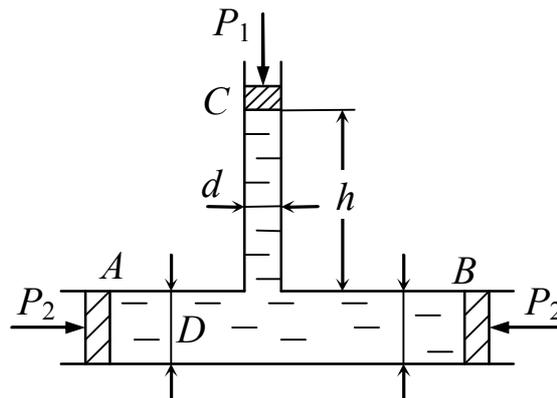
Задача 87

Определить минимальную частоту вращения n , которую нужно сообщить резервуару, изображенному на рисунке, вокруг его вертикальной оси для полного его опорожнения. Размеры резервуара: $D = 200$ мм; $d = 100$ мм; $H = 50$ мм.



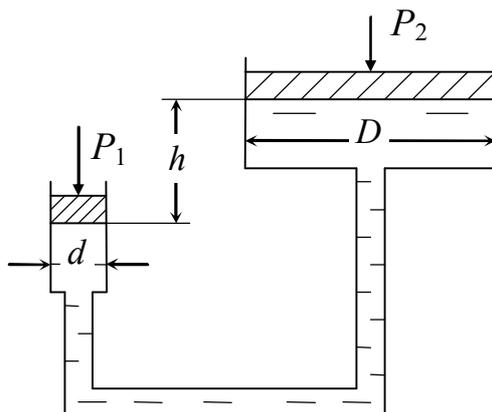
Задача 88

Труба диаметром $D = 400$ мм соединена с трубой диаметром $d = 50$ мм, как показано на рисунке. Высота столба воды $h = 80$ см. В трубах размещены поршни. Какое усилие P_2 нужно приложить на поршни A и B , чтобы система находилась в равновесии, если на поршень C действует сила $P_1 = 98,1$ Н.



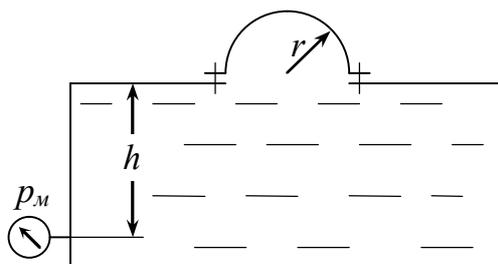
Задача 89

Какую силу P_2 нужно приложить к большему поршню, чтобы система находилась в равновесии? Сила, приложенная к меньшему поршню, $P_1 = 147$ Н. Диаметр большего поршня $D = 300$ мм, меньшего $d = 50$ мм. Разность уровней $h = 30$ см. Трубки заполнены водой. Весом поршней пренебречь.



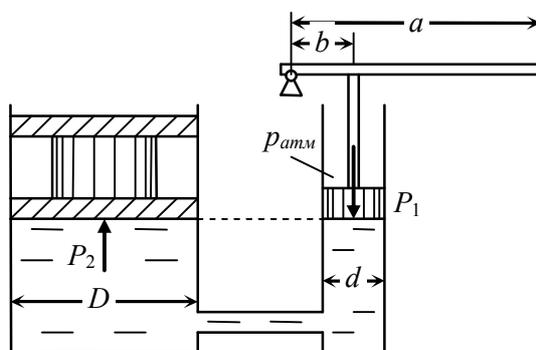
Задача 90

Определить усилие, воспринимаемое болтами полусферической крышки радиусом $r = 0,5$ м, если показание манометра $p_m = 26,5$ кПа. Глубина расположения манометра $h = 1,2$ м.



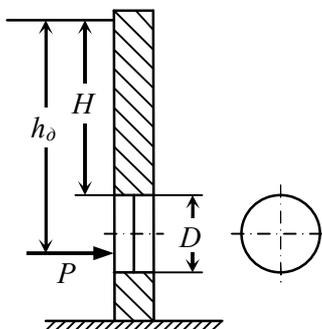
Задача 91

Определить величину сжимающего усилия P_2 , которое создает один рабочий в гидравлическом прессе, если большое плечо рычага имеет длину $a = 1$ м, а малое $b = 0,1$ м, диаметр поршня прессы $D = 250$ мм, диаметр поршня насоса $d = 25$ мм, усилие одного рабочего $P_1 = 150$ Н.



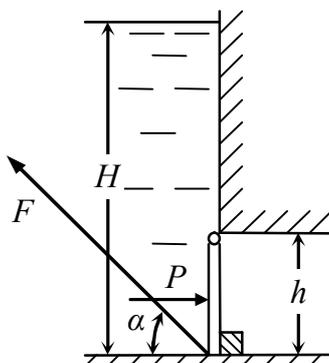
Задача 92

Найти силу давления воды на круглый щит, перекрывающий отверстие в вертикальной стенке, и точку ее приложения h_0 . Диаметр щита $D = 1$ м, уровень воды над щитом $H = 3$ м.



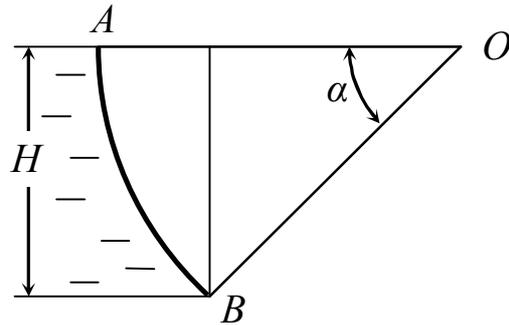
Задача 93

Отверстие плотины перекрывается плоским прямоугольным щитом, верхняя кромка которого шарнирно прикреплена к плотине. Какое усилие F необходимо приложить к канату, чтобы открыть щит при следующих данных: уровень воды перед плотиной $H = 4$ м, высота щита $h = 1$ м, ширина щита $B = 2$ м, угол между направлением каната и горизонтом $\alpha = 45^\circ$.



Задача 94

Определить силу давления жидкости на криволинейную поверхность AB , представляющую собой часть круговой цилиндрической поверхности, если $H = 5$ м, $\alpha = 45^\circ$, ширина поверхности $B = 10$ м.

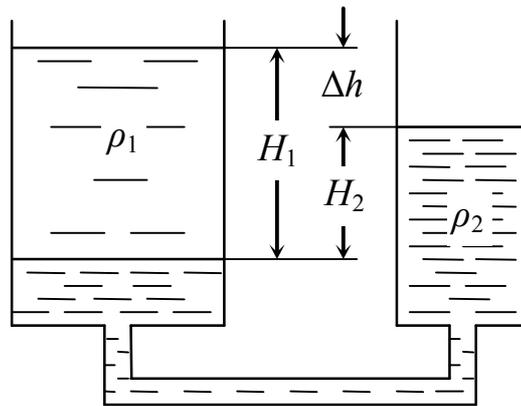


Задача 95

Нефтеналивное судно прямоугольного сечения с плоским дном длиной 100 м и шириной 20 м с полным грузом имеет осадку 2,5 м, а без груза — 400 мм. Определить массу нефти, перевозимой судном. Плотность морской воды принять равной 1000 кг/м^3

Задача 96

Два открытых сообщающихся резервуара наполнены жидкостями с плотностью $\rho_1 = 700 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_2 = 1000 \text{ кг/м}^3$ соответственно. Определить положение плоскости раздела жидкостей относительно уровней жидкости в резервуарах, если разность уровней в них $\Delta h = 150 \text{ мм}$.

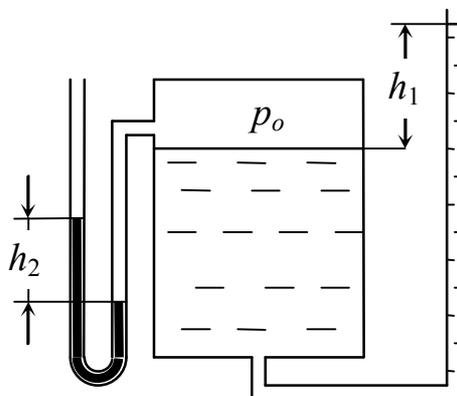


Задача 97

Плоскодонная металлическая баржа длиной 36 м и шириной 10 м с грузом песка имела осадку 1 м. После выгрузки песка осадка баржи стала равной 25 см. Определить массу выгруженного песка, если его плотность равна 1500 кг/м^3 .

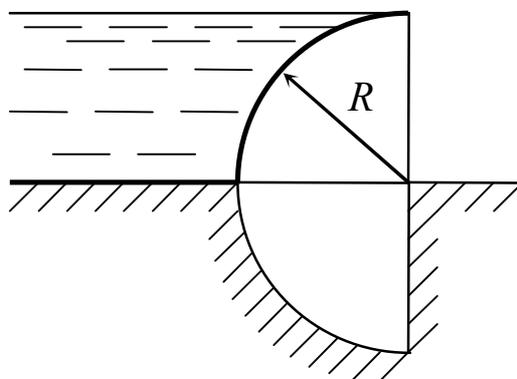
Задача 98

Определить величину избыточного давления p_o в резервуаре и пьезометрическую высоту h_1 , если высота поднятия ртути в ртутном манометре $h_2 = 0,12$ м.



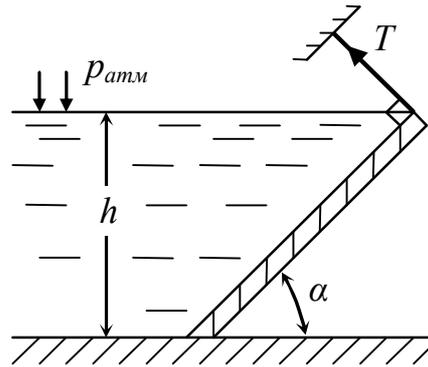
Задача 99

Определить величину и направление действия силы давления воды на криволинейную поверхность, представляющую собой четверть кругового цилиндра радиусом $R = 0,5$ м и шириной $B = 3,5$ м.



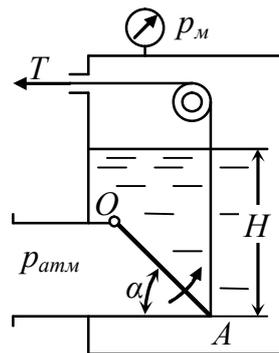
Задача 100

Определить величину T натяжения троса, удерживающего прямоугольный щит шириной $B = 2$ м, если глубина воды перед щитом $h = 1,8$ м, а угол наклона щита к горизонту $\alpha = 45^\circ$.



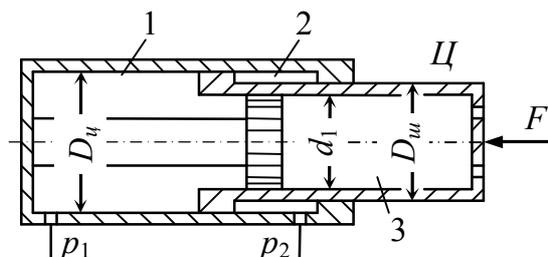
Задача 101

Поворотный клапан OA закрывает трубу квадратного сечения $0,5 \times 0,5$ м. Определить величину T натяжения троса, необходимую для открытия клапана, который расположен под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, если уровень бензина в резервуаре $H = 1,7$ м, показания манометра $p_m = 1,5 \times 10^5$ Па, плотность бензина $\rho = 750$ кг/м³.



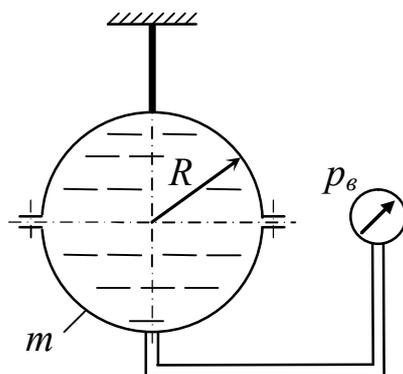
Задача 102

Определить давление p_1 , которое необходимо подать в полость 1 гидроцилиндра Ц для удержания нагрузки $F = 70$ кН. Противодавление в полости 2 равно $p_2 = 0,3$ МПа, давление в полости 3 равно атмосферному. Размеры гидроцилиндра: $D_u = 80$ мм; $D_{iu} = 70$ мм; $d_1 = 50$ мм.



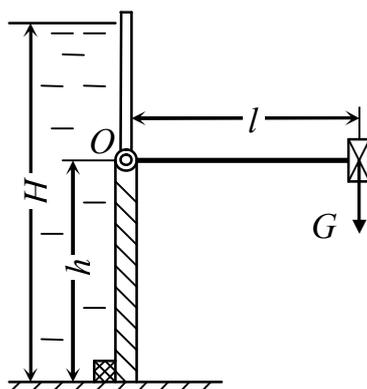
Задача 103

Сосуд в виде шара радиусом $R = 0,4 \text{ м}$, заполненный водой, висит на тяге, прикрепленной к его верхней половинке. Какое наименьшее давление в центре сосуда (показание пружинного вакуумметра p_e) удержит свободную нижнюю половину сосуда массой $m = 15 \text{ кг}$?



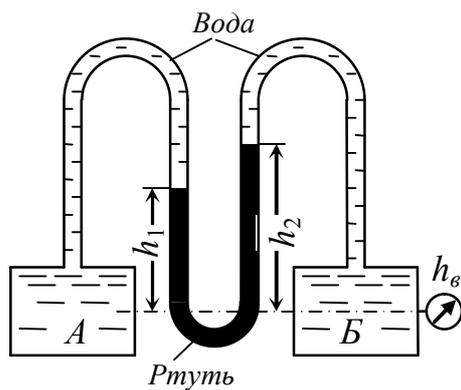
Задача 104

Определить минимальную массу груза G (кг), способного удержать прямоугольный щит в закрытом положении. Груз закреплен на горизонтальной балке длиной $l = 3 \text{ м}$, жестко связанной со щитом. Уровень воды в канале $H = 5 \text{ м}$, высота щита $h = 3 \text{ м}$, ширина щита $B = 2 \text{ м}$. Щит может поворачиваться относительно оси O .



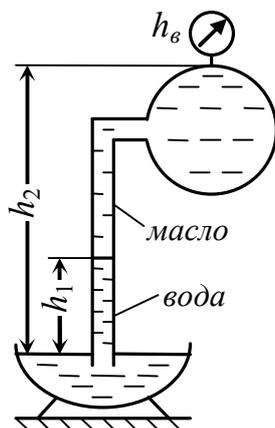
Задача 105

Определить показание вакуумметра h_e (мм вод. ст.), подключенного к резервуару B , если абсолютное давление воды в резервуаре A $p_A = 113 \text{ кПа}$, высоты уровней ртути в U-образной трубке $h_1 = 370 \text{ мм}$ и $h_2 = 500 \text{ мм}$, атмосферное давление $p_{атм} = 760 \text{ мм рт. ст.}$



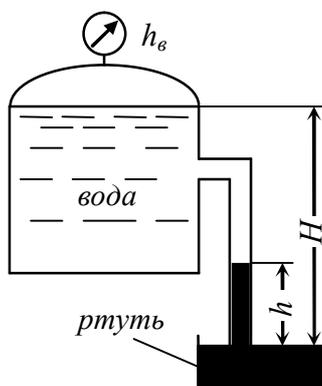
Задача 106

Определить показание вакуумметра h_v (мм рт. ст.), установленного на маслобаке, если высоты уровней жидкостей $h_1 = 250$ мм и $h_2 = 0,85$ м, а плотность масла $\rho_m = 900$ кг/м³.



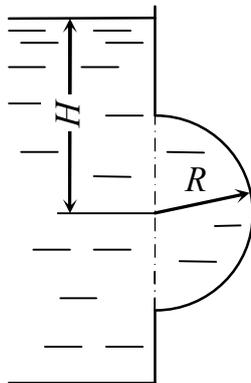
Задача 107

Определить высоту столба ртути в трубке h (мм), если разность отметок поверхностей воды в резервуаре и ртути в чашке $H = 1,28$ м, а показание вакуумметра $h_v = 200$ мм рт. ст.



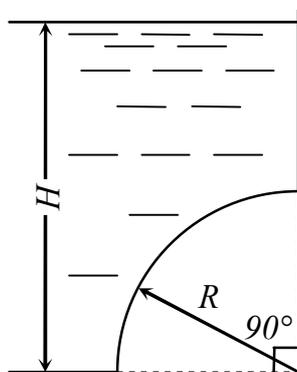
Задача 108

Определить силу давления воды P (κH) на полусферическую крышку резервуара, радиус которой $R = 200$ мм, а расстояние от центра полусферы до свободной поверхности воды в резервуаре $H = 2 \cdot R$. Определить направление действия силы P относительно горизонта.



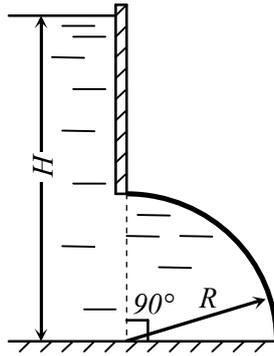
Задача 109

Определить силу давления жидкости P (κH) на цилиндрическую стенку резервуара и ее направление действия, относительно горизонта, если радиус стенки $R = 300$ мм, ширина стенки $B = 4 \cdot R$, высота жидкости в резервуаре $H = 2 \cdot R$, плотность жидкости $\rho = 850$ кг/м³.



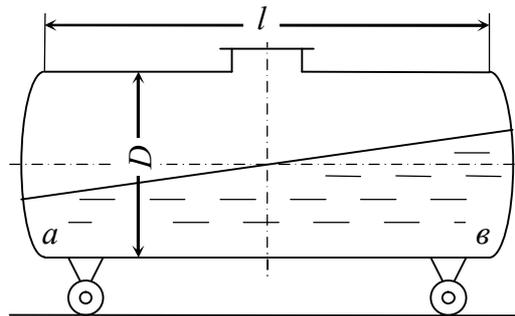
Задача 110

Определить силу давления нефти P (κH) на цилиндрическую стенку резервуара и ее направление (угол наклона к горизонту), если радиус стенки $R = 600$ мм, ширина стенки $B = 3$ м, а высота нефти в резервуаре $H = 6$ м. Плотность нефти $\rho_n = 900$ кг/м³.



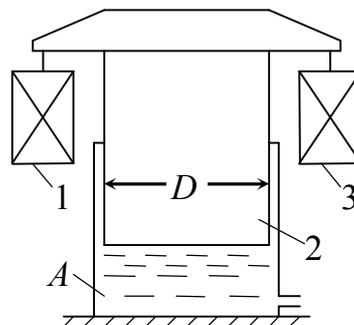
Задача 111

При подходе к железнодорожной станции в результате торможения в течение 10 с скорость товарного поезда равномерно уменьшалась от 40 до 20 км/ч. Определить давление, создаваемое жидкостью в крайних нижних точках (а) и (в) вагона-цистерны диаметром $D = 2,5$ м и длиной $l = 6,0$ м, заполненной до половины высоты нефтью, плотность которой $\rho_n = 850$ кг/м³.



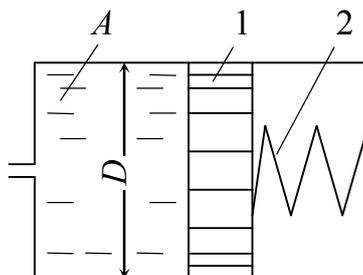
Задача 112

Общий вес плунжера 2 диаметром $D = 200$ мм с грузами 1 и 3 грузового гидроаккумулятора составляет 40 кН. Пренебрегая трением в гидроаккумуляторе, определить давление масла в его полости А.



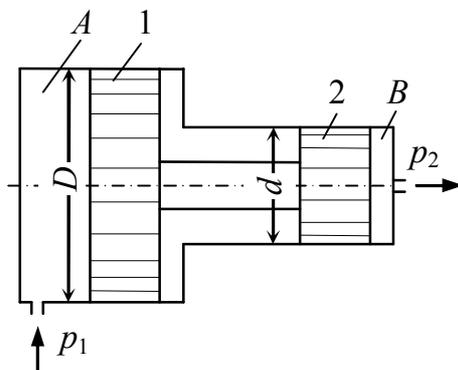
Задача 113

Пружинный гидроаккумулятор имеет поршень 1 диаметром $D = 200$ мм. Коэффициент жесткости пружины $c = 235$ кН/м. Пренебрегая трением поршня в гидроаккумуляторе, определить давление масла в полости A во время полной зарядки гидроаккумулятора, когда пружина 2 будет иметь максимальное сжатие $x = 200$ мм.



Задача 114

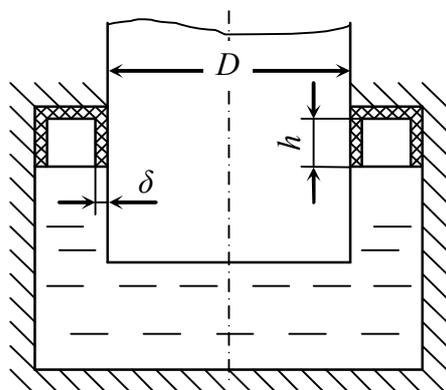
Из-за разницы диаметров поршней 1 и 2 гидропреобразователя в полости B создается давление p_2 , значительно большее по величине, чем давление $p_1 = 0,6$ МПа в полости A . Диаметры поршней: $D = 200$ мм; $d = 40$ мм. Пренебрегая трением поршней о стенки гидропреобразователя, определить давление масла в полости B .



Задача 115

Уплотнение плунжера диаметром $D = 200$ мм в вертикальном гидроцилиндре осуществляется за счет гидравлического прижима давлением $p = 10$ МПа эластичной U-образного сечения манжеты. Толщина манжеты $\delta = 5$ мм, расчетная длина гидравлического прижима манжеты к плунжеру $h = 10$ мм. Определить силу трения, возникающую между

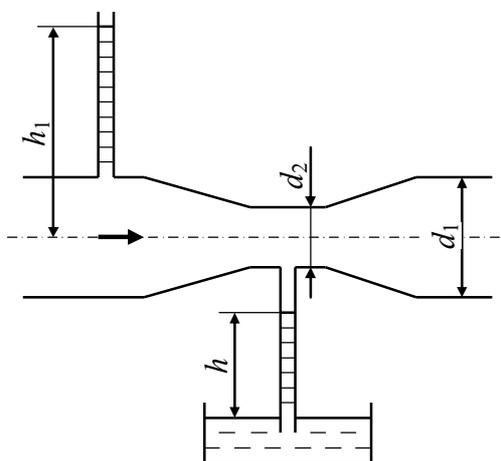
манжетой и поднимающимся плунжером. Принять значение коэффициента трения для трущейся пары $f = 0,006$.



Задача 116

По горизонтальной трубе диаметром $d_1 = 100$ мм, имеющей сужение $d_2 = 40$ мм, движется вода с расходом $Q = 6$ л/с. Определить абсолютное давление в узком сечении, если уровень воды в открытом пьезометре перед сужением $h_1 = 1,5$ м.

При каком расходе воды Q ртуть в трубке, присоединенной к трубопроводу в узком сечении, поднимется на высоту $h = 10$ см, если при этом $h_1 = 1,2$ м? Потерями напора пренебречь.



Задача 117

Индустриальное масло ИГП-30 с температурой 20°C поступает от насоса в гидроцилиндр по трубопроводу диаметром $d = 22$ мм. Определить режим течения масла, а также температуру, при которой ламинар-

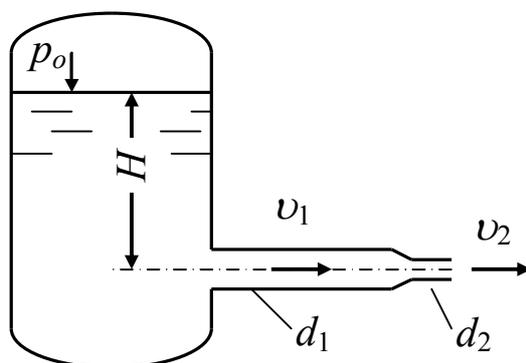
ный режим сменится на турбулентный, если подача насоса $Q_n = 105 \text{ л/мин}$. Зависимость вязкости от температуры принять линейной.

Задача 118

Бензин с плотностью $\rho_b = 750 \text{ кг/м}^3$ вытекает из резервуара по горизонтальной трубе переменного сечения ($d_1 = 50 \text{ мм}$; $d_2 = 40 \text{ мм}$; $d_3 = 22 \text{ мм}$) при постоянном напоре. Определить объемный расход и среднюю скорость на каждом участке трубопровода, если масса вытекшего за 15 мин бензина составила 340 кг.

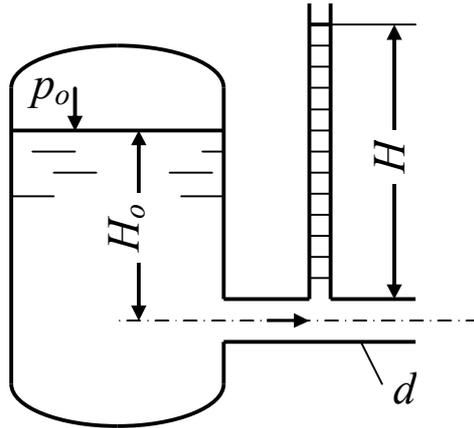
Задача 119

Из напорного бака вода течет по трубе диаметром $d_1 = 20 \text{ мм}$ и затем вытекает в атмосферу через насадок (брандспойт) с диаметром выходного отверстия $d_2 = 10 \text{ мм}$. Избыточное давление воздуха в баке $p_o = 0,18 \text{ Мпа}$, высота $H = 1,6 \text{ м}$. Пренебрегая потерями энергии, определить скорости течения воды в трубе v_1 и на выходе из насадка v_2 .



Задача 120

Определить расход керосина, вытекающего из бака по трубопроводу диаметром $d = 50 \text{ мм}$, если избыточное давление воздуха в баке $p_o = 16 \text{ кПа}$, высота уровня $H_o = 1 \text{ м}$, высота подъема керосина в пьезометре, открытом в атмосферу, $H = 1,75 \text{ м}$. Потерями энергии пренебречь. Плотность керосина $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$.



Задача 121

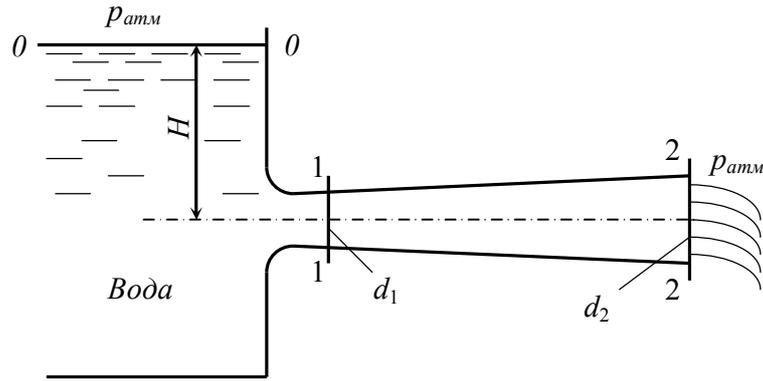
Из закрытого резервуара под напором $H = 1$ м вода вытекает в бак по горизонтальной трубе переменного сечения ($d_1 = 50$ мм; $d_2 = 25$ мм). Определить средние скорости течения на каждом участке трубопровода и время наполнения бака емкостью $V = 0,12$ м³, в который вытекает вода, если избыточное давление на поверхности жидкости в резервуаре равно 10 кПа, а потери напора в трубопроводе $h_n = 0,05$ м.

Как изменятся скорости течения и время наполнения бака при уменьшении значений обоих диаметров в два раза, если потери напора при этом увеличатся до $h'_n = 1,6$ м.

Задача 122

Жидкость вытекает из открытого резервуара в атмосферу через трубу, имеющую плавное сужение до диаметра d_1 , а затем постепенное расширение до диаметра d_2 . Истечение происходит под действием напора $H = 3$ м. Пренебрегая потерями энергии, определить абсолютное давление в узком сечении трубы 1–1, если соотношение диаметров $d_2 / d_1 = \sqrt{2}$, атмосферное давление соответствует $h_{атм} = 750$ мм рт. ст., плотность жидкости $\rho = 1000$ кг/м³. Найти напор $H_{кр}$, при котором абсолютное давление в сечении 1–1 будет равно нулю.

Указание. Уравнение Бернулли следует записать два раза, например, для сечения 0–0 и 2–2, а затем для сечений 1–1 и 2–2.



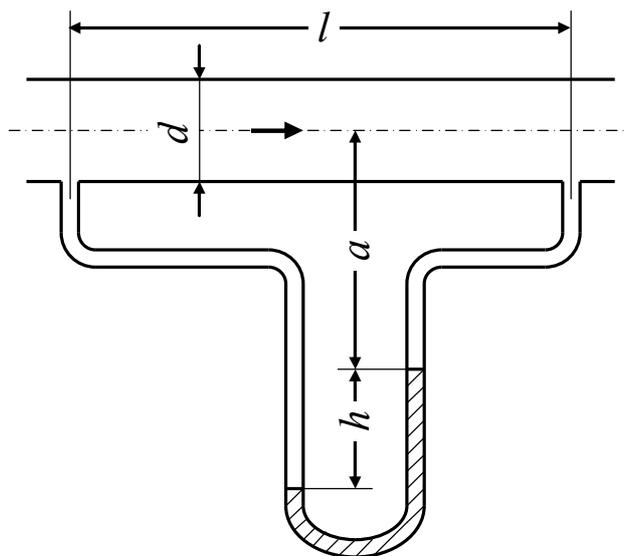
Задача 123

При прокачке бензина ($\rho = 700 \text{ кг/м}^3$) по трубе длиной $l = 5,5 \text{ м}$ и диаметром $d = 15 \text{ мм}$ потеря давления в трубопроводе $\Delta p = 0,11 \text{ МПа}$. Принимая закон сопротивления квадратичным, определить эквивалентную шероховатость трубы Δ , если расход бензина $Q = 0,9 \text{ л/с}$.

Задача 124

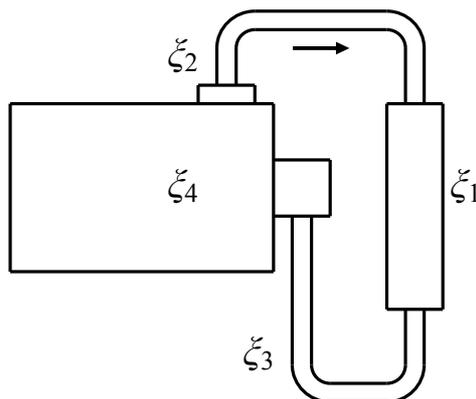
По трубопроводу диаметром $d = 12 \text{ мм}$ перекачивается масло индустриальное ИГП-18 ($\rho = 890 \text{ кг/м}^3$) с температурой 30°C .

Определить показание h ртутного дифференциального манометра, присоединенного к трубопроводу в двух точках, удаленных друг от друга на расстояние $l = 3 \text{ м}$, если расход масла $Q = 0,3 \text{ л/с}$.



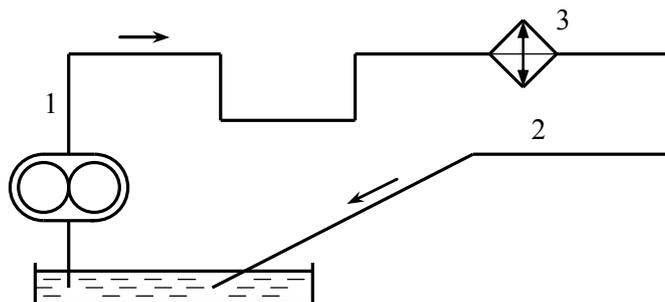
Задача 125

Определить потери напора в системе охлаждения двигателя внутреннего сгорания, включающей в себя центробежный насос, радиатор ($\xi_1 = 5$), термостат ($\xi_2 = 3$), трубопроводы ($\xi_3 = 1,5$) и водяную рубашку двигателя ($\xi_4 = 4,5$), если расход воды $Q = 4,2$ л/с. Все коэффициенты местных сопротивлений отнесены к скорости в трубе диаметром $d = 50$ мм. Потерями напора на трение пренебречь.



Задача 126

В системе смазки двигателя внутреннего сгорания одна из секций шестеренного насоса нагнетает масло по трубопроводу 1 в масляный радиатор 3, из которого оно, охладившись, сливается в поддон по трубопроводу 2. Определить необходимое давление насоса, пренебрегая потерями давления во всасывающей трубе, если его подача $Q = 0,4$ л/с, размеры трубопровода $l_1 = 1,8$ м, $d_1 = 10$ мм, $l_2 = 1,1$ м, $d_2 = 15$ мм, кинематическая вязкость масла в трубопроводе 1 $\nu_1 = 8$ мм²/с, в трубопроводе 2 — $\nu_2 = 11$ мм²/с (после охлаждения), плотность масла $\rho = 900$ кг/м³. Трубопровод 1 имеет пять колен ($\xi_k = 0,3$), трубопровод 2 — три колена. Радиатор 3 рассматривать как местное сопротивление с коэффициентом $\xi = 2$, отнесенным к скорости в трубопроводе 2, коэффициент сопротивления входа в трубу 1 $\xi_{вх} = 0,5$, коэффициент сопротивления выхода из трубы 2 $\xi_{вых} = 1$. Трубы считать гладкими гладкими.



Задача 127

Определить коэффициент сопротивления вентиля, установленного в конце трубопровода диаметром $d = 50$ мм, если показание манометра перед вентилем $p_{ман} = 3,7$ кПа, а расход воды $Q = 2,5$ л/с. Вода из трубопровода вытекает в атмосферу.

Задача 128

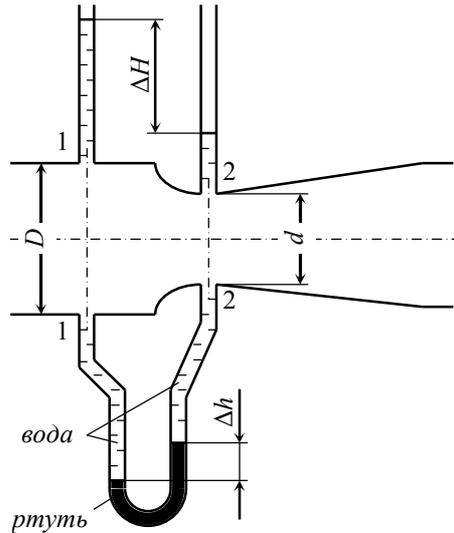
Определить мощность, теряемую при перекачке нефти ($\rho = 880$ кг/м³) по трубопроводу длиной 10 км и диаметром 250 мм в количестве 3,11 МН/ч при температуре 20°C ($\nu = 25$ мм²/с) и 30°C ($\nu = 10$ мм²/с), если шероховатость стенок трубопровода равна 0,2 мм.

Задача 129

Разность показаний пьезометров Δh , установленных в начале и в конце горизонтальной трубы длиной 6 м и диаметром 25 мм, прямо пропорциональна пропускаемому расходу жидкости Q . Определить ее кинематическую вязкость ν , если $Q = 1$ л/с, а $\Delta h = 1,6$ м. Как изменится Δh при увеличении диаметра в два раза и сохранении того же расхода жидкости?

Задача 130

К расходомеру Вентури присоединены два пьезометра и дифференциальный ртутный манометр. Выразить расход воды Q через размеры расходомера D и d , разность показаний пьезометров ΔH , а также через показание дифференциального манометра Δh . Задан коэффициент сопротивления ζ участка между сечениями 1-1 и 2-2.



Задача 131

Определить потери давления на трение в трубопроводе диаметром $d = 250$ мм и длиной $l = 1,5$ км, по которому перекачивается бензин ($\rho = 700$ кг/м³; $\nu = 0,75$ мм²/с) с расходом $Q = 65,5$ т/ч.

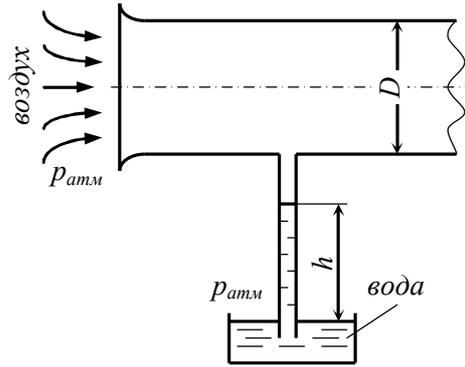
Как изменятся эти потери при уменьшении диаметра трубы на 20%? Шероховатость стенок трубопровода принять равной $\Delta = 0,2$ мм.

Задача 132

Скорость движения масла ИГП-18 ($\rho = 890$ кг/м³) в напорной гидролинии объемного гидропривода составляет 4,7 м/с. Как изменятся потери давления на трение в гидролинии при повышении температуры масла от 20 до 50°C, если ее длина составляет 6,7 м, а диаметр — 15 мм. Кинематическую вязкость масла определить по *приложению А*.

Задача 133

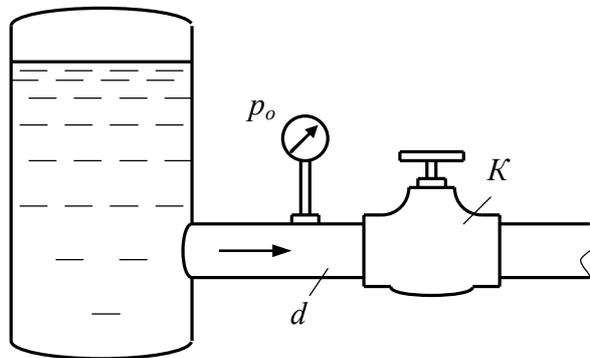
Определить весовой расход воздуха по трубе с плавно закругленным входом и цилиндрической частью диаметром $D = 200$ мм, если показание вакуумметра в виде вертикальной стеклянной трубки, опущенной в емкость с водой, $h = 250$ мм. Коэффициент сопротивления входной части трубы (до места присоединения вакуумметра) $\zeta = 0,1$. Плотность воздуха $\rho_{\text{воз}} = 1,25$ кг/м³.



Задача 134

От бака, в котором с помощью насоса поддерживается постоянное давление жидкости, отходит трубопровод диаметром $d = 50$ мм. Между баком и краном K на трубопроводе установлен манометр. При закрытом положении крана показание манометра $p_0 = 0,5$ МПа. Найти связь между расходом жидкости в трубопроводе Q и показанием манометра p при разных степенях открытиях крана, приняв коэффициент сопротивления входного участка трубопровода (от бака до манометра) равным $\zeta = 0,5$. Плотность жидкости $\rho = 800$ кг/м³.

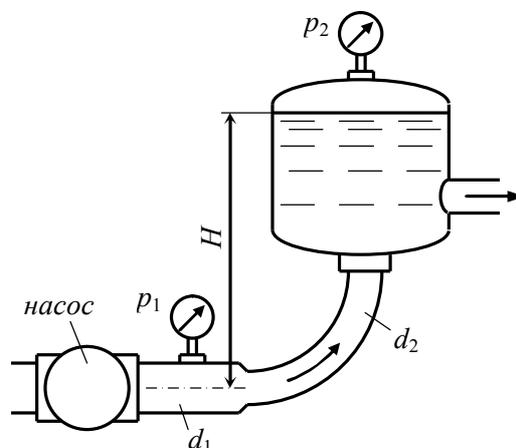
Подсчитать расход жидкости при полном открытии крана когда показание манометра равно $p = 0,485$ МПа.



Задача 135

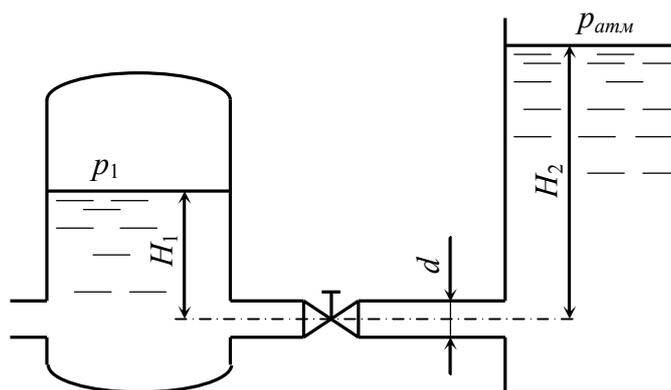
Насос нагнетает жидкость в напорный бак, где установились постоянный уровень жидкости на высоте $H = 2$ м и постоянное давление $p_2 = 0,2$ МПа. Манометр, установленный сразу после насоса на трубе диаметром $d_1 = 75$ мм, показывает давление $p_1 = 0,25$ МПа. Определить расход жидкости Q , если диаметр искривленной трубы, подводящей

жидкость к баку, равен $d_2 = 50 \text{ мм}$, коэффициент сопротивления этой трубы принять равным $\zeta = 0,5$. Плотность жидкости $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$.



Задача 136

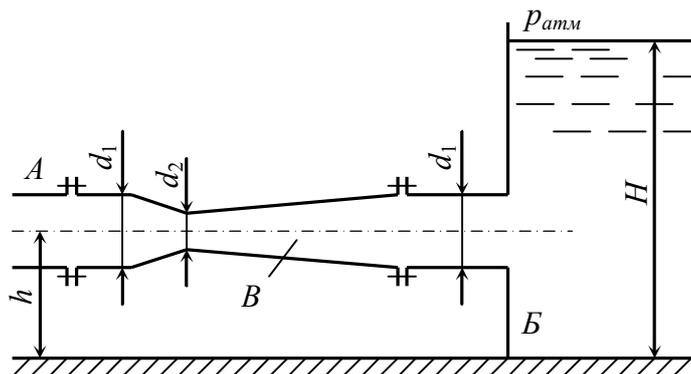
Вода перетекает из напорного бака, где избыточное давление воздуха $p_1 = 0,3 \text{ МПа}$, в открытый резервуар по короткой трубе диаметром $d = 50 \text{ мм}$, на которой установлен кран. Чему должен быть равен коэффициент сопротивления крана для того, чтобы расход воды составил $Q = 8,7 \text{ л/с}$? Высоты уровней воды в баке и резервуаре $H_1 = 1 \text{ м}$ и $H_2 = 3 \text{ м}$ соответственно. Учесть потерю напора на входе в трубу ($\zeta_{\text{вх}} = 0,5$) и на выходе из трубы (внезапное расширение).



Задача 137

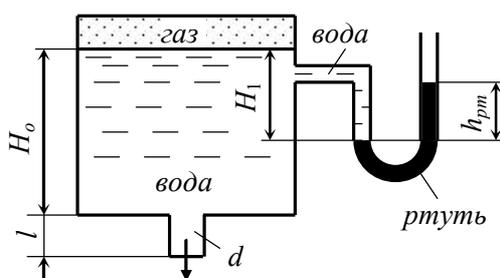
Для измерения расхода воды, которая подается по трубе A в бак B , установлен расходомер Вентури B . Определить максимальный расход, который можно пропускать через данный расходомер при условии от-

сутствия в нем кавитации, если температура воды $t = 60^\circ\text{C}$ (давление насыщенных паров соответствует $h_{н.н} = 2 \text{ м вод. ст.}$). Уровень воды в баке поддерживается постоянным и составляет $H = 1,5 \text{ м}$. Ось трубы и расходомера Вентури расположены на высоте $h = 0,5 \text{ м}$. Размеры расходомера: $d_1 = 50 \text{ мм}$; $d_2 = 20 \text{ мм}$. Атмосферное давление принять равным 760 мм рт. ст. Коэффициент сопротивления диффузора $\zeta_{диф} = 0,2$.



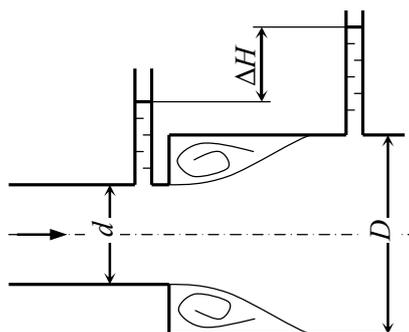
Задача 138

Определить расход воды, вытекающей из бака через короткую трубку (насадок) диаметром $d = 30 \text{ мм}$ и коэффициентом сопротивления $\zeta = 0,5$, если показание ртутного манометра $h_{рт} = 1,47 \text{ м}$, высоты $H_1 = 1 \text{ м}$ и $H_0 = 1,9 \text{ м}$, длина трубки $l = 0,1 \text{ м}$.



Задача 139

При внезапном расширении трубы от d до D получается увеличение давления, которому соответствует разность показаний двух пьезометров ΔH . Определить, при каком соотношении площадей широкого и узкого сечений трубы ($n = D^2/d^2$) увеличение давления будет наибольшим. Выразить величину ΔH_{max} через скорость в узком сечении.

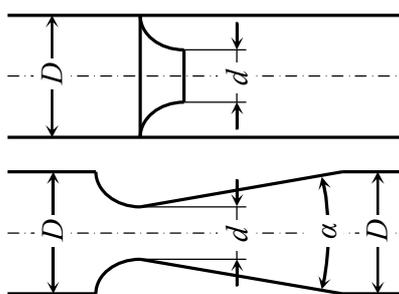


Задача 140

Сравнить коэффициенты сопротивления мерного сопла d , установленного в трубе диаметром D , и расходомера Вентури, состоящего из такого же сопла диаметром d и диффузора. Коэффициенты сопротивления определить как отношение суммарной потери напора к скоростному напору в трубопроводе. Отношение диаметров $D/d = 2$. Принять коэффициенты сопротивлений: сопла $\xi_c = 0,05$; диффузора $\xi_{диф} = 0,15$ (оба коэффициента относятся к скорости в узком сечении).

Определить потери напора, вызываемые мерным соплом h_c и расходомером h_p , при одинаковой скорости потока в трубе $v = 3 \text{ м/с}$.

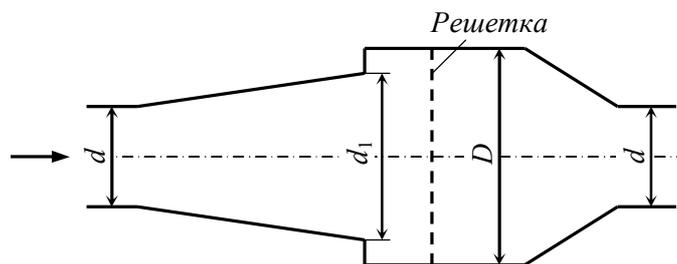
Указание. На выходе из сопла учесть потери напора на внезапное расширение.



Задача 141

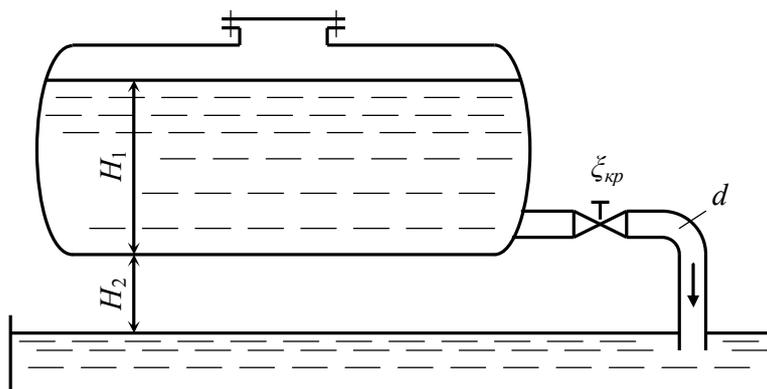
Сравнить коэффициенты сопротивления расходомера Вентури, данные которого приведены в задаче 140, и специального расходомера, показанного на рисунке. Последний состоит из диффузора ($\xi_{диф} = 0,15$), расширяющего поток до диаметра $d_1 = 1,4 \cdot d$, внезапного расширения широкой части до диаметра $D = 2,5 \cdot d$, в которой установлена решетка

для выравнивания скоростей ($\xi_p = 0,05$) и сопла ($\xi_c = 0,05$). Коэффициенты отнесены к скорости в трубе диаметров d .



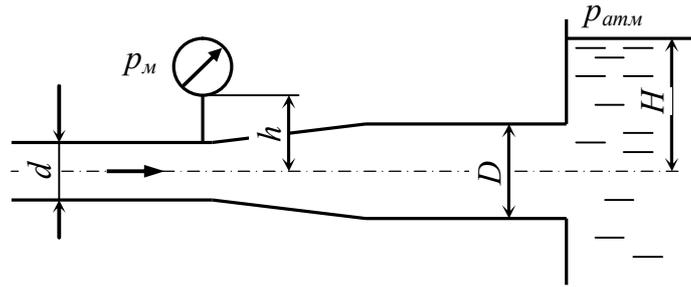
Задача 142

Бензин сливается из цистерны по трубе диаметром $d = 50$ мм, на которой установлен кран с коэффициентом сопротивления $\xi_{кр} = 3$. Определить расход бензина при $H_1 = 1,5$ м и $H_2 = 1,3$ м, если в верхней части цистерны имеет место вакуум $h_{вак} = 73,5$ мм рт. ст. Потерями на трение в трубе пренебречь. Плотность бензина $\rho = 750$ кг/м³.



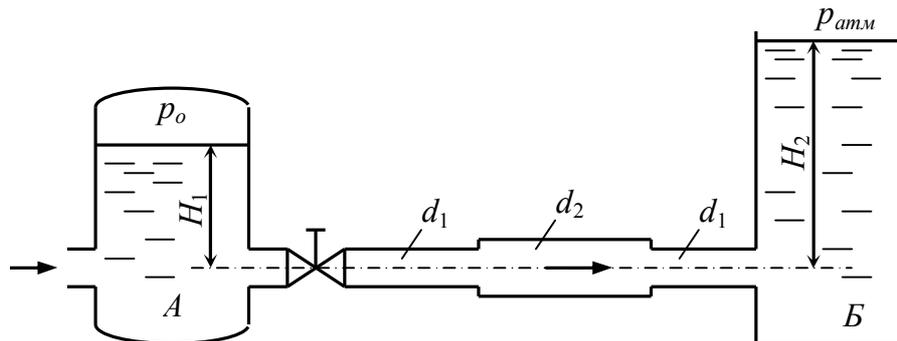
Задача 143

Определить расход жидкости, вытекающей из трубы диаметром $d = 16$ мм через плавное расширение (диффузор) и далее по трубе диаметром $D = 20$ мм в бак. Коэффициент сопротивления диффузора $\xi = 0,2$ (отнесен к скорости в трубе меньшего диаметра), показание манометра $p_m = 20$ кПа, высоты $h = 0,5$ м и $H = 5$ м, плотность жидкости $\rho = 1000$ кг/м³. Учесть потери на внезапное расширение. Потерями на трение в трубе пренебречь. Режим течения считать турбулентным.



Задача 144

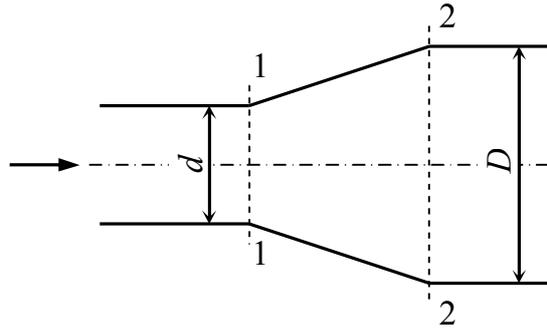
Вода перетекает из напорного бака *A* в резервуар *B* через вентиль с коэффициентом сопротивления $\xi_v = 3$ по трубе переменного сечения. Диаметры труб: $d_1 = 40$ мм; $d_2 = 60$ мм. Считая режим течения турбулентным, и пренебрегая потерями на трение по длине, определить расход. Учесть потери напора при внезапных сужениях и расширениях. Высоты уровней воды в напорном баке и резервуаре $H_1 = 1$ м и $H_2 = 2$ м соответственно. Избыточное давление в напорном баке $p_o = 0,15$ МПа.



Задача 145

Пренебрегая потерями напора, определить степень расширения диффузора $n = \left(\frac{D}{d}\right)^2$, при котором давление в сечении 2–2 возрастет в два раза по сравнению с давлением в сечении 1–1.

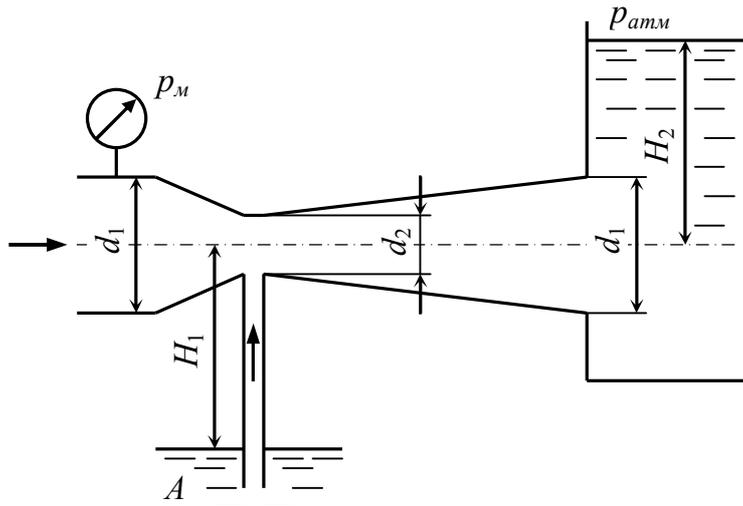
Расчет провести при следующих исходных данных: расход жидкости $Q = 1,5$ л/с; диаметр $d = 20$ мм; давление в сечении 1–1 $p_1 = 10$ кПа; плотность жидкости $\rho = 1000$ кг/м³; режим течения принять: а) ламинарным и б) турбулентным. Поток жидкости в диффузоре считать стабилизированным и безотрывным.



Задача 146

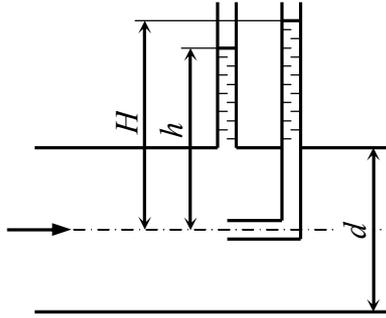
Определить минимальное давление p_m , измеряемое манометром перед сужением трубы, при котором будет происходить подсосывание воды из резервуара A в узком сечении трубы.

Размеры: $d_1 = 60$ мм; $d_2 = 20$ мм; $H_1 = 6$ м; $H_2 = 1$ м. Принять коэффициенты сопротивления: сопла $\xi_c = 0,08$, диффузора $\xi_{диф} = 0,30$.



Задача 147

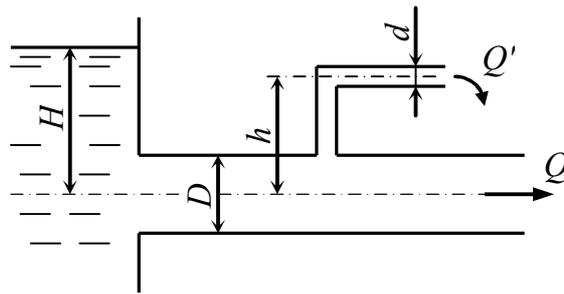
По длинной трубе диаметром $d = 50$ мм протекает жидкость ($\nu = 200 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\rho = 900 \text{ кг}/\text{м}^3$). Определить расход жидкости и давление в сечении, где установлены пьезометр ($h = 60$ см) и трубка Пито ($H = 80$ см).



Задача 148

Вода течет по трубе диаметром $D = 20$ мм, имеющей отвод ($d = 8$ мм). Пренебрегая потерями напора, определить расход жидкости в отводе Q' , если расход в основной трубе $Q = 1,2$ л/с, высоты $H = 2$ м и $h = 0,5$ м. Режим течения считать турбулентным.

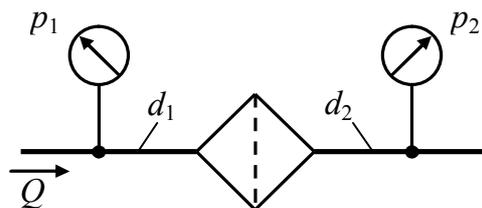
Указание. Считать, что давление перед отводом расходуеться на создание скоростного напора в отводе и подъем жидкости на высоту h .



Задача 149

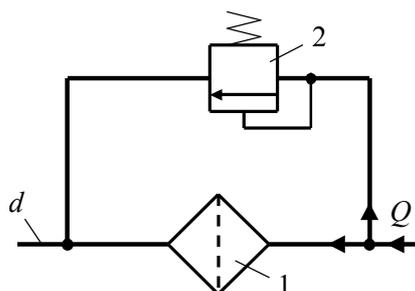
Для определения потерь давления на фильтре установлены два манометра, как показано на рисунке. При пропускании через фильтр жидкости, расход которой $Q = 1$ л/с, показания манометров составили $p_1 = 0,1$ МПа и $p_2 = 0,12$ МПа. Определить, чему равна потеря давления в фильтре, если известно: $d_1 = 10$ мм; $d_2 = 20$ мм; $\rho_{ж} = 900$ кг/м³.

Указание. Потерей давления на участках от мест установки манометров до фильтра пренебречь. Принять $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$.



Задача 150

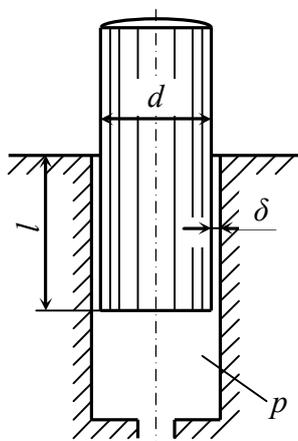
В гидросистеме с расходом масла $Q = 0,628 \text{ л/с}$ параллельно фильтру 1 установлен переливной клапан 2, открывающийся при перепаде давления $\Delta p = 0,2 \text{ МПа}$. Определить вязкость ν , при которой начнется открытие клапана, если коэффициент сопротивления фильтра связан с числом Рейнольдса формулой $\xi_{\phi} = A / Re$, где $A = 2640$, а Re подсчитывается по диаметру трубы $d = 20 \text{ мм}$. Плотность масла $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$.



Задача 151

Без учета скорости и направления движения плунжера определить максимально возможную секундную утечку жидкости через зазор между насосным плунжером и цилиндром, если диаметр плунжера $d = 20 \text{ мм}$, радиальный зазор при соосном расположении плунжера и цилиндра $\delta = 0,01 \text{ мм}$, свойства жидкости: вязкость $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; плотность $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$. Давление, создаваемое насосом, $p = 25 \text{ МПа}$. Длина зазора $l = 30 \text{ мм}$.

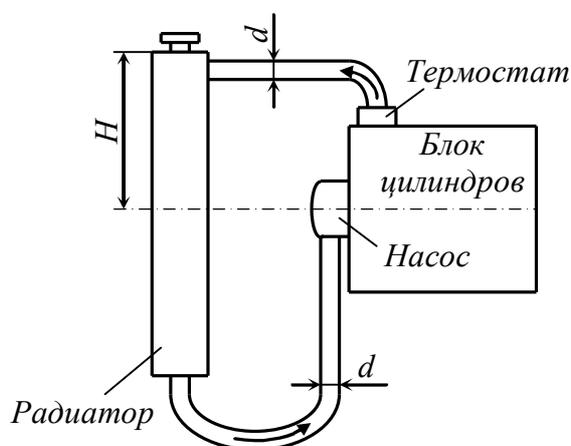
Указание. Использовать формулу $\lambda = \frac{96}{Re}$, где $Re = \frac{2 \cdot \delta \cdot v}{\nu}$.



Задача 152

Определить напор, создаваемый насосом системы охлаждения автомобильного двигателя, при следующих данных: подача насоса $Q = 3,9$ л/с; коэффициенты сопротивления: блока цилиндров $\xi_1 = 3,5$; термостата $\xi_2 = 2,5$; радиатора $\xi_3 = 4,0$; трубы (шланга) от радиатора до насоса $\xi_4 = 2,0$. Все коэффициенты отнесены к скорости в трубе диаметром $d = 40$ мм. Чему равно абсолютное давление перед входом в насос, если в верхней части радиатора возник вакуум $p_{\text{вак}} = 1$ кПа?

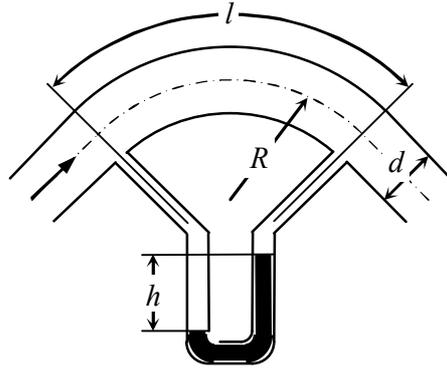
Дано: атмосферное давление $h_{\text{атм}} = 750$ мм рт. ст.; высота $H = 0,4$ м; плотность охлаждающей жидкости $\rho_{\text{жс}} = 1000$ кг/м³.



Задача 153

Определить коэффициент сопротивления колена трубы, если известны: диаметр $d = 50$ мм; эквивалентная шероховатость $\Delta = 0,2$ мм; расход $Q = 15$ м³/час; вязкость $\nu = 0,0151$ см²/с. Расстояние между точками присоединения дифференциального ртутного манометра с разницей уровней $h = 20$ мм составляет $l = 0,8$ м.

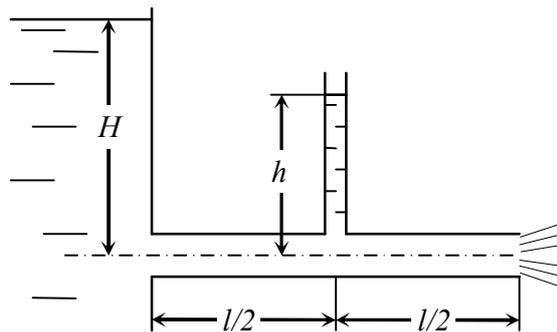
Коэффициент гидравлического трения λ по длине трубы определить по формуле Альтшуля.



Задача 154

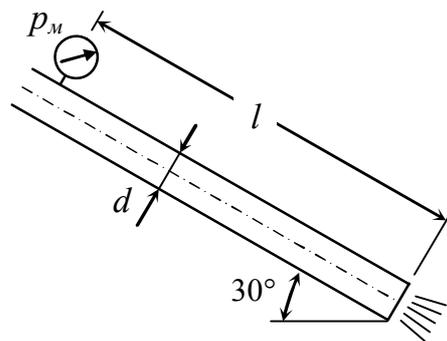
При истечении воды из резервуара в атмосферу по горизонтальной трубе, диаметр которой $d = 40$ мм и длина $l = 10$ м, при статическом напоре $H = 10$ м получено, что уровень в пьезометре, установленном на середине трубы, $h = 4,5$ м.

Определить расход Q и коэффициент гидравлического трения λ по длине трубы.



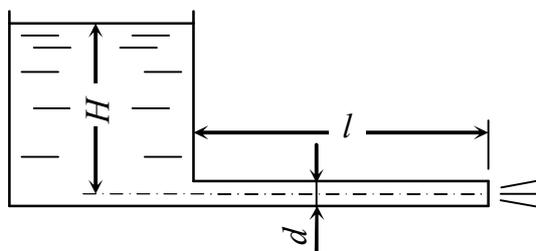
Задача 155

Определить расход воды Q ($\text{м}^3/\text{ч}$), если диаметр трубы $d = 65$ мм, длина трубопровода $l = 30$ м, показание манометра $p_m = 0,30$ кгс/см². Коэффициент гидравлического трения λ вычислить по формуле Никурадзе, приняв эквивалентную шероховатость трубы $\Delta = 0,5$ мм.



Задача 156

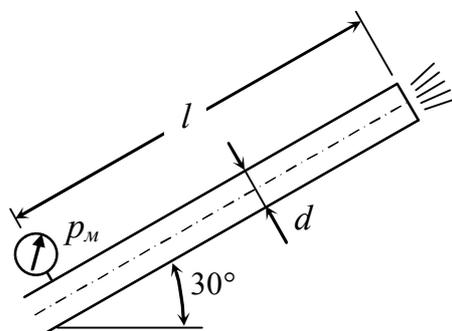
Определить длину трубопровода l (м), по которому из резервуара вытекает нефть с плотностью $\rho_n = 920 \text{ кг/м}^3$ и вязкостью $\nu = 100 \text{ мм}^2/\text{с}$. Массовый расход нефти $M_v = 8,5 \text{ т/ч}$, диаметр трубы $d = 50 \text{ мм}$, высота нефти в резервуаре $H = 4,7 \text{ м}$. Местными сопротивлениями пренебречь.



Задача 157

Определить массовый расход нефти M_c (кг/с) в трубопроводе диаметром $d = 75 \text{ мм}$ и длиной $l = 80 \text{ м}$, если показание манометра $p_m = 7,05 \text{ кгс/см}^2$, плотность нефти $\rho_n = 910 \text{ кг/м}^3$, вязкость $\nu = 90 \text{ мм}^2/\text{с}$.

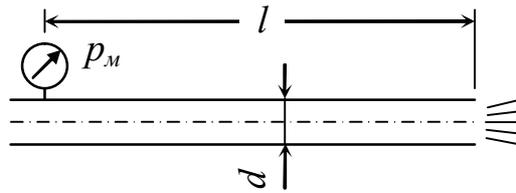
Указание. При решении задачи принять условно, что режим движения нефти ламинарный, а после определения скорости проверить.



Задача 158

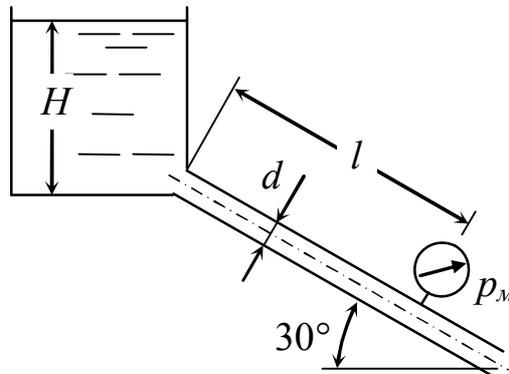
Определить коэффициент кинематической вязкости ν ($\text{мм}^2/\text{с}$) масла, перекачиваемого по трубопроводу диаметром $d = 75 \text{ мм}$ и длиной $l = 135 \text{ м}$, если показание манометра $p_m = 0,2 \text{ МПа}$, массовый расход масла $M_c = 4 \text{ кг/с}$, а плотность $\rho_m = 870 \text{ кг/м}^3$.

Указание. При решении задачи принять условно, что режим движения масла ламинарный, а после определения вязкости проверить.



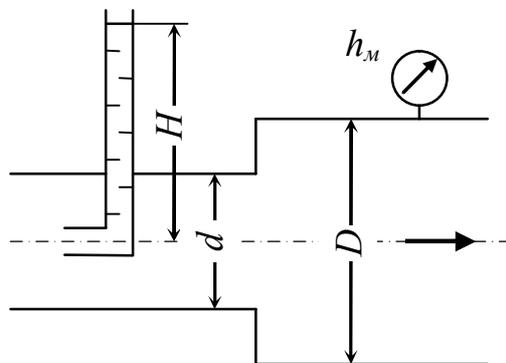
Задача 159

Определить расход воды Q ($\text{м}^3/\text{ч}$) в трубопроводе диаметром $d = 100$ мм и длиной $l = 18$ м, если высота уровня воды в резервуаре $H = 3$ м, показание манометра $p_m = 1$ кгс/см². Коэффициент λ вычислить по формуле Никурадзе, приняв абсолютную шероховатость трубы $\Delta = 0,5$ мм. Сопротивлением входного участка пренебречь.



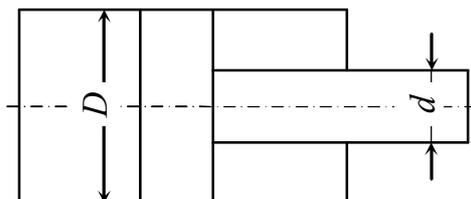
Задача 160

Определить расход керосина в трубопроводе Q ($\text{м}^3/\text{ч}$), если в трубке Пито керосин поднялся на высоту $H = 460$ мм, показание манометра $h_m = 20$ мм рт.ст., диаметры труб $d = 50$ мм и $D = 2 \cdot d$, плотность керосина $\rho_k = 800$ кг/м³. Потерями напора по длине пренебречь.



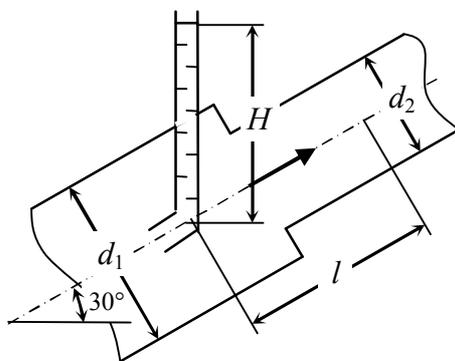
Задача 161

Гидроцилиндр диаметром $D = 160$ мм имеет односторонний шток диаметром $d = 80$ мм. Определить при расходе масла $Q = 0,157$ л/с, рабочем давлении $p = 10$ МПа в линии подачи и противодействии $p_{np} = 0,1$ МПа в линии слива скорость и усилие, развиваемые штоком гидроцилиндра при движении поршня: а) вправо; б) влево.



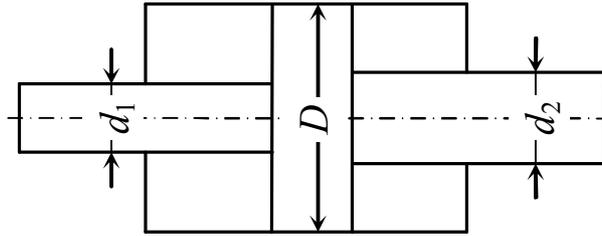
Задача 162

Определить расход жидкости Q ($м^3/ч$) в трубопроводе, ось которого наклонена к горизонту под углом $\alpha = 30^\circ$. Высота уровня жидкости в трубке Пито $H = 750$ мм, манометрическое давление в узком сечении трубопровода диаметром $d_2 = 75$ мм, отстоящем на расстоянии $l = 158$ см от носика трубки Пито, $p_m = 1500$ Па. Плотность жидкости $\rho = 800$ кг/м³.



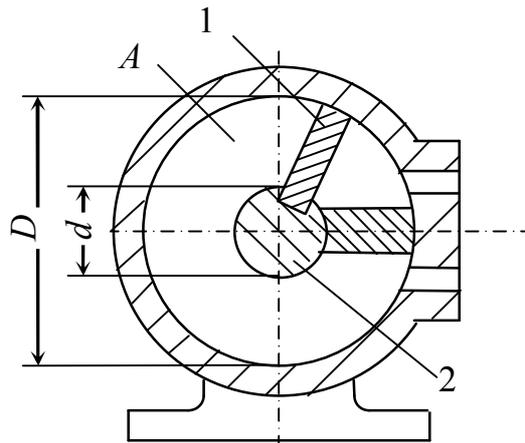
Задача 163

В двустороннем гидроцилиндре диаметр поршня $D = 160$ мм, диаметры штоков $d_1 = 80$ мм и $d_2 = 100$ мм. При рабочем давлении $p = 10$ МПа, противодействии в сливной линии $p_{np} = 0,15$ МПа и расходе масла, поступающей в рабочую полость, $Q = 0,1$ л/с, определить усилие и скорость развиваемые штоком при его движении: а) вправо; б) влево.



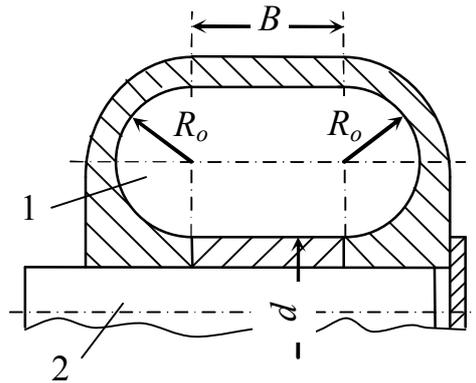
Задача 164

Пластинчатый поворотный гидродвигатель однократного действия с диаметрами рабочей камеры — внешним $D = 300$ мм и внутренним $d = 100$ мм, имеет пластину 1 прямоугольной формы шириной $B = 80$ мм. Определить, при каких значениях давления p в рабочей камере A и расходе масла Q выходной вал 2 гидродвигателя будет развивать крутящий момент $M = 4800$ Н·м и угловую скорость $\omega = 5$ рад/с. Противодавлением в сливной полости пренебречь.



Задача 165

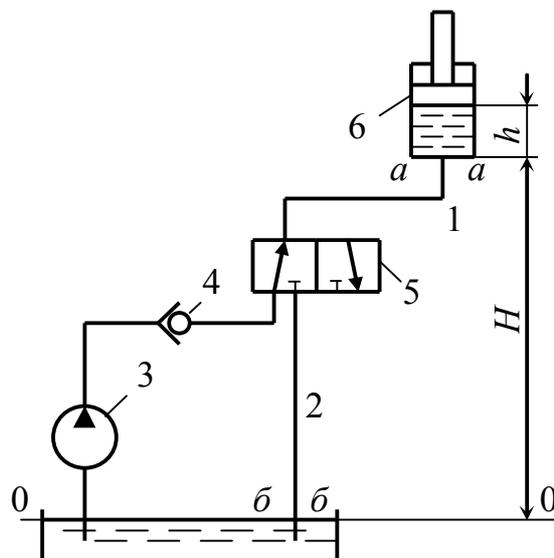
Площадь пластины 1 пластинчатого поворотного гидродвигателя однократного действия состоит из прямоугольника шириной $B = 50$ мм и двух полукругов с радиусом $R_o = 100$ мм. Диаметр вала 2 в рабочей камере гидродвигателя $d = 120$ мм. Определить расход масла в гидродвигателе при угловой скорости поворота вала $\omega = 5$ рад/с.



Задача 166

Определить диаметр напорной гидролинии объемного гидропривода, по которой масло подается насосом 3 через обратный гидроклапан 4 и гидрораспределитель 5 в гидроцилиндр 6, если общая длина гидролинии $l = 7,3$ м, потеря давления в ней $\Delta p = 0,1$ МПа, подача насоса $Q = 94$ л/мин.

Рабочая жидкость имеет плотность $\rho = 880$ кг/м³, кинематическую вязкость $\nu = 10$ мм²/с. В расчетах учесть коэффициенты местных сопротивлений обратного гидроклапана ($\xi_{кл} = 2$), колена ($\xi_k = 0,33$) и гидрораспределителя ($\xi_p = 2,5$). Расстоянием по вертикали между насосом 3 и гидроцилиндром 6 пренебречь. Трубы — гидравлически гладкие.



Задача 167

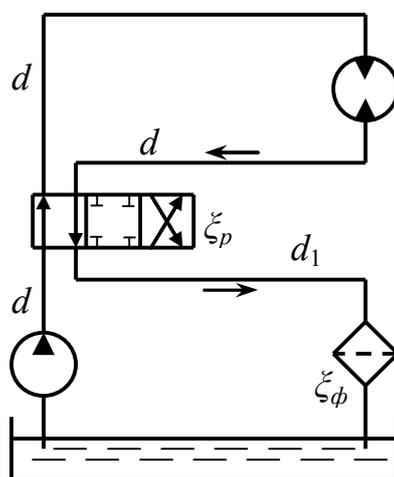
По условию задачи 166 найти время обратного хода поршня гидроцилиндра δ диаметром $D = 250$ мм, который совершается под действием веса $G = 4$ кН поднятого груза, если ход поршня $h = 250$ мм, размеры труб 1 и 2 соответственно равны $l_1 = 5,5$ м, $d_1 = 20$ мм, $l_2 = 1,8$ м, $d_2 = 32$ мм. Расстояние по вертикали от бака до гидроцилиндра $H = 2$ м. В расчетах учесть местные сопротивления: вход в трубу из гидроцилиндра ($\xi_{ex} = 0,5$), гидрораспределитель ($\xi_p = 2,5$), два колена ($\xi_k = 0,33$).

Рабочая жидкость имеет плотность $\rho = 880$ кг/м³ и кинематическую вязкость $\nu = 10$ мм²/с.

Задача 168

Напорная гидролиния объемного гидропривода имеет длину $l = 4,8$ м и диаметр $d = 20$ мм, сливная — $l_1 = 3,5$ м и $d_1 = 32$ мм, подача насоса $Q = 96$ л/мин, рабочая жидкость — масло ИГП-30 ($\rho = 890$ кг/м³).

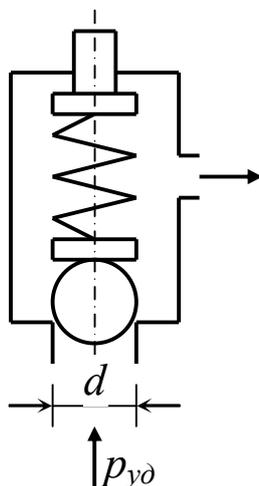
Пренебрегая утечками жидкости в гидроаппаратуре, построить график зависимости потерь давления в обеих гидролиниях от температуры рабочей жидкости. В расчетах учесть местные сопротивления колен ($\xi_k = 0,5$), гидрораспределителя ($\xi_p = 2$) и фильтра ($\xi_\phi = 12$).



Задача 169

К гидрораспределителю, время срабатывания которого $T_3 = 0,03$ с, подводится масло ($\rho = 900$ кг/м³; $E_{ж} = 1,35 \times 10^9$ МПа) с расходом $Q = 1$ л/с по латунному трубопроводу длиной $l = 7,5$ м и диаметром $D = 16$ мм. Перед гидрораспределителем установлен шариковый предо-

хранительный клапан диаметром $d = 12$ мм, жесткость пружины которого $C_1 = 50$ Н/мм. Определить величину предварительного поджатия пружины x_0 , при котором клапан сработает при гидравлическом ударе, если толщина стенки трубопровода $\delta = 1$ мм, модуль упругости латуни $E = 1,13 \times 10^{11}$ Па, начальное давление $p_0 = 0,5$ МПа.



Задача 170

Выполнить проверку на прочность стальной трубы диаметром $d = 200$ мм, в которой возможен прямой гидравлический удар. Толщина стенок трубы $\delta = 4$ мм, допустимое напряжение на растяжение $[\sigma] = 140$ МПа, скорость движения воды $v_0 = 5$ м/с, давление до удара $p_0 = 0,25$ МПа. Модуль упругости стенок трубы $E = 200 \times 10^9$ МПа

Задача 171

По трубопроводу переменного сечения ($l_1 = 170$ м; $d_1 = 80$ мм; $l_2 = 80$ м; $d_2 = 50$ мм; $\Delta = 0,1$ мм) масло ИГП-30 ($\rho = 890$ кг/м³) с температурой 30°C вытекает в атмосферу из закрытого резервуара, причем выходное сечение трубопровода расположено на $4,3$ м выше уровня жидкости. Определить расход масла Q при избыточном давлении на свободной поверхности жидкости $p_0 = 1,0$ МПа. В расчетах учесть потери напора на трение и потери в вентиле ($\xi_v = 7,5$), установленном в конце трубопровода. Другими местными сопротивлениями пренебречь.

Какое давление p_0 необходимо создать на поверхности жидкости, чтобы сохранить тот же расход при постоянном диаметре всего трубопровода $d_1 = d_2 = 50$ мм.

Задача 172

Трубопровод длиной 250 м, по которому вода из водонапорной башни поступает к потребителю, может быть составлен из двух участков труб диаметром $d_1 = 50$ мм и $d_2 = 32$ мм. Определить длины отдельных участков трубопровода l_1 и l_2 , при которых расход воды будет составлять $7,5$ м³/ч, если вертикальное расстояние от уровня воды в водонапорной башне до центра выходного сечения трубы равно 26 м, шероховатость труб $\Delta = 0,1$ мм, температура воды $t = 20^\circ\text{C}$.

В расчетах учесть потери на трение и потери в двух вентилях ($\xi_v = 5$), установленных по одному на каждом участке трубопровода. Остальными местными сопротивлениями и скоростным напором на выходе из трубы пренебречь.

Задача 173

Жидкость с плотностью $\rho = 850$ кг/м³ и коэффициентом кинематической вязкости $\nu = 200 \times 10^{-6}$ м²/с подается с расходом $Q = 1,57$ л/с на расстояние $l = 20$ м по горизонтальной трубе диаметром $d = 20$ мм. Определить давление и мощность, необходимые для обеспечения заданного расхода. Местные гидравлические сопротивления отсутствуют.

Задача 174

Керосин с расходом $Q = 9,8$ л/с перекачивается по горизонтальной трубе длиной $l = 50$ м и диаметром $d = 50$ мм. Определить необходимые давление и мощность, если свойства керосина: коэффициент кинематической вязкости $\nu = 2,5 \times 10^{-6}$ м²/с; плотность $\rho = 800$ кг/м³. Труба гидравлически гладкая. Местными гидравлическими сопротивлениями пренебречь.

Задача 175

По трубопроводу диаметром $d = 10$ мм и длиной $l = 10$ м подается жидкость ($\rho = 1000$ кг/м³; $\nu = 100 \times 10^{-6}$ м²/с) под действием перепада давления $\Delta p = 4$ МПа. Определить режим течения жидкости.

Указание. Воспользоваться выражением для числа Re через Q и законом Пуазейля, исключить из них расход Q и, определив критиче-

ский перепад давления, соответствующий смене режима течения, сравнить его с заданным перепадом.

Задача 176

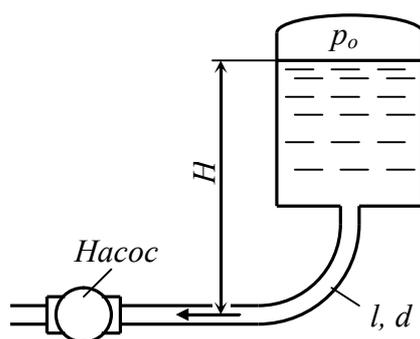
Определить режим течения жидкости при температуре 10°C ($\nu = 40 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) по трубопроводу длиной $l = 3 \text{ м}$, который при перепаде давления $\Delta p = 2 \text{ МПа}$ должен обеспечивать расход $Q = 1 \text{ л/с}$. Плотность жидкости $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$.

Указание. Воспользоваться выражением для числа Re через Q и законом Пуазейля, исключить из них диаметр d и, определив перепад давления, соответствующий смене режима течения, сравнить его с заданным перепадом.

Задача 177

На рисунке показан всасывающий трубопровод гидросистемы. Длина трубопровода $l = 1 \text{ м}$, диаметр $d = 20 \text{ мм}$, расход жидкости $Q = 0,314 \text{ л/с}$, абсолютное давление воздуха в бачке $p_o = 100 \text{ кПа}$, высота $H = 1 \text{ м}$, плотность жидкости $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$. Определить абсолютное давление перед входом в насос при температуре рабочей жидкости $t = +25^{\circ}\text{C}$ ($\nu = 20 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$).

Как изменится искомое давление в зимнее время, когда при этом же расходе температура жидкости упадет до -35°C ($\nu = 100 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$).



Задача 178

Общая длина одной из напорных магистралей гидросистемы $l = 10 \text{ м}$, диаметр $d = 10 \text{ мм}$, скорость движения рабочей жидкости $v = 7,5 \text{ м/с}$, вязкость $\nu = 50 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. В связи с нагревом рабочей жидко-

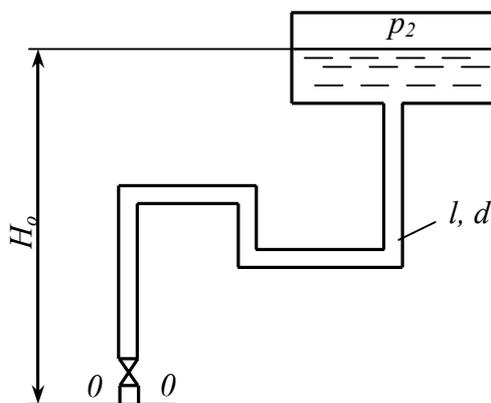
сти в системе происходит понижение ее вязкости до $\nu = 15 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ и турбулизация потока в гидравлически гладкой трубе. Насколько изменится суммарная потеря напора в указанной магистрали при турбулизации потока и неизменном расходе жидкости?

Задача 179

Жидкость с плотностью $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ и вязкостью $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ нагнетается по горизонтальному трубопроводу длиной $l = 4 \text{ м}$ и диаметром $d = 25 \text{ мм}$. Определить давление в начальном сечении, если в конечном сечении трубопровода давление атмосферное, расход жидкости $Q = 6 \text{ л/с}$, шероховатость стенок трубопровода $\Delta = 0,06 \text{ мм}$.

Задача 180

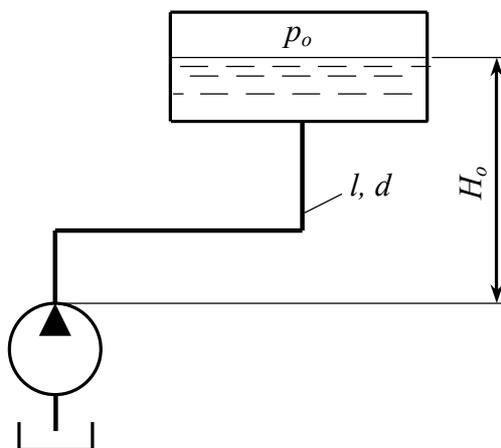
Определить потребный напор, который необходимо создать в сечении $0-0$ для подачи в бак воды с вязкостью $\nu = 0,8 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, если длина трубопровода $l = 80 \text{ м}$, его диаметр $d = 50 \text{ мм}$, расход воды $Q = 15 \text{ л/с}$, высота $H_0 = 30 \text{ м}$, давление в баке $p_2 = 0,2 \text{ МПа}$, коэффициент сопротивления крана $\xi_1 = 5$, колена $\xi_2 = 0,8$, эквивалентная шероховатость стенок трубы $\Delta = 0,04 \text{ мм}$.



Задача 181

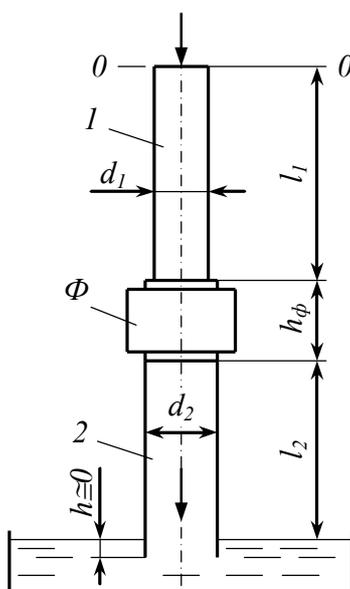
При каком диаметре трубопровода подача насоса составит $Q = 1 \text{ л/с}$, если на выходе из него располагаемый напор $H_{расп} = 9,6 \text{ м}$? Длина трубопровода $l = 10 \text{ м}$, эквивалентная шероховатость $\Delta = 0,05 \text{ мм}$, давление в баке $p_0 = 30 \text{ кПа}$, высота $H_0 = 4 \text{ м}$, вязкость жидкости

$\nu = 1,5 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, а ее плотность $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$. Местными сопротивлениями в трубопроводе пренебречь. Учесть потери при входе в бак.



Задача 182

Жидкость из гидросистемы вытекает в бак через трубопровод 1 длиной $l_1 = 3 \text{ м}$ и диаметром $d_1 = 15 \text{ мм}$, фильтр Φ , сопротивление которого эквивалентно сопротивлению трубопровода, длиной $l = 300 \times d_1$ и трубопровод 2 длиной $l_2 = 5 \text{ м}$ и диаметром $d_2 = 25 \text{ мм}$. Определить расход жидкости, если ее вязкость $\nu = 50 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, плотность $\rho = 900 \text{ кг}/\text{м}^3$, давление в сечении 0-0 $p_0 = 0,25 \text{ МПа}$, высота фильтра $h = 0,3 \text{ м}$. Учесть потерю напора при выходе из трубы в бак.



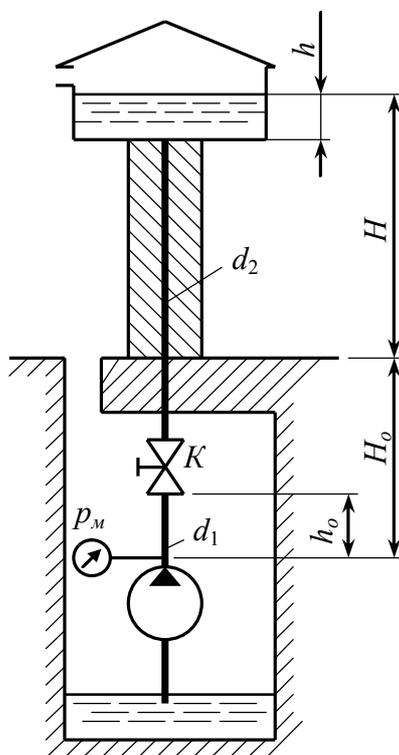
Задача 183

Определить расход керосина в гладкой горизонтальной трубе длиной $l = 40$ м и диаметром $d = 40$ мм, если разность давлений в начальном и конечном сечениях трубы $\Delta p = 160$ кПа. Вязкость керосина $\nu = 2 \times 10^{-6}$ м²/с, плотность $\rho = 800$ кг/м³.

Указание. Задачу следует решать методом последовательных приближений, задавшись сначала значением коэффициента гидравлического трения λ в первом приближении.

Задача 184

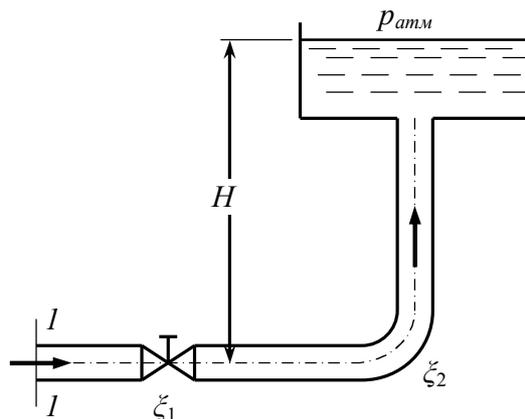
Вода с вязкостью $\nu = 1,2 \times 10^{-6}$ м²/с нагнетается насосом из колодца в водонапорную башню по вертикальному трубопроводу. Определить диаметр трубы d_2 от крана K до бака, если высота башни $H = 10$ м, глубина погружения насоса $H_o = 5$ м, высота уровня жидкости в баке $h = 1$ м, длина участка трубопровода от насоса до крана $h_o = 3$ м, его диаметр $d_1 = 40$ мм, коэффициент сопротивления крана $\xi_k = 3$ (отнесен к диаметру d_1), показание манометра $p_m = 0,3$ МПа, подача насоса $Q = 1,5$ л/с. Учесть потерю скоростного напора при входе в бак. Трубы считать гидравлически гладкими.



Задача 185

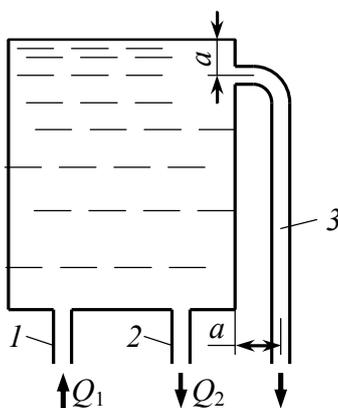
Определить расход в трубе для подачи воды ($\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) на высоту $H = 16,5 \text{ м}$, если диаметр трубы $d = 10 \text{ мм}$, ее длина $l = 20 \text{ м}$, располагаемый напор в сечении 1–1 трубы перед краном $H_{расч} = 20 \text{ м}$, коэффициент сопротивления крана $\zeta_1 = 4$, колена $\zeta_2 = 1$. Трубу считать гидравлически гладкой.

Указание. Задачу решить методом последовательных приближений, задавшись значением коэффициента Дарси λ , а затем уточняя его.



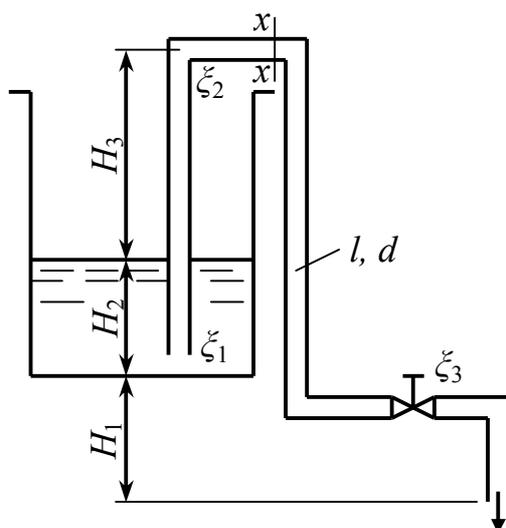
Задача 186

Вода по трубе 1 подается в открытый бак и вытекает по трубе 2. Во избежание переливания воды через край бака устроена вертикальная сливная труба 3 диаметром $d = 50 \text{ мм}$. Определить необходимую длину L трубы 3 из условия, чтобы при $Q_1 = 10 \text{ л/с}$ и перекрытой трубе 2 ($Q_2 = 0$) вода не переливалась через край бака. Режим течения считать турбулентным. Принять следующие значения коэффициентов сопротивления: на входе в трубу $\zeta_1 = 0,5$; в колене $\zeta_2 = 0,5$; на трение по длине трубы $\lambda = 0,03$. Конструктивный размер $a \approx 0$.



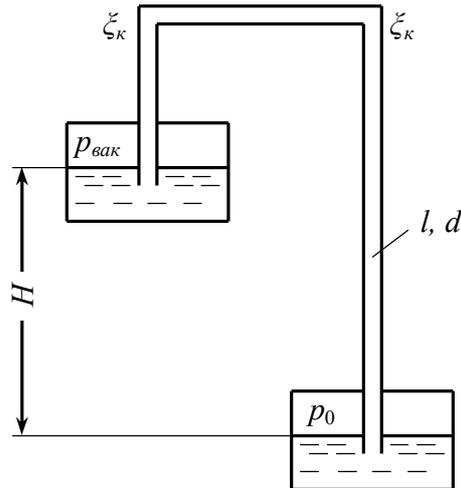
Задача 187

Определить расход воды через сифонный трубопровод, изображенный на рисунке, если высоты $H_1 = 1$ м; $H_2 = 2$ м; $H_3 = 4$ м. Общая длина трубы $l = 20$ м, а его диаметр $d = 20$ мм. Режим течения считать турбулентным. Учесть потери в местных сопротивлениях: вход в трубу ($\zeta_1 = 1$); четыре колена ($\zeta_2 = 0,20$); вентиль ($\zeta_3 = 4$), а также потери на трение по длине трубы ($\lambda = 0,035$). Определить вакуум в верхнем сечении $x-x$, если длина участка от входа в трубу до этого сечения $l_x = 8$ м.



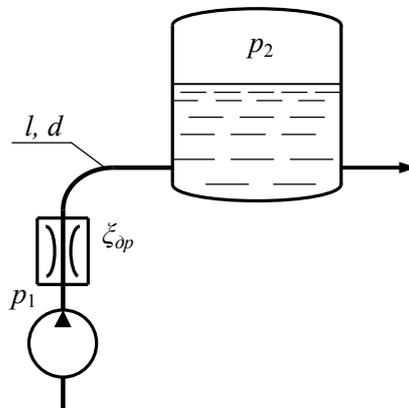
Задача 188

Труба, соединяющая два бака, заполнена жидкостью с вязкостью $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ и плотностью $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Определить, при какой высоте H жидкость: а) будет двигаться из верхнего бака в нижний с расходом $Q = 0,05 \text{ л/с}$; б) будет двигаться в обратном направлении с тем же расходом. Дано: длина трубы $l = 2,5$ м; ее диаметр $d = 8$ мм; коэффициент сопротивления каждого колена $\zeta_k = 0,5$; избыточное давление в нижнем баке $p_o = 7 \text{ кПа}$; вакуум в верхнем баке $p_{\text{вак}} = 3 \text{ кПа}$. Трубу считать гидравлически гладкой.



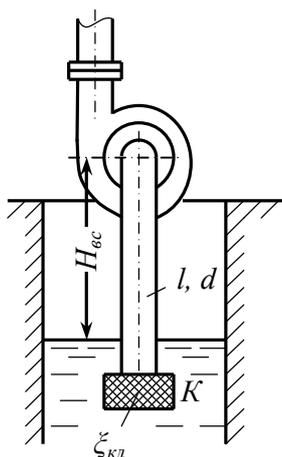
Задача 189

Какое давление p_1 должен создавать насос для подачи масла по трубе с расходом $Q = 0,4$ л/с, если давление воздуха в пневмогидравлическом аккумуляторе $p_2 = 2$ МПа, а коэффициент сопротивления дросселя $\zeta_{др} = 100$? Длина трубы от насоса до аккумулятора $l = 4$ м, а его диаметр $d = 10$ мм. Свойства масла: плотность $\rho = 900$ кг/м³; вязкость $\nu = 50 \times 10^{-6}$ м²/с. Коэффициент ζ отнесен к трубе диаметром $d = 10$ мм.



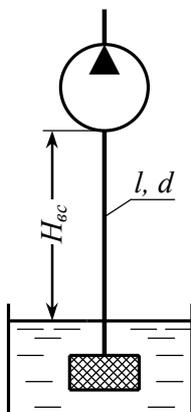
Задача 190

Определить абсолютное давление воды перед входом в центробежный насос, если его подача $Q = 0,628$ л/с, а высота всасывания $H_{вс} = 5$ м. Всасывающую трубу, длина которой $l = 8$ м, а диаметр $d = 20$ мм, считать гидравлически гладкой. Учесть сопротивление приемного клапана K с фильтрующей сеткой ($\zeta_{кл} = 3$). Вязкость воды $\nu = 1 \times 10^{-6}$ м²/с, атмосферное давление $h_{атм} = 750$ мм рт. ст.



Задача 191

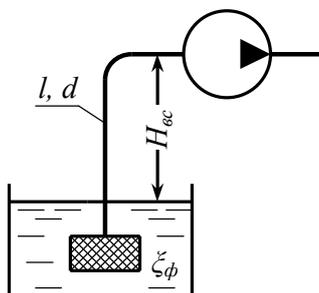
Определить предельную высоту всасывания $H_{вс}$ масла насосом при подаче $Q = 0,4$ л/с из условия бескавитационной работы насоса, считая, что минимальное абсолютное давление перед входом в насос должно быть $p_{min} \geq 30$ кПа. Атмосферное давление $h_{атм} = 750$ мм рт. ст. Размеры трубопровода: длина $l = 2$ м; диаметр $d = 20$ мм. Свойства масла: плотность $\rho = 900$ кг/м³; вязкость $\nu = 200 \times 10^{-6}$ м²/с. Сопротивлением входного фильтра пренебречь.



Задача 192

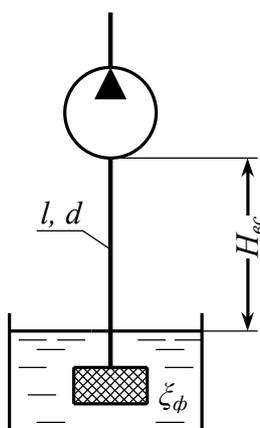
Определить максимальный расход бензина Q , который можно допустить во всасывающем трубопроводе насоса бензоколонки из условия отсутствия кавитации перед входом в насос, если высота всасывания $H_{вс} = 4$ м, а размеры трубопровода: $l = 6$ м; $d = 24$ мм. Давление насыщенного пара бензина $p_{н.н} = 40$ кПа. Режим течения считать турбулентным. Дано: коэффициент сопротивления приемного фильтра $\xi_{\phi} = 2$; ко-

коэффициент гидравлического трения $\lambda = 0,03$; атмосферное давление $h_{атм} = 750 \text{ мм рт. ст.}$; плотность бензина $\rho_b = 750 \text{ кг/м}^3$.



Задача 193

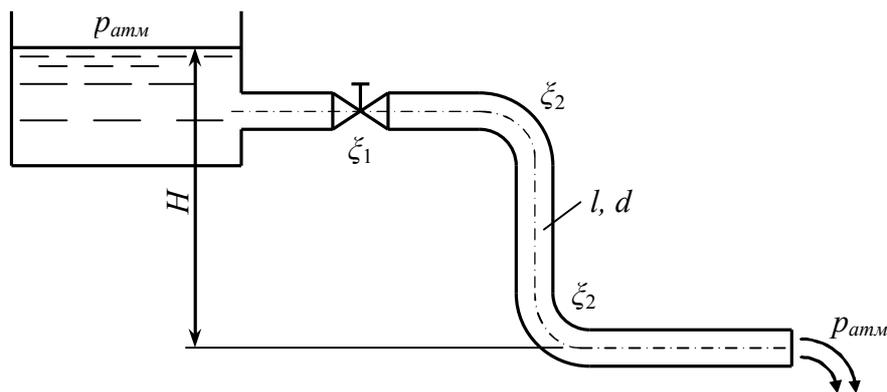
Определить минимально возможный диаметр всасывающего трубопровода, если подача насоса $Q = 1 \text{ л/с}$, высота всасывания $H_{вс} = 2,5 \text{ м}$, длина трубопровода $l = 3 \text{ м}$, шероховатость трубы $\Delta = 0,08 \text{ мм}$, коэффициент сопротивления входного фильтра $\zeta_{\phi} = 5$, максимально допустимый вакуум перед входом в насос $p_{вак} = 0,08 \text{ МПа}$, вязкость рабочей жидкости $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, плотность $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.



Задача 194

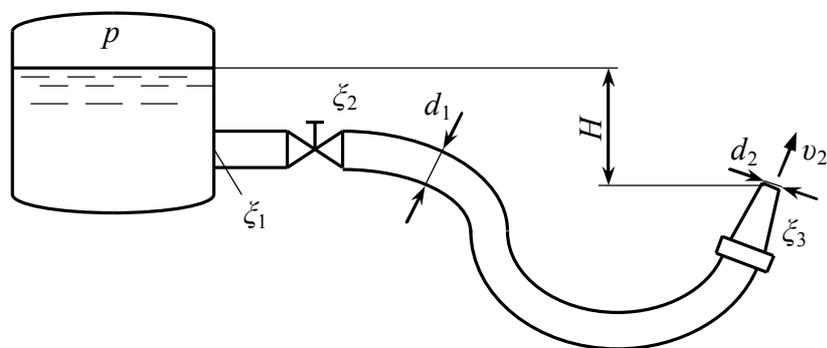
Определить расход воды с вязкостью $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, вытекающей через трубу из бака, если диаметр трубы $d = 20 \text{ мм}$, длина $l = 10 \text{ м}$, высота $H = 8 \text{ м}$, коэффициент сопротивления крана $\zeta_1 = 3$, колена $\zeta_2 = 1$, эквивалентная шероховатость трубы $\Delta = 0,05 \text{ мм}$.

Указание. Задачу решить методом последовательных приближений, задавшись коэффициентом гидравлического трения λ .



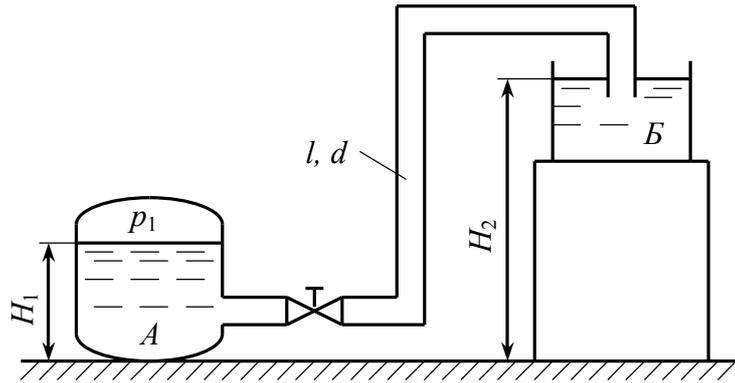
Задача 195

Определить давление в напорном баке p , необходимое для получения скорости истечения из брандспойта $v_2 = 20 \text{ м/с}$. Длина шланга $l = 20 \text{ м}$, диаметр $d_1 = 20 \text{ мм}$, диаметр выходного отверстия брандспойта $d_2 = 10 \text{ мм}$. Высота уровня воды в баке относительно выходного отверстия брандспойта $H = 5 \text{ м}$. Учесть местные гидравлические сопротивления при входе в трубу ($\zeta_1 = 0,5$), в кране ($\zeta_2 = 3,5$), в брандспойте ($\zeta_3 = 0,1$), отнесенный к скорости v_2 . Шланг считать гидравлически гладким. Вязкость воды $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.



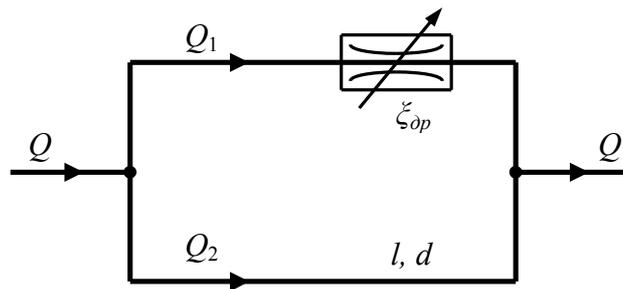
Задача 196

Вода перетекает из бака A в резервуар B по трубе диаметром $d = 25 \text{ мм}$ и длиной $l = 10 \text{ м}$. Определить расход воды Q , если избыточное давление в баке $p_1 = 200 \text{ кПа}$, уровень воды в баке $H_1 = 1 \text{ м}$, а в резервуаре — $H_2 = 5 \text{ м}$. Режим течения считать турбулентным. Коэффициенты сопротивлений принять: на входе в трубу $\zeta_1 = 0,5$; в вентиле $\zeta_2 = 4$; в коленах $\zeta_3 = 0,2$. Коэффициент гидравлического трения $\lambda = 0,025$.



Задача 197

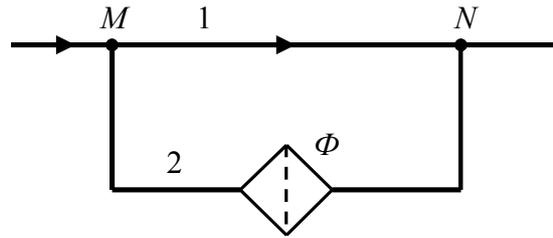
Даны расход в основной гидрوليнии $Q = 3 \text{ л/с}$ и размеры одинаковых по длине l и диаметру d параллельных ветвей ($l = 1 \text{ м}$; $d = 10 \text{ мм}$). В одной из ветвей установлен дроссель с коэффициентом сопротивления $\xi_{др} = 9$. Определить расходы в ветвях Q_1 и Q_2 , если режим течения турбулентным, а коэффициент гидравлического трения $\lambda = 0,03$.



Задача 198

Трубопровод с расходом жидкости $Q = 0,32 \text{ л/с}$ в точке M разветвляется на два трубопровода: первый с размерами $l_1 = 1,0 \text{ м}$ и $d_1 = 10 \text{ мм}$; второй с размерами $l_2 = 2,0 \text{ м}$ и $d_2 = 8 \text{ мм}$. В точке N эти трубопроводы смыкаются. Во втором трубопроводе установлен фильтр Φ , сопротивление которого эквивалентно трубе длиной $l_3 = 200 \times d_2$.

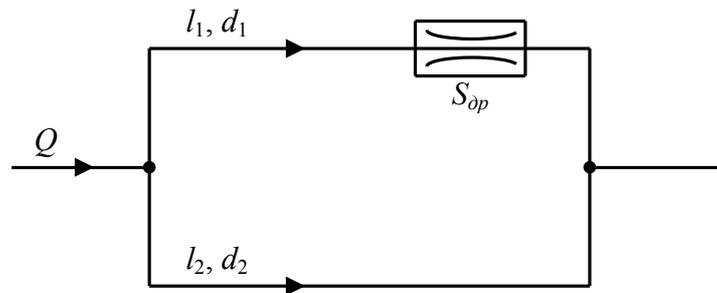
Определить расход и потерю давления в каждом трубопроводе, если плотность жидкости $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$, а ее вязкость $\nu = 100 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.



Задача 199

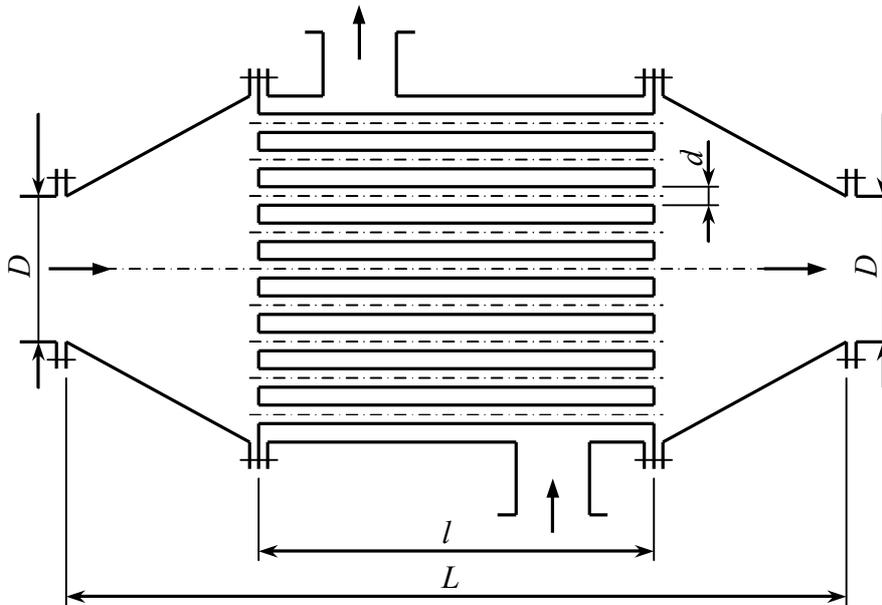
Определить, при каком проходном сечении дросселя $S_{др}$ расходы в параллельных трубопроводах будут одинаковыми, если длины трубопроводов $l_1 = 5$ м и $l_2 = 10$ м, а их диаметры $d_1 = d_2 = 12$ мм.

Дано: коэффициент расхода дросселя $\mu = 0,7$; вязкость рабочей жидкости $\nu = 1 \times 10^{-6}$ м²/с; расход жидкости до разветвления $Q = 0,2$ л/с. Трубопровод считать гидравлически гладким.



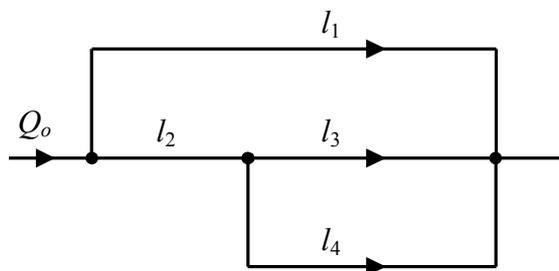
Задача 200

На трубопроводе диаметром $D = 400$ мм, подводящем воду к ТЭЦ, установлен трубчатый подогреватель воды. Сумма живых сечений трубок ($d = 25$ мм) сделана примерно равной площади сечения трубопровода, длина трубок $l = 0,5 \cdot L$, число трубок $n = 256$. Пренебрегая сопротивлением конусов и потерями на входе в трубки и на выходе из них, определить, во сколько раз сопротивление подогревателя больше сопротивления участка трубопровода диаметром D и длиной L , на место которого установлен подогреватель. Значения коэффициентов гидравлического трения λ определить по формуле Блазиуса.



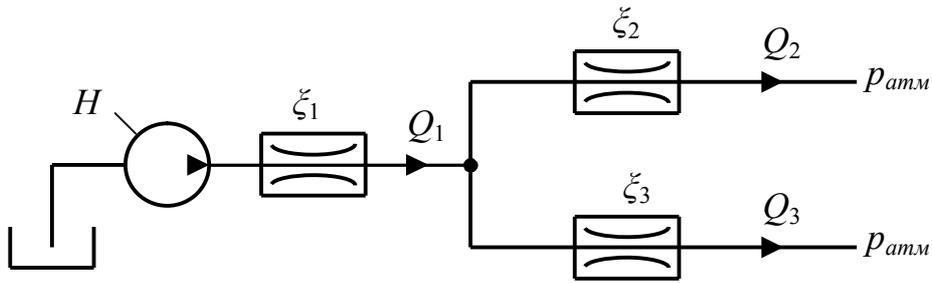
Задача 201

На рисунке показан сложный трубопровод, состоящий из четырех простых. Определить расходы на каждом участке трубопровода, если суммарный расход $Q_o = 6 \text{ л/мин}$. Длины каждого участка трубопровода равны соответственно $l_1 = 5 \text{ м}$, $l_2 = 3 \text{ м}$, $l_3 = 3 \text{ м}$, $l_4 = 6 \text{ м}$. Считать, что режим течения ламинарный, а диаметры трубопроводов одинаковы.



Задача 202

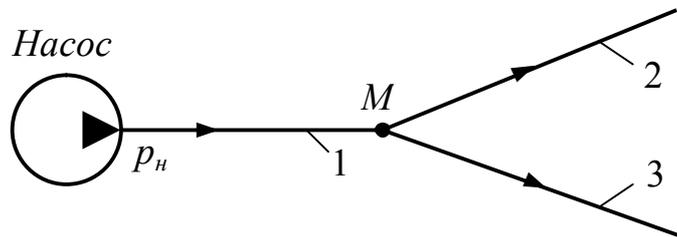
Насос обеспечивает расход $Q_1 = 0,6 \text{ л/с}$ по трубопроводу, в котором установлен дроссель с коэффициентом сопротивления $\zeta_1 = 3$. В точке M трубопровод разветвляется на два трубопровода, каждый из которых также содержит дроссель с коэффициентом сопротивления соответственно $\zeta_2 = 10$ и $\zeta_3 = 40$. Пренебрегая потерями давления на трение по длине, определить расходы жидкости в ветвях и давление, развиваемое насосом. Трубы имеют одинаковый диаметр $d = 10 \text{ мм}$. Свойства жидкости: плотность $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; вязкость $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.



Задача 203

Насос подает масло с расходом $Q = 0,3 \text{ л/с}$ по трубопроводу 1 длиной $l_1 = 5 \text{ м}$ и диаметром $d_1 = 10 \text{ мм}$. В точке M трубопровод 1 разветвляется на два трубопровода (2 и 3), имеющие размеры: $l_2 = 8 \text{ м}$ и $d_2 = 8 \text{ мм}$; $l_3 = 2 \text{ м}$ и $d_3 = 5 \text{ мм}$. Определить давление, создаваемое насосом, и расход масла в каждой ветви трубопровода (Q_2 и Q_3) при вязкости масла $\nu = 50 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ и плотности $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$. Режим течения на всех трех участках считать ламинарным. Местные гидравлические сопротивления отсутствуют. Давление в конечных сечениях труб атмосферное, а геометрические высоты одинаковы.

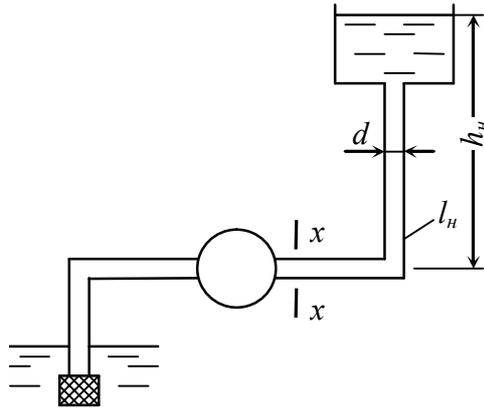
Указание. Составить три уравнения с неизвестными: p_n , Q_2 и Q_3 .



Задача 204

Центробежный насос подает воду с температурой $t = 15 \text{ С}$ по новой стальной трубе диаметром $d = 125 \text{ мм}$ и длиной $l_n = 27 \text{ м}$ при геометрической высоте нагнетания $h_n = 24 \text{ м}$.

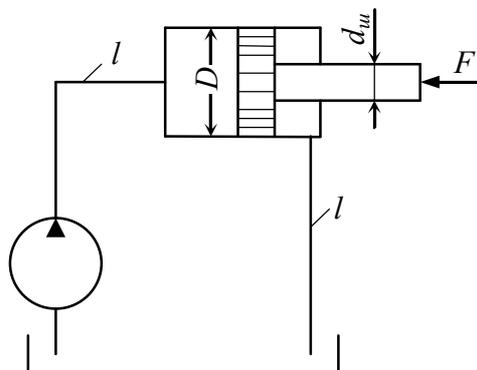
Определить расход Q воды в трубопроводе, если в сечении $x-x$ избыточное давление $p_x = 0,26 \text{ МПа}$.



Задача 205

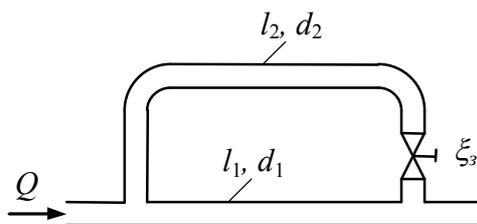
Определить давление, создаваемое насосом, если длины напорного и сливного трубопроводов гидроцилиндра одинаковы и равны $l = 5 \text{ м}$, а диаметры трубопроводов $d = 15 \text{ мм}$.

Дано: диаметры поршня $D = 60 \text{ мм}$ и штока $d_{ш} = 40 \text{ мм}$; усилие на штоке $F = 1 \text{ кН}$; подача насоса $Q = 1,2 \text{ л/с}$; вязкость рабочей жидкости $\nu = 0,5 \text{ см}^2/\text{с}$; плотность рабочей жидкости $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.



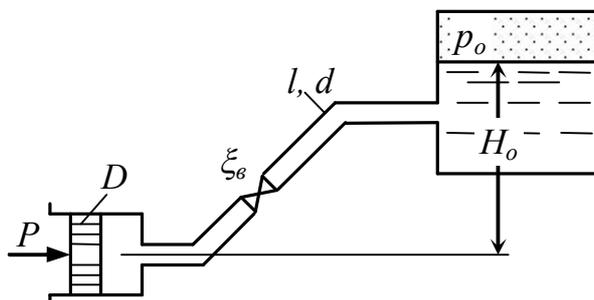
Задача 206

Найти, как распределится расход $Q = 25 \text{ л/с}$ между двумя параллельными ветвями, одна из которых имеет длину $l_1 = 30 \text{ м}$ и диаметр $d_1 = 50 \text{ мм}$, а другая (с задвижкой, коэффициент сопротивления которой $\xi_3 = 3$) имеет длину $l_2 = 50 \text{ м}$ и диаметр $d_2 = 100 \text{ мм}$. Какова будет потеря напора на разветвленном участке? Значения коэффициентов гидравлического трения на участках труб принять равными $\lambda_1 = 0,04$ и $\lambda_2 = 0,03$ соответственно. Потери напора в тройниках и коленах не учитывать.



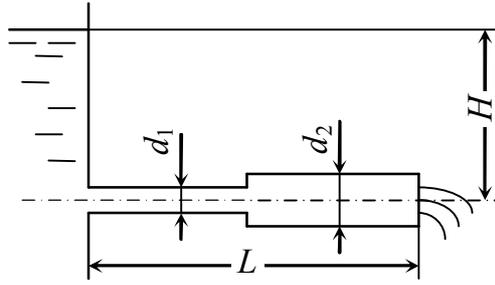
Задача 207

Определить силу P , которую необходимо приложить к поршню насоса диаметром $D = 65$ мм, чтобы подавать в напорный бак жидкость с постоянным расходом $Q = 2,5$ л/с. Высота подъема жидкости в установке $H_o = 10$ м, избыточное давление в напорном баке $p_o = 0,15$ МПа. Размеры трубопровода: длина $l = 60$ м; диаметр $d = 30$ мм. Коэффициент сопротивления вентиля, установленного на трубопроводе, $\xi_3 = 5,5$. Потери напора на поворотах трубопровода не учитывать. Задачу решить для случаев подачи в бак бензина ($\rho_b = 756$ кг/м³; $\nu_b = 0,6$ мм²/с) и масла ($\rho_m = 930$ кг/м³; $\nu_m = 20$ мм²/с). Трением поршня в цилиндре пренебречь.



Задача 208

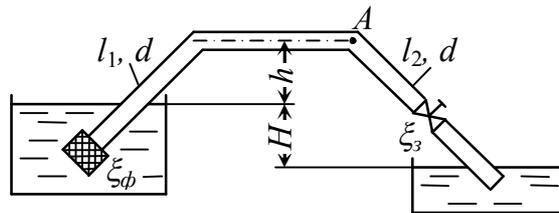
Для подачи воды с расходом $Q = 2,1$ м³/мин на расстояние $L = 400$ м под действия напора $H = 9$ м используются чугунные трубы двух диаметров: $d_1 = 150$ мм и $d_2 = 200$ мм. Определить необходимые длины участков трубопровода, принимая одинаковую для каждого участка эквивалентную шероховатость труб $\Delta = 1,2$ мм. Какой напор потребуется при том же значении расхода Q , если весь трубопровод выполнить из труб одного диаметра: а) $d_1 = 150$ мм; б) $d_2 = 200$ мм?



Задача 209

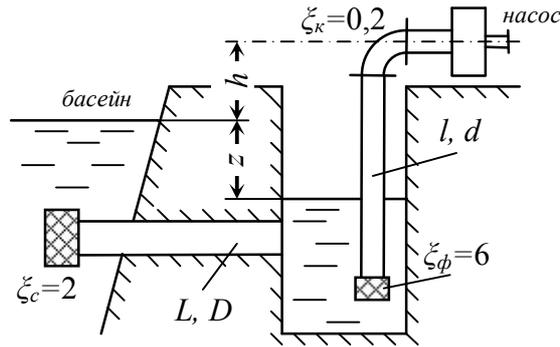
Определить диаметр трубопровода d и коэффициент сопротивления задвижки ξ_3 , если высота расположения точки A относительно начального уровня воды в резервуаре $h = 3,5$ м, а вакуум в этой же точке $p_{\text{вак}} = 60$ кПа. Потерями энергии на поворотах пренебречь.

Дано: разность уровней воды в резервуарах $H = 8$ м; длины участков трубопровода $l_1 = 100$ м и $l_2 = 70$ м; расход воды $Q = 0,07$ м³/с; коэффициент сопротивления приемного фильтра $\xi_\phi = 8,5$.



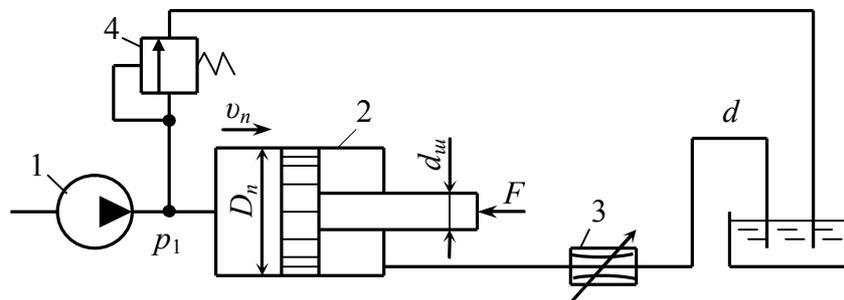
Задача 210

Центробежный насос осуществляет забор воды из бассейна по самотечной трубе через промежуточный колодец. Размеры самотечной трубы $L = 20$ м, $D = 150$ мм и всасывающей линии насоса $l = 12$ м, $d = 150$ мм. Насос расположен выше уровня воды в бассейне на $h = 2$ м. Определить расход воды Q , откачиваемый насосом, если известно, что вакуум во всасывающем патрубке насоса равен $p_s = 6$ м вод. ст. Коэффициент гидравлического трения в трубах $\lambda = 0,03$ (значения коэффициентов местных сопротивлений указаны на рисунке). Какой будет при этом расходе разница уровней воды z в бассейне и колодце?



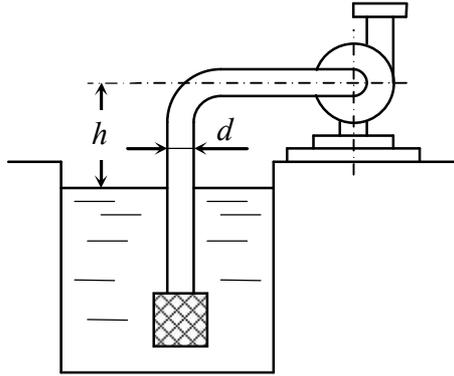
Задача 211

Под каким избыточным давлением p_1 нужно подвести рабочую жидкость ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) к левой полости гидроцилиндра 2 для перемещения поршня вправо со скоростью $v_n = 0,1 \text{ м/с}$ и преодоления нагрузки вдоль штока $F = 1000 \text{ Н}$, если коэффициент местного сопротивления дросселя 3 $\zeta_{др} = 10$? Другими местными сопротивлениями и потерей на трение в трубопроводе пренебречь. Диаметры: поршня $D_n = 60 \text{ мм}$; штока $d_{ш} = 30 \text{ мм}$; трубопровода $d = 6 \text{ мм}$.



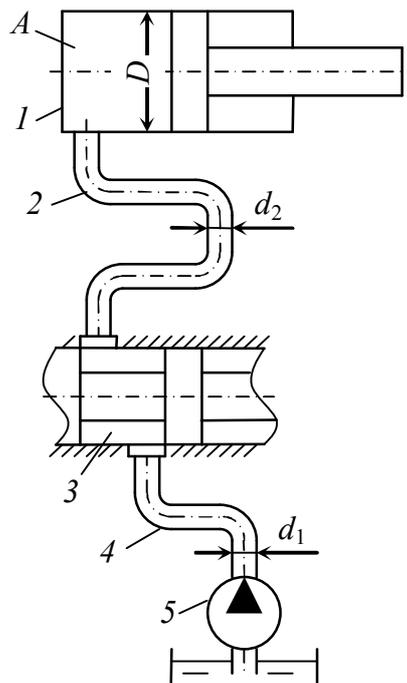
Задача 212

Центробежный насос, обеспечивающий подачу $50 \text{ м}^3/\text{ч}$, перекачивает в котельной воду с температурой 60°C . Всасывающая труба насоса диаметром $d = 100 \text{ мм}$, общей длиной $l = 6 \text{ м}$ имеет два колена ($\zeta_k = 0,5$) и приемный фильтр с клапаном ($\zeta_\phi = 2,5$). Коэффициент гидравлического трения трубы $\lambda = 0,028$. Определить максимально возможную высоту установки насоса h над уровнем воды в колодце исходя из условия, чтобы давление воды при входе в насос было на $0,2 \text{ кгс/см}^2$ выше давления парообразования, которое для воды при температуре 60°C составляет $p_t = 0,2 \text{ кгс/см}^2$. Атмосферное давление принять равным 760 мм рт.ст.



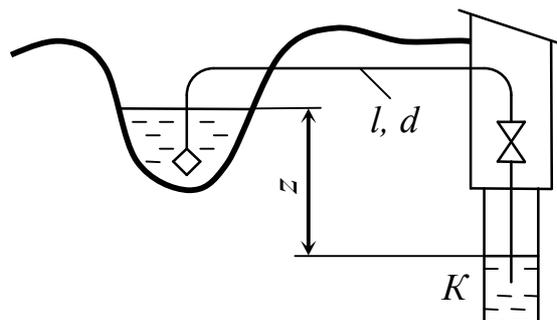
Задача 213

Напорная гидролиния, соединяющая насос 5 с гидроцилиндром 1, состоит из трубы 4 (диаметр $d_1 = 20$ мм; длина $l_1 = 2$ м), имеющей два резких поворота, и трубы 2 (диаметр $d_2 = 25$ мм; длина $l_2 = 2,5$ м), имеющей четыре резких поворота. Насос 5 развивает подачу $Q = 80$ л/мин. Масло имеет плотность $\rho = 900$ кг/м³ и кинематическую вязкость $\nu = 30 \times 10^{-6}$ м²/с. Определить, какое избыточное давление p_n развивает насос, если в рабочей полости А гидроцилиндра избыточное давление $p_{гц} = 10$ МПа. Коэффициенты местных сопротивлений принять: для резких поворотов труб $\xi_k = 1$; для гидрораспределителя 3 $\xi_{зр} = 2$; для входа масла в рабочую полость А гидроцилиндра $\xi_{вх} = 1$. Величиной превышения гидроцилиндра по высоте над насосом пренебречь.



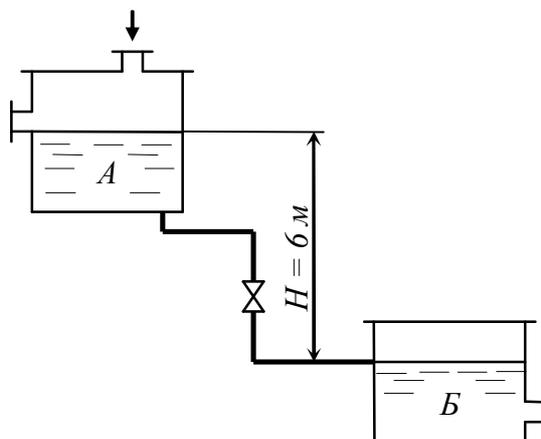
Задача 214

По сифонному трубопроводу вода подается из водоема в береговой колодец K . Диаметр трубы $d = 100$ мм, общая ее длина $l = 100$ м. На трубопроводе установлены: приемная сетка ($\zeta_c = 2,0$), два колена ($\zeta_k = 0,25$) и задвижка ($\zeta_z = 6,5$). Определить расход Q и проверить условия работы при $t = 20^\circ\text{C}$, если разница отметок уровней воды в водоеме и колодце $z = 2$ м.



Задача 215

Жидкость, имеющая плотность $\rho = 1200$ кг/м³ и кинематическую вязкость $\nu = 20 \times 10^{-6}$ м²/с, движется самотеком из бака A , в котором поддерживается постоянный уровень жидкости, в реактор B . Определить, какое максимальное количество жидкости (при полностью открытой задвижке) может поступать из бака в реактор за 1 час. Уровень жидкости в баке находится на 6 м выше входа жидкости в реактор. Трубопровод выполнен из алюминиевых труб с внутренним диаметром $d = 50$ мм. Общая длина трубопровода составляет $l = 16,4$ м. На трубопроводе имеются три колена ($\zeta_k = 0,25$) и задвижка ($\zeta_z = 2,5$). В баке и реакторе давление атмосферное.

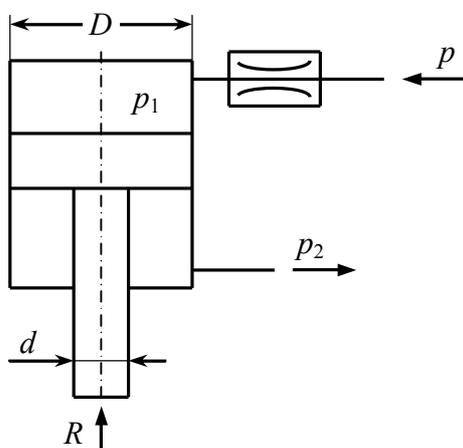


Задача 216

Масло через дроссель диаметром $d_o = 1,5$ мм подводится в поршневую полость гидроцилиндра. Давление перед дросселем $p = 12,5$ МПа, давление на сливе $p_2 = 200$ кПа, усилие на штоке $R = 20$ кН. Диаметр поршня $D = 80$ мм, диаметр штока $d = 50$ мм.

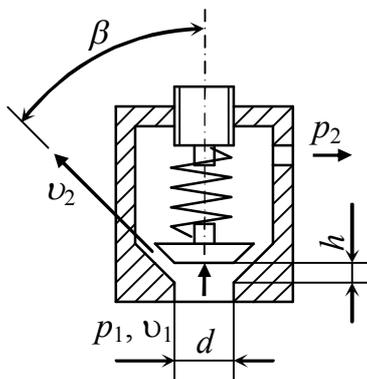
Определить скорость перемещения поршня, если коэффициент расхода дросселя $\mu = 0,62$, плотность рабочей жидкости $\rho = 895$ кг/м³. Весом поршня и штока, трением в гидроцилиндре и утечками жидкости пренебречь. Движение поршня считать равномерным.

Каким должен быть диаметр дросселя d_{o1} , чтобы скорость перемещения поршня стала равной $v_1 = 5$ см/с?



Задача 217

Определить расход масла через конический переливной клапан, диаметр которого $d = 26$ мм, если давление перед клапаном $p_1 = 12$ МПа, давление на сливе $p_2 = 0$, высота подъема клапана $h = 0,5$ мм, половина угла раскрытия конуса $\beta = 45^\circ$, коэффициент расхода $\mu = 0,62$, плотность масла $\rho = 890$ кг/м³.



Задача 218

Вода при постоянном напоре $H = 2,0$ м вытекает из открытого бака через отверстие, выполненное в его дне, диаметром 10 мм. Определить коэффициенты расхода, скорости и сжатия струи (μ , φ , ε), а также коэффициент сопротивления ξ и потерю напора h_n , если резервуар вместимостью 92 л, в который вытекает жидкость, заполняется за 5 мин, а диаметр струи в сжатом сечении равен 8 мм.

Задача 219

Определить расход жидкости через малое отверстие в тонкой стенке при напоре $H = 1,5$ м, если при напоре $H_1 = 2$ м он равен 1,22 л/с.

Задача 220

Приток воды в открытый бак, в дне которого имеется отверстие диаметром 20 мм, равен 0,7 л/с. Определить максимальный напор, который установится в баке.

Задача 221

Из закрытого резервуара вода вытекает в атмосферу через отверстие диаметром 15 мм. Отверстие выполнено в боковой стенке и находится на глубине 1,8 м под поверхностью жидкости. Определить расход воды Q , если избыточное давление на свободной поверхности жидкости в резервуаре $p_o = 8$ кПа, а коэффициент расхода отверстия $\mu = 0,62$.

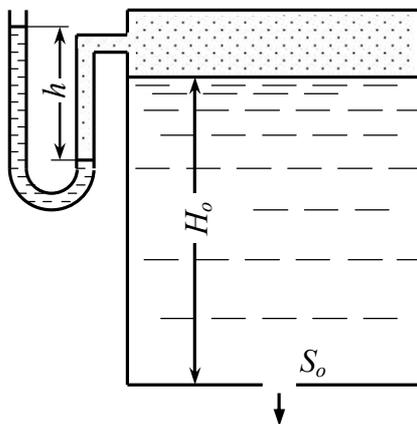
На какую величину необходимо поднять давление p_o , чтобы расход воды увеличился на 20%?

Задача 222

Жидкость выливается из открытого бака через квадратное отверстие ($a \times a$), выполненное в его дне, при постоянном напоре $H = 1,7$ м. Определить необходимый размер стороны a квадратного отверстия для пропуска через него расхода $Q = 3,2$ л/с, если коэффициент расхода отверстия $\mu = 0,62$.

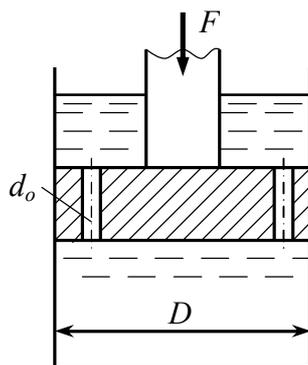
Задача 223

Определить расход жидкости ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$), вытекающей из бака через отверстие площадью $S_o = 1 \text{ см}^2$. Показание ртутного прибора, измеряющего давление воздуха в баке, $h = 268 \text{ мм}$, уровень жидкости в баке $H_o = 2 \text{ м}$, коэффициент расхода отверстия $\mu = 0,60$.



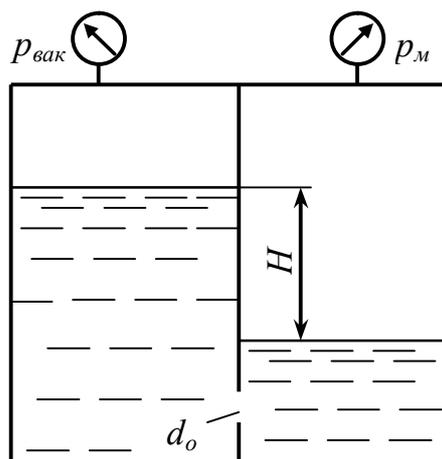
Задача 224

Определить скорость перемещения поршня вниз, если к его штоку приложена сила $F = 10 \text{ кН}$. Поршень диаметром $D = 50 \text{ мм}$ имеет пять сквозных отверстий одного диаметра $d_o = 2 \text{ мм}$. Отверстия можно рассматривать как внешние цилиндрические насадки с коэффициентом расхода $\mu = 0,82$. Плотность жидкости $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.



Задача 225

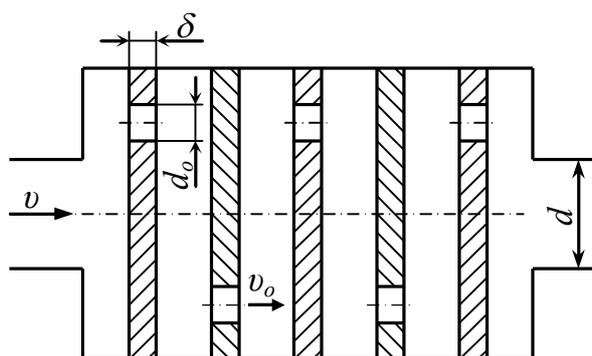
Определить направление истечения жидкости ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) через отверстие ($d_o = 5 \text{ мм}$) и расход, если разность уровней $H = 2 \text{ м}$, показание вакуумметра $p_{\text{вак}}$ соответствует 147 мм рт. ст. , показание манометра $p_m = 0,25 \text{ МПа}$, коэффициент расхода отверстия $\mu = 0,62$.



Задача 226

Определить коэффициент сопротивления многоступенчатого дросселя, отнесенный к скорости в трубке диаметром $d = 10$ мм, если дроссель состоит из пяти ступеней.

Каждая ступень представляет собой отверстие диаметров $d_o = 2$ мм, выполненное в перегородке толщиной $\delta = 1,0$ мм. Принять коэффициент расхода такого отверстия равным $\mu = 0,62$ и считать, что взаимное влияние ступеней дросселя отсутствует (скорость в промежутках между стенками гасится до нуля), а полная потеря напора распределяется равномерно между ступенями. Определить полную потерю давления в дросселе при скорости течения в трубке $v = 1$ м/с, если плотность жидкости $\rho = 850$ кг/м³.



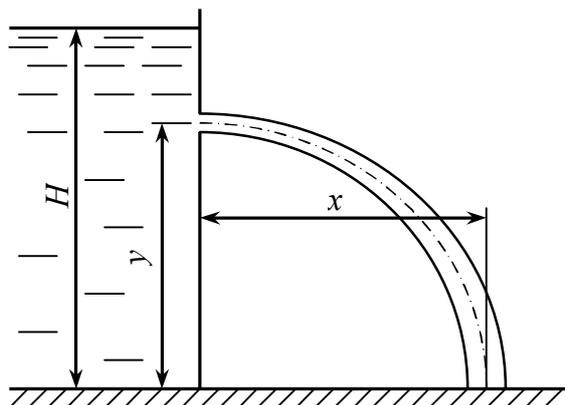
Задача 227

Из резервуара, установленного на полу и заполненного жидкостью до высоты H , происходит истечение жидкости через отверстие в стенке. На какой высоте y должно быть выполнено отверстие, чтобы

расстояние x до места падения струи на пол было максимальным? Определить это расстояние. Жидкость считать идеальной.

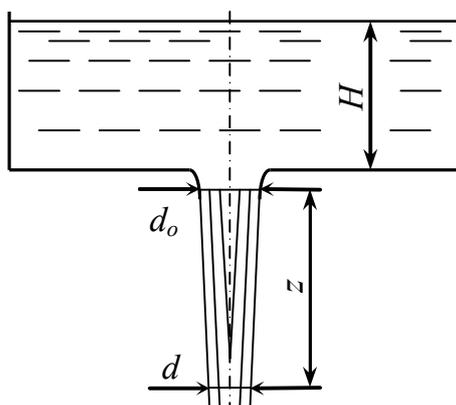
Указание. При решении задачи использовать следующую зависимость скорости истечения жидкости от координат траектории струи

$$v = x \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot y}}.$$



Задача 228

Жидкость вытекает через сопло диаметром d_o , установленное снизу горизонтального дна сосуда. Найти связь между диаметром струи d и высотой z , если напор равен H . Сопротивления пренебречь.



Задача 229

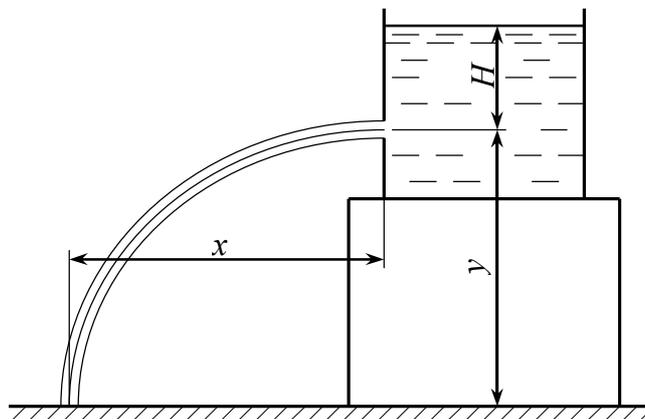
При исследовании истечения жидкости через круглое отверстие диаметром $d_o = 10$ мм были получены следующие данные: диаметр струи $d_c = 8$ мм; напор $H = 2$ м; время наполнения объема $V = 10$ л составило $t = 32,8$ с. Определить коэффициенты сжатия ε , скорости φ , рас-

хода μ и сопротивления ζ . Распределение скоростей по сечению струи принять равномерным.

Задача 230

При истечении жидкости через отверстие диаметром $d_o = 10 \text{ мм}$ было измерено: расстояние $x = 5,5 \text{ м}$; высота $y = 4 \text{ м}$; напор $H = 2 \text{ м}$; расход жидкости $Q = 0,305 \text{ л/с}$. Вычислить значения коэффициентов сжатия ε , скорости φ , расхода μ и сопротивления ζ . Распределение скоростей по сечению струи считать равномерным. Сопротивлением воздуха пренебречь.

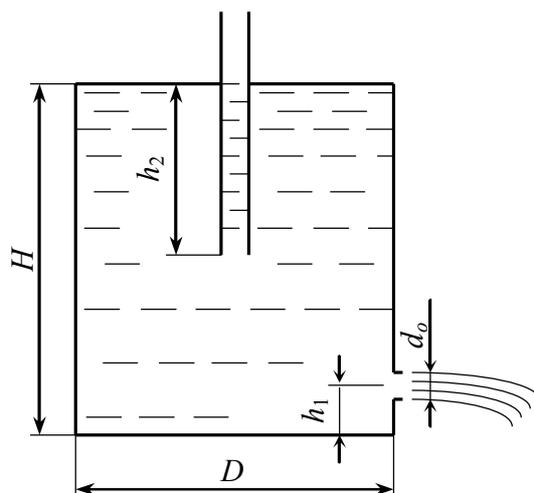
Указание. При решении задачи использовать зависимость, приведенную в указаниях к задаче 227.



Задача 231

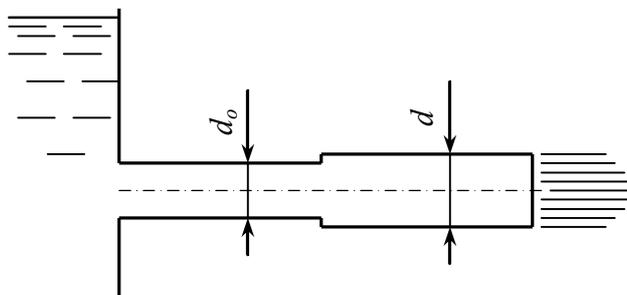
«Сосуд Мариотта» представляет собой герметично закрытый резервуар, в крышку которого вставлена трубка, сообщающая резервуар с атмосферой. Трубка может быть зафиксирована на различной высоте. В стенке резервуара имеется отверстие диаметром $d_o = 10 \text{ мм}$, через которое происходит истечение воды в атмосферу. Какое давление установится в резервуаре на уровне нижнего обреза трубки при истечении? Определить скорость истечения и время опорожнения «сосуда Мариотта» от верха до нижнего обреза трубки. Объемом воды в трубке и сопротивлением при истечении пренебречь ($\varepsilon = 1$).

Форма резервуара цилиндрическая, со следующими размерами: $D = 100 \text{ мм}$; $H = 2 \text{ м}$; $h_1 = 0,2 \text{ м}$; $h_2 = 1 \text{ м}$.



Задача 232

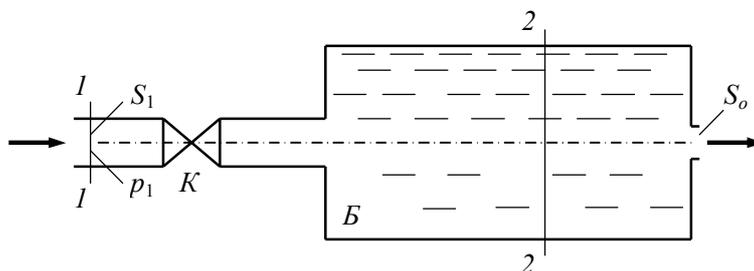
Как изменится расход воды Q (%) через внешний цилиндрический насадок ($\mu = 0,82$) диаметром $d_o = 20$ мм, если к нему привинтить цилиндрическую трубку диаметром $d = 30$ мм и получить истечение с заполнением выходного сечения трубки? Потерей на трение по длине пренебречь. Подсчитать максимальный расход, который возможен при таком истечении. Дано: коэффициент сжатия струи внутри насадка $\varepsilon = 0,64$; атмосферное давление $h_{атм} = 750$ мм рт. ст.; давление насыщенного пара $h_{н.н} = 40$ мм рт. ст.



Задача 233

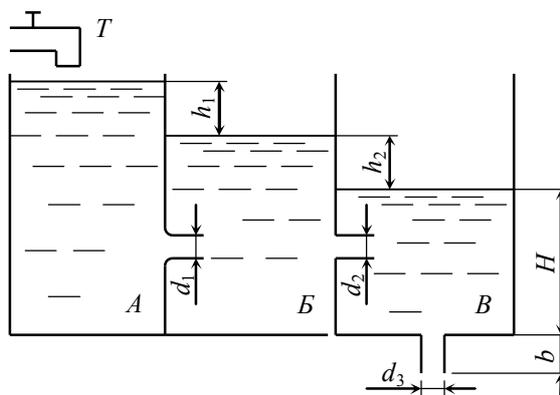
Вода под избыточным давлением $p_1 = 0,3$ МПа подается по трубе с площадью поперечного сечения $S_1 = 5$ см² к баллону B , заполненному водой. На трубе перед баллоном установлен кран K с коэффициентом местного сопротивления $\zeta_k = 5$. Из баллона B вода вытекает в атмосферу через отверстие площадью $S_o = 1$ см². Коэффициент расхода отверстия равен $\mu = 0,63$. Определить расход воды Q .

Указание. Записать уравнение Бернулли для сечений 1-1 и 2-2 и основную формулу для расхода при истечении.



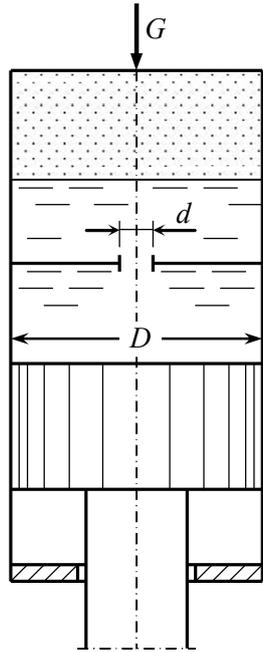
Задача 234

Вода по трубе T подается в резервуар A , откуда через сопло ($d_1 = 8$ мм) перетекает в резервуар B . Далее через внешний цилиндрический насадок ($d_2 = 10$ мм) вода попадает в резервуар B из которого через внешний цилиндрический насадок ($d_3 = 6$ мм) вытекает в атмосферу. Заданы размеры: $H = 1,1$ м; $b = 25$ мм. Определить расход воды через систему и перепады уровней h_1 и h_2 в резервуарах. Коэффициенты расхода принять: $\mu_1 = 0,97$; $\mu_2 = \mu_3 = 0,82$.



Задача 235

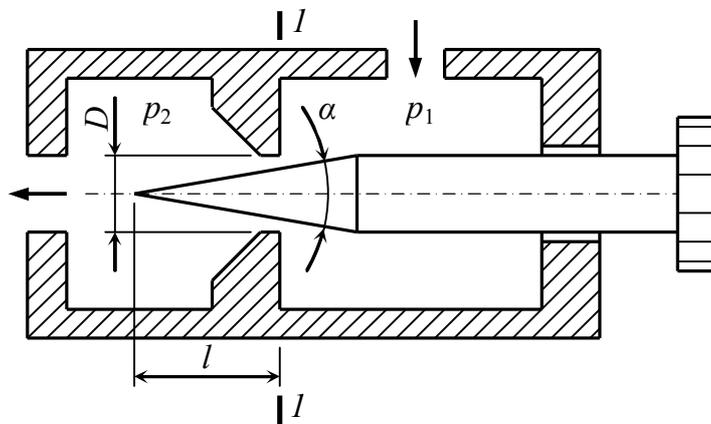
На рисунке показана упрощенная схема самолетного гидropневмоамортизатора. Процесс амортизации при посадке самолета происходит за счет проталкивания рабочей жидкости через отверстие $d = 8$ мм и за счет сжатия воздуха. Диаметр поршня $D = 100$ мм. Определить скорость движения цилиндра относительно поршня в начальный момент амортизации, если первоначальное давление воздуха в верхней части амортизатора $p_1 = 0,2$ МПа, расчетное усилие вдоль штока $G = 50$ кН, коэффициент расхода отверстия $\mu = 0,75$, плотность рабочей жидкости $\rho = 900$ кг/м³.



Задача 236

На рисунке изображена схема регулируемого игольчатого дросселя. Определить, на какое расстояние l необходимо вдвинуть иглу в дросселирующее отверстие для обеспечения перепада давления $\Delta p = p_1 - p_2 = 3 \text{ МПа}$, если угол иглы $\alpha = 30^\circ$, диаметр дросселирующего отверстия $D = 6 \text{ мм}$, его коэффициент расхода $\mu = 0,8$, расход жидкости через дроссель $Q = 1,2 \text{ л/с}$, плотность рабочей жидкости $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.

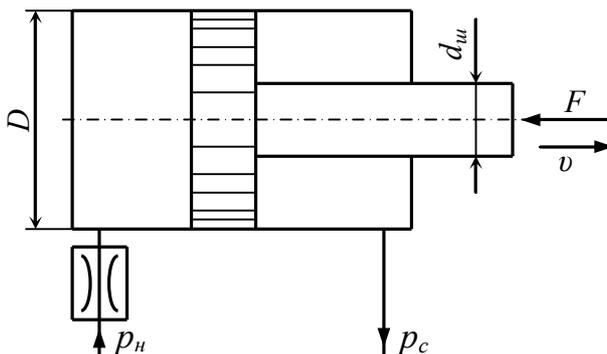
Указание. Площадь кольцевой щели дросселя определить по приближенной формуле $S = S_o - S_u$, где S_o — площадь дросселирующего отверстия, S_u — площадь иглы в сечении $I-I$.



Задача 237

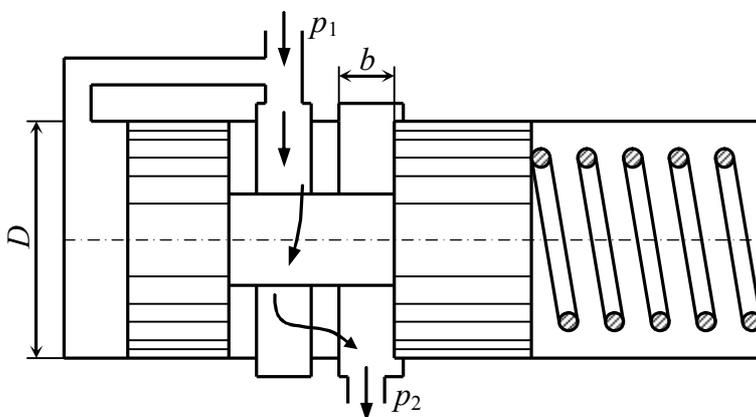
Определить силу F , преодолеваемую штоком гидроцилиндра при его движении против нагрузки со скоростью $v = 20 \text{ мм/с}$.

Дано: давление на входе в дроссель $p_n = 20 \text{ МПа}$; давление на сливе $p_c = 0,3 \text{ МПа}$; коэффициент расхода дросселя $\mu = 0,62$; диаметр отверстия дросселя $d = 1,2 \text{ мм}$; диаметр поршня $D = 70 \text{ мм}$; диаметр штока $d_{ш} = 30 \text{ мм}$; плотность рабочей жидкости $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.



Задача 238

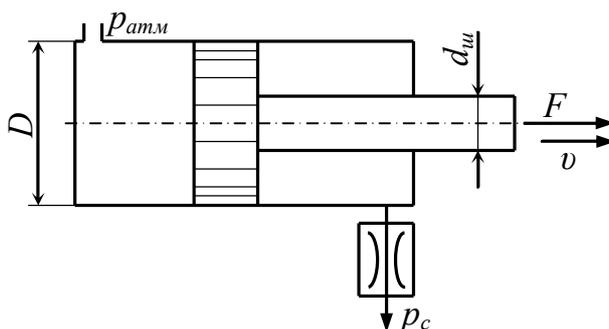
Определить ширину проходного отверстия b и жесткость пружины c переливного клапана, который начинает перекрывать проходное отверстие при падении давления на входе p_1 до 10 МПа и полностью перекрывает его при $p_1 = 9 \text{ МПа}$. Перепад давления на клапане $\Delta p = p_1 - p_2$ при полностью открытом золотнике и расходе $Q = 1,5 \text{ л/с}$ должен быть $0,3 \text{ МПа}$. Проходное отверстие выполнено в виде кольцевой щели, диаметр золотника $D = 12 \text{ мм}$, коэффициент расхода окна золотника $\mu = 0,62$, плотность рабочей жидкости $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$.



Задача 239

Определить диаметр отверстия дросселя, установленного на сливе из гидроцилиндра, при условии движения штока цилиндра под действием внешней нагрузки $F = 60 \text{ кН}$ со скоростью $v = 200 \text{ мм/с}$.

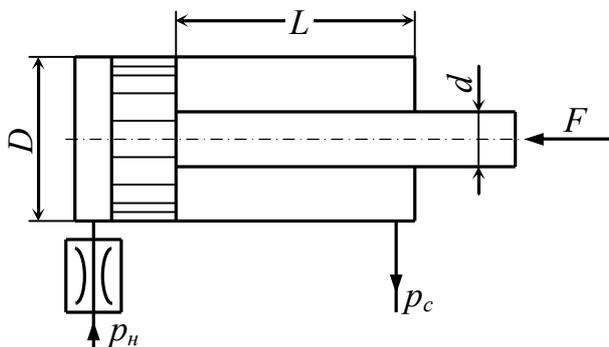
Дано: диаметр штока $d_{ш} = 40 \text{ мм}$; диаметр поршня $D = 80 \text{ мм}$; коэффициент расхода дросселя $\mu = 0,65$; плотность рабочей жидкости $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$; давление в сливной линии $p_c = 0,3 \text{ МПа}$.



Задача 240

Определить время полного хода поршня гидроцилиндра при движении против нагрузки, если давление на входе в дроссель $p_n = 16 \text{ МПа}$, давление в сливной линии $p_c = 0,3 \text{ МПа}$.

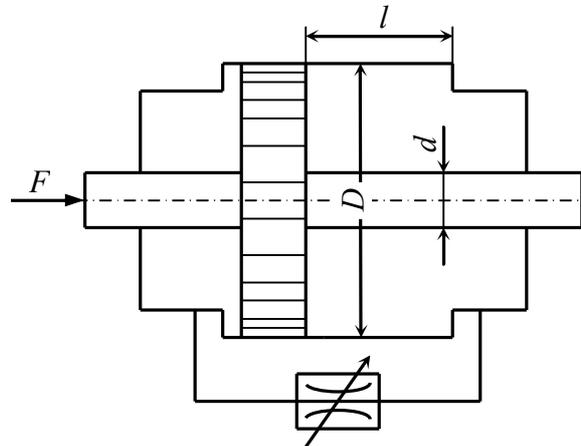
Дано: нагрузка на штоке $F = 35 \text{ кН}$; коэффициент расхода дросселя $\mu = 0,62$; диаметр отверстия дросселя $d_{др} = 1 \text{ мм}$; плотность рабочей жидкости $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$; диаметр поршня $D = 60 \text{ мм}$; диаметр штока $d = 30 \text{ мм}$; полный ход штока $L = 200 \text{ мм}$.



Задача 241

Правая и левая полости цилиндра гидротормоза, имеющего диаметр поршня $D = 140 \text{ мм}$ и диаметр штока $d_{ш} = 60 \text{ мм}$, сообщаются меж-

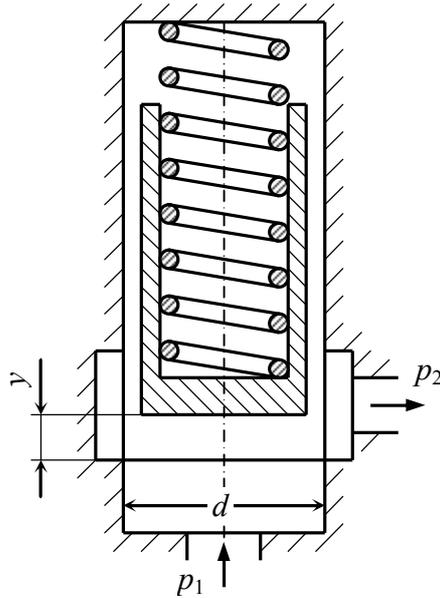
ду собой через дроссель с площадью проходного сечения $S_{др} = 20 \text{ мм}^2$ и коэффициентом расхода $\mu = 0,65$. Определить время, за которое поршень переместится на величину хода $l = 350 \text{ мм}$ под действием силы $F = 15 \text{ кН}$, если плотность рабочей жидкости $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.



Задача 242

Изображенный на рисунке переливной клапан плунжерного типа предназначен для того, чтобы поддерживать заданное давление жидкости на входе p_1 путем непрерывного ее слива. Однако точность поддержания давления зависит от размера клапана и характеристики пружины. Найти связь между расходом через клапан Q и давлением p_1 , если известны следующие величины: диаметр клапана d ; постоянное давление на выходе из клапана p_2 ; сила пружины $F_{пр.0}$ при $y = 0$; жесткость пружины c ; коэффициент расхода щелевого отверстия μ , не зависящий от высоты подъема y . Можно считать, что давление p_1 равномерно распределено по площади клапана $\pi \cdot d^2 / 4$. Задачу решить в общем виде.

Указание. Следует записать выражение для расхода через коэффициент расхода μ , площадь щели и перепад давления, а также уравнение равновесия клапана.

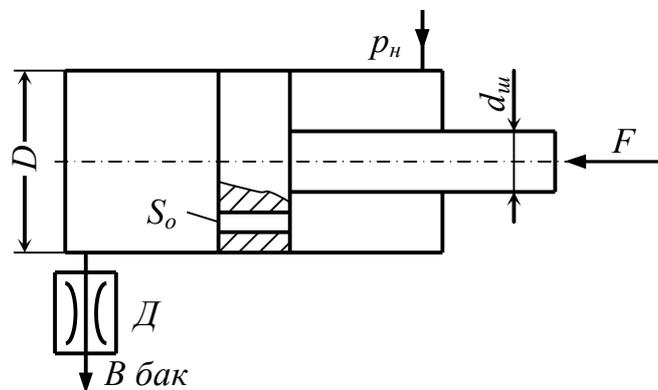


Задача 243

Жидкость с плотностью $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$ подается от насоса в гидроцилиндр, а затем через отверстие в поршне площадью $S_o = 5 \text{ мм}^2$ и дроссель D в бак ($p_6 = 0$).

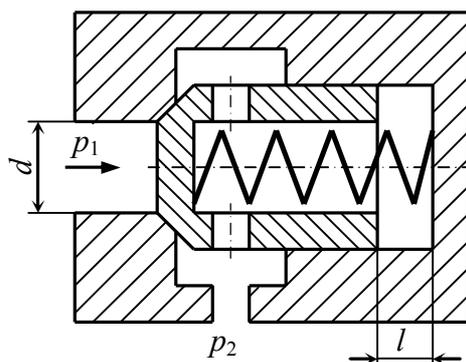
1) Определить, при какой площади проходного сечения дросселя поршень будет находиться в неподвижном равновесии под действием силы $F = 3000 \text{ Н}$, если диаметр поршня $D = 100 \text{ мм}$, диаметр штока $d_{ш} = 80 \text{ мм}$, коэффициент расхода отверстия в поршне $\mu_o = 0,8$, коэффициент расхода дросселя $\mu_{др} = 0,65$, давление насоса $p_n = 1 \text{ МПа}$.

2) Определить, площадь проходного сечения дросселя, при которой поршень будет перемещаться со скоростью $v_n = 1 \text{ см/с}$ вправо.



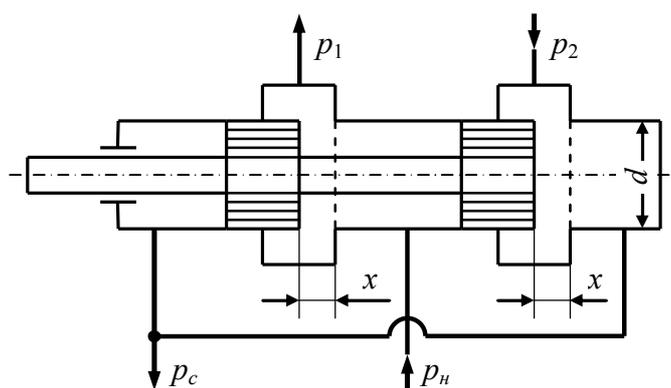
Задача 244

Обратный клапан диаметром $d = 20$ мм служит для пропуска жидкости ($\rho = 900$ кг/м³) только в одном направлении. Определить перепад давления $\Delta p = p_1 - p_2$ на клапане, если $p_1 = 1,6$ МПа. Жесткость пружины $c = 13$ Н/мм, ее предварительное поджатие $y_0 = 8$ мм, максимальный ход клапана $l = 3$ мм, коэффициент расхода $\mu = 0,8$, расход $Q = 1$ л/с.



Задача 245

Определить перепад давления $\Delta p = p_1 - p_2$ в системе гидропривода за дросселирующим распределителем при перемещении его золотника на величину $x = 2$ мм, если подача насоса равна расходу на сливе $Q_n = Q_c = 1$ л/с, давление насоса $p_n = 5$ МПа, давление в сливной линии $p_c = 0,2$ МПа, коэффициенты расхода дросселирующих щелей $\mu = 0,75$, диаметр золотника распределителя $d = 2$ мм, плотность рабочей жидкости $\rho = 900$ кг/м³.

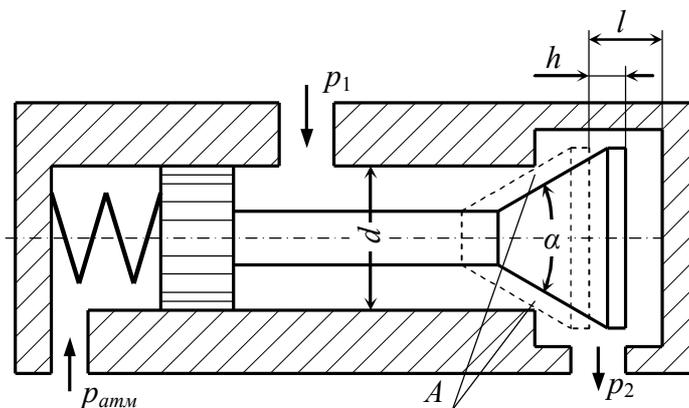


Задача 246

Редукционный клапан предназначен для обеспечения постоянного давления на выходе из него $p_2 = 11$ МПа. Определить требуемые жест-

кость пружины и ее предварительное поджатие (при полностью открытом клапане), обеспечивающие изменение давления за клапаном $\Delta p_2 = \pm 4\%$ от p_2 . Дано: диаметр клапана $d = 12$ мм; максимальный ход клапана $l = 3$ мм; угол раскрытия конуса клапана $\alpha = 60^\circ$; коэффициент расхода дросселирующей щели $A \mu = 0,8$; плотность рабочей жидкости $\rho = 900$ кг/м³. Какой максимальный расход жидкости через клапан, если максимальное давление перед ним $p_1 = 12$ МПа?

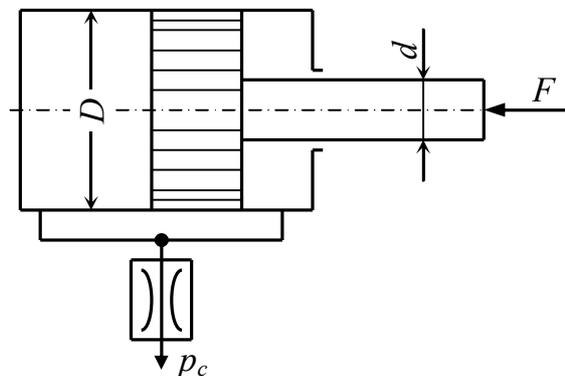
Указание. Площадь проходного сечения щели A определить по упрощенной формуле $S_{щ} = \pi \cdot d \cdot h \cdot \sin(\alpha / 2)$, где h — ход клапана.



Задача 247

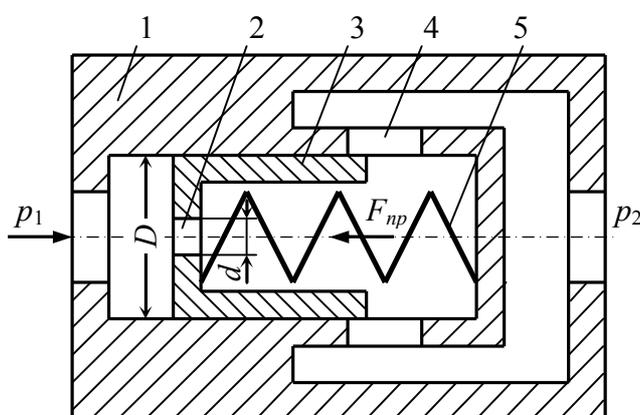
Считая жидкость несжимаемой, определить скорость перемещения поршня под действием силы $F = 10$ кН, приложенной к штоку.

Дано: диаметр поршня $D = 80$ мм; диаметр штока $d = 30$ мм; проходное сечение дросселя $S_{др} = 2$ мм²; коэффициент расхода дросселя $\mu = 0,75$; избыточное давление в сливной линии $p_c = 0$; плотность рабочей жидкости $\rho = 900$ кг/м³.



Задача 248

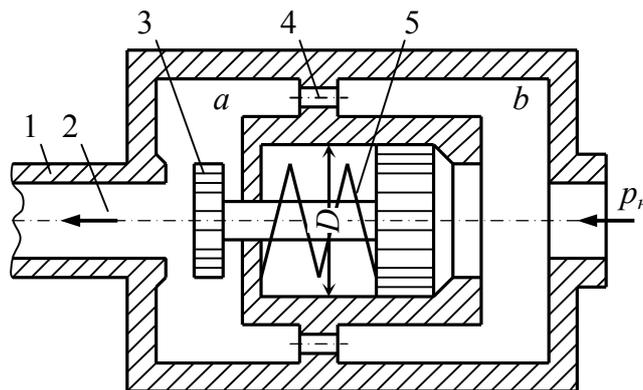
На рисунке представлена схема регулятора расхода, обеспечивающего постоянство расхода. Он состоит из корпуса 1 с дросселирующими отверстиями 4, подвижного плунжера 3 с дросселирующим отверстием 2 и пружины 5. Определить, при каком значении силы пружины F_{np} регулятор будет обеспечивать расход $Q = 5$ л/мин, если диаметры $D = 20$ мм и $d = 3$ мм, коэффициенты расхода дросселирующих отверстий $\mu = 0,8$, плотность рабочей жидкости $\rho = 900$ кг/м³. Считать, что в пределах рабочего хода плунжера сила пружины остается постоянной.



Задача 249

На рисунке показан гидроаппарат, назначение которого заключается в том, что в случае разрушения трубопровода 1 клапан 3 перекрывает отверстие 2 и тем самым препятствует выбросу рабочей жидкости из гидросистемы. При нормальной работе перепад давления в полостях a и b , обусловленный сопротивлением отверстий 4, недостаточен для сжатия пружины 5 и клапан 3 под действием силы предварительного поджатия пружины $F_0 = 200$ Н находится в крайнем правом положении. Определить минимальное значение расхода Q , при котором клапан 3 начнет перемещаться влево, если известно: диаметр поршня $D = 20$ мм; суммарная площадь всех отверстий 4 $S_o = 0,5$ см²; коэффициент расхода отверстий $\mu = 0,62$; плотность рабочей жидкости $\rho = 900$ кг/м³.

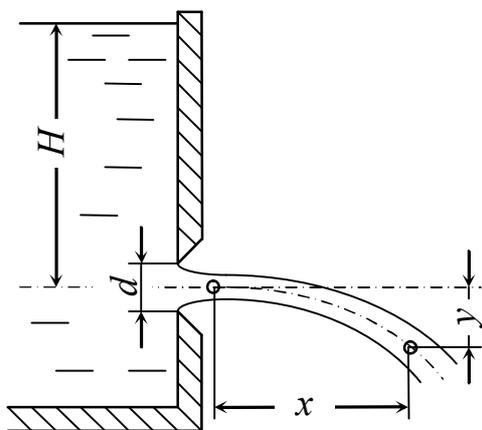
Выразить в общем виде силу, с которой клапан 3 будет прижиматься к седлу в случае разрушения трубопровода 1, приняв: максимальный ход клапана x ; жесткость пружины c ; диаметр отверстия $2 \cdot d$; давление на входе в гидроаппарат p_n .



Задача 250

Определить коэффициенты расхода μ , скорости φ , сжатия ε и сопротивления ζ при истечении воды в атмосферу через отверстие диаметром $d = 10$ мм под напором $H = 2$ м, если расход $Q = 0,294$ л/с, а координаты центра одного из сечений струи $x = 3$ м и $y = 1,2$ м.

Указание. Координаты траектории струи x и y связаны между собой соотношением $x = 2 \cdot \varphi \cdot \sqrt{H \cdot y}$.



Задача 251

Подобрать необходимый диаметр внешнего цилиндрического насадка ($\mu = 0,82$) с таким расчетом, чтобы через него вытекала нефть из резервуара с расходом 77000 кг/ч. Плотность нефти 865 кг/м³. Напор H перед насадкой постоянный и равен 12 м.

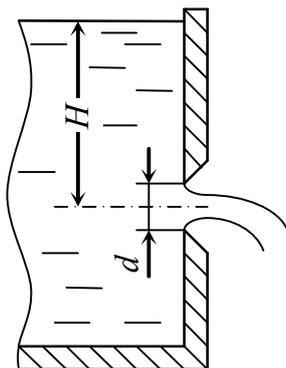
Задача 252

Определить расход минерального масла (плотность $\rho = 800$ кг/м³, кинематическая вязкость $\nu = 10 \times 10^{-6}$ м²/с) при истечении из резервуара

в атмосферу через круглое отверстие диаметром $d = 2 \text{ см}$. Избыточное давление перед отверстием $p = 0,5 \text{ МПа}$.

Задача 253

Определить расход воды, вытекающей через отверстие, выполненное в тонкой стенке резервуара, при постоянном напоре $H = 9,5 \text{ м}$, если диаметр отверстия $d = 2 \text{ см}$, а температура воды $t = 15^\circ\text{C}$.

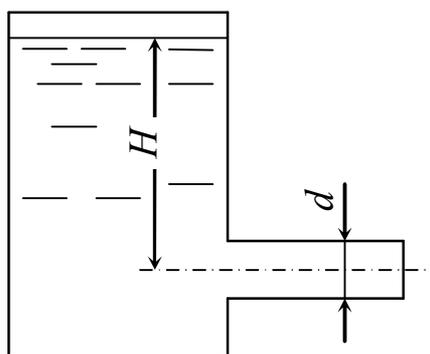


Задача 254

В дне резервуара имеется отверстие с закругленной кромкой диаметром $d = 3 \text{ мм}$. Высота уровня воды в сосуде остается постоянной и равной $H = 0,05 \text{ м}$. Определить скорость и расход при истечении холодной ($t_1 = 10^\circ\text{C}$) и горячей ($t_2 = 90^\circ\text{C}$) воды через данное отверстие.

Задача 255

При истечении жидкости из резервуара с постоянным напором $H = 1 \text{ м}$ через внешний цилиндрический насадок диаметром $d = 85 \text{ мм}$, определить, какое давление необходимо создать на свободной поверхности жидкости в резервуаре, чтобы расход достиг значения $Q = 45 \text{ л/с}$.



Задача 256

Определить расход жидкости ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$), вытекающей из закрытого бака через отверстие площадью $S_o = 2 \text{ см}^2$, выполненное в дне бака, если избыточное давление воздуха на свободной поверхности жидкости $p_m = 20 \text{ кПа}$, уровень жидкости в баке $H = 1,2 \text{ м}$, коэффициент расхода отверстия $\mu_o = 0,62$.

Задача 257

Вода вытекает из закрытого резервуара через отверстие диаметром $d = 10 \text{ мм}$ в атмосферу. Определить расход, если уровень воды перед отверстием $H = 1,5 \text{ м}$, а манометрическое давление на свободной поверхности воды $p_m = 0,25 \text{ МПа}$.

Как изменится расход воды, если истечение будет происходить через внешний цилиндрический насадок равного диаметра?

Задача 258

Вода вытекает из открытого бака через внешний цилиндрический насадок диаметром $d = 15 \text{ мм}$ при постоянном напоре $H = 1 \text{ м}$ в атмосферу. Измерительная емкость объемом $V = 20 \text{ л}$, подставленная под струю, наполняется за 31 с . Определить коэффициент сопротивления ζ_n насадка.

Задача 259

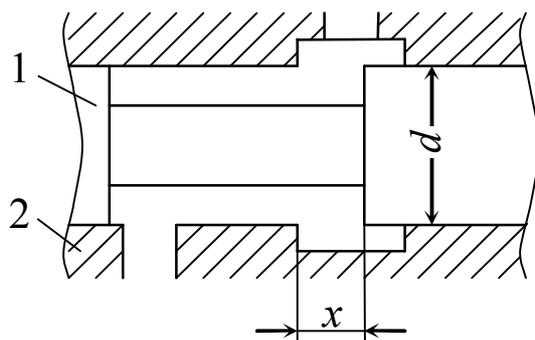
Определить время полного опорожнения вертикального цилиндрического резервуара диаметром $D = 0,8 \text{ м}$ при начальном напоре $H = 1 \text{ м}$. Жидкость вытекает через круглое отверстие диаметром $d = 20 \text{ мм}$, выполненное в дне резервуара. Коэффициент расхода отверстия $\mu = 0,62$.

Задача 260

Определить расход воды Q , вытекающей через внешний цилиндрический насадок диаметром $d = 10 \text{ см}$, если напор перед насадкой $H = 2 \text{ м} = \text{const}$. Как изменится расход, если насадок заменить малым отверстием такого же диаметра.

Задача 261

Через проточную часть гидрораспределителя 2 с золотником 1 диаметром $d = 20$ мм протекает масло плотностью $\rho = 900$ кг/м³. Определить расход масла через гидрораспределитель при перепаде давления на нем $\Delta p = 0,3$ МПа и величине открытия золотника $x = 2$ мм. Принять коэффициент расхода для кольцевой щели $\mu = 0,60$.



Задача 262

Через проточный элемент гидрораспределителя 2 (см. рисунок к задаче 261) с золотником 1 диаметром $d = 10$ мм расход масла составляет 0,6 л/мин. Величина открытия золотника $x = 1$ мм. Плотность масла $\rho = 900$ кг/м³. Определить перепад давления масла при его движении через указанную проточную часть гидрораспределителя. Принять коэффициент расхода для кольцевой щели $\mu = 0,60$.

Задача 263

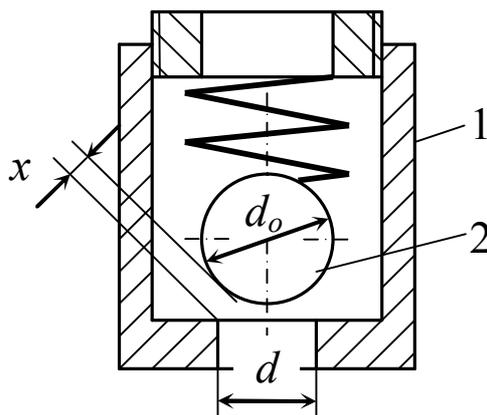
Определить длину трубы l , при которой расход жидкости из бака будет в два раза меньше, по сравнению с истечением через отверстие того же диаметра ($d = 30$ мм). Напор перед отверстием равен $H = 6$ м. Коэффициент гидравлического трения для трубы $\lambda = 0,025$.

Задача 264

Цилиндрический бак диаметром 1 м наполнен водой на высоту 2 м. Отверстие для истечения, выполненное в дне бака, имеет диаметр 3 см. Определить время, необходимое для полного опорожнения бака.

Задача 265

На рисунке показана схема шарикового обратного клапана с острой посадочной кромкой под шарик 2, выполненной в корпусе 1. Диаметр подводящего отверстия $d = 10$ мм. Определить минимальную величину щели x , достаточную для пропуска через клапан расхода масла $Q = 0,6$ л/с при перепаде давления $\Delta p = 0,18$ МПа. Принять коэффициент расхода щели $\mu = 0,60$, а плотность масла $\rho = 900$ кг/м³.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика /Б.Т. Емцев. — М. : Машиностроение, 1987. — 440 с.
2. Башта Т.М. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов. — М. : Машиностроение, 1982. — 424 с.
3. Гейер В.Г. Гидравлика и гидропривод : учебник для вузов / В.Г. Гейер, В.С. Дулин, А.Н. Заря. — М. : Недра, 1981. — 331 с.
4. Финкельштейн З.Л. Гидравлика и гидропривод (краткий курс) : учеб. пособие / З.Л. Финкельштейн, В.Г. Чебан. — Алчевск : ДГМИ, 2002. — 165 с.
5. Некрасов Б.Б. Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу : учеб. пособ. для машиностроит. спец. вузов / Б.Б. Некрасов, И.В. Фатеев, Ю.А. Беленков. — М. : Высш. шк., 1989. — 192 с.
6. Вакина В.В. Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов / В.В. Вакина, И.Д. Денисенко, А.Л. Столяров. — К. : Вища школа, 1986. — 208 с.
7. Бутаев Д.А. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / Д.А. Бутаев, З.А. Калмыков, Л.Г. Подвидз; под ред. И.И. Куколевского и Л.Г. Подвидза. — М. : Машиностроение, 1972. — 472 с.
8. Чебан В.Г. Гідромеханіка в прикладах та задачах : навч. посіб. / В.Г. Чебан, Ю.О. Рутковський, А.М. Зинченко, О.А. Бревнов. — Алчевськ : ДонДТУ, 2011. — 187 с.
9. Амосов В.А. Гидравлика горных машин и установок в примерах и задачах : учеб. пособие / В.А. Амосов, Ю.А. Рутковский. — К. : УМК ВО, 1991. — 244 с.
10. Расчет, проектирование и эксплуатация объемного гидропривода : учеб. пособие / З.Л. Финкельштейн, О.М. Яхно, В.Г. Чебан, З.Я. Лур'є. — К. : НТУУ «КПИ», 2006. — 216 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Характеристики рабочих жидкостей

Жидкость	Плотность ρ , кг/м^3	Коэффициент объемного		Кинематическая вязкость ν , $\text{мм}^2/\text{с}$, при температуре, $^{\circ}\text{C}$		
		сжатия $\beta_p \times 10^9, \text{Па}^{-1}$	расширения $\beta_t \times 10^3, ^{\circ}\text{C}^{-1}$	15	20	50
Вода	1000	0,49	0,20	1,14	1,01	0,55
Ртуть	13600	0,039	0,18	–	0,114	–
Глицерин	1260	0,25	0,49	–	1180	–
Бензин	680–780	0,92	1,255	0,93	–	0,54
Керосин	790–820	0,77	0,96	2,7	2,5	1,50
Спирт этиловый	790	0,78	1,10	–	1,52	0,50
Мазут	890–940	–	–	–	2000	–
Нефть легкая	884	0,78	0,60	–	25	–
Нефть тяжелая	924	0,78	0,60	–	140	–
Масла:						
индустриальные						
ИГП-18	880	0,72	0,73	–	100	18
ИГП-30	885	–	–	–	170	30
ИГП-38	890	–	–	–	–	38
ИГП-49	895	0,68	–	–	400	49
АМГ-10	850	0,74	0,83	–	18	10
турбинное-57	920	0,56	0,65	–	–	55–59
веретенное АУ	880	–	–	–	50	12–14
трансформаторное	890	–	–	–	30	9,6
турбинное 30 и 34	900	–	–	–	–	28–32
Воздух	1,20	–	–	–	1490	–

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Соотношения между единицами измерения давления

Единицы измерения	H/m^2 (Па)	$кгс/см^2$	<i>мм вод. ст.</i>	<i>мм рт. ст.</i>	<i>бар</i>	<i>psi</i>
1 H/m^2 (Па)	1	$1,02 \times 10^{-5}$	0,102	$7,5 \times 10^{-3}$	10^{-5}	0,0069
1 $кгс/см^2$	$98,1 \times 10^3$	1	10^4	735,6	0,981	676,6
1 <i>мм вод. ст.</i>	9,81	10^{-4}	1	$73,56 \times 10^{-3}$	$98,1 \times 10^{-6}$	0,0676
1 <i>мм рт. ст.</i>	133,3	$1,36 \times 10^{-3}$	13,6	1	$1,333 \times 10^{-3}$	0,92
1 <i>бар</i>	10^5	1,02	$1,02 \times 10^3$	750	1	689,7
1 <i>psi</i>	145	$1,48 \times 10^{-3}$	14,8	1,0875	$1,45 \times 10^{-3}$	1

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Значения эквивалентной шероховатости Δ_s для различных труб

Вид трубы	Состояние трубы	Δ_s , мм
Труба бесшовная стальная	Новая После нескольких лет эксплуата- ции	0,02÷0,05 0,15÷0,30
Труба стальная сварная	Новая С незначительной коррозией (по- сле очистки) Умеренно заржавленная Старая заржавленная Сильно заржавленная или с большими отложениями	0,03÷0,10 0,10÷0,20 0,30÷0,70 0,80÷1,50 2,0÷4,0
Труба стальная оцинкованная	Новая После нескольких лет эксплуата- ции	0,10÷0,20 0,40÷0,70
Труба тянутая из стекла или цветных метал- лов	Новая, технически гладкая	0,001÷0,01
Труба чугунная	Новая После нескольких лет эксплуата- ции	0,20÷0,50 0,50÷1,50
Рукава и шланги резиновые		0,03

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Значения коэффициентов местных сопротивлений

Местное сопротивление	ξ_m
Вход в трубу при острых кромках (рис. Д.1, а)	0,5
Вход в трубу со скругленными кромками (рис. Д.1, б)	0,05÷0,2
Внезапное расширение трубы ($d_2 > d_1$) (рис. Д.2, а)	$(1-d_1^2/d_2^2)^2$
Внезапное сужение трубы ($d_2 < d_1$) (рис. Д.2, б)	$0,5 \times (1-d_2^2/d_1^2)$
Выход из трубы под уровень (рис. Д.3)	1,0
Резкий поворот трубы (колено) на 90° (рис. Д.4, а)	1,10
Плавный поворот трубы (отвод) на 90° (рис. Д.4, б)	0,15
Задвижка при полном открытии	0,15
Предохранительные и обратные клапаны (без учета усилия пружины)	2÷3
Тройники с соединением и разделением потоков под разными углами	Указаны на рис. Д.5

Продолжение приложения Д

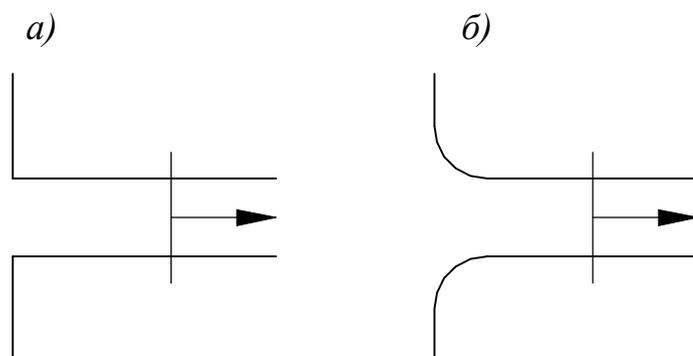


Рисунок Д.1 — Схемы различных входов в трубопровод

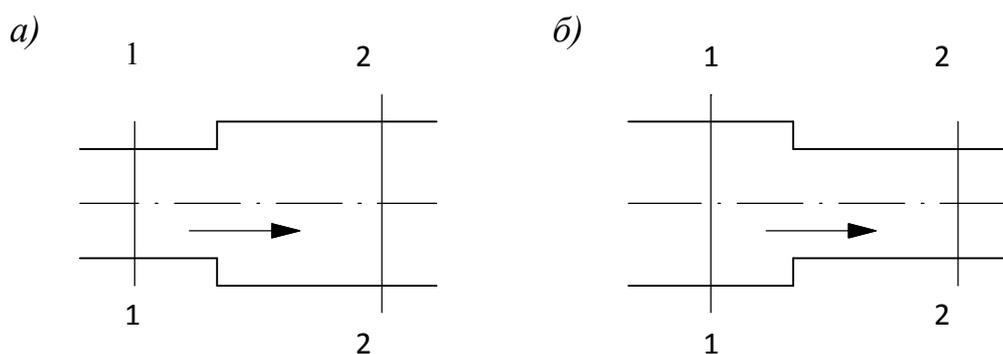


Рисунок Д.2 — Схемы внезапного расширения и сужения трубы

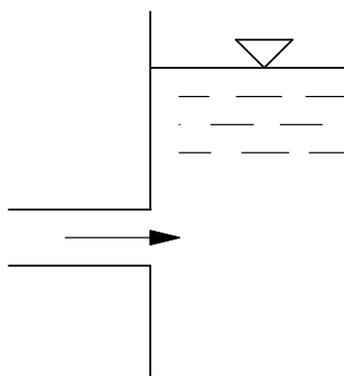


Рисунок Д.3 — Схема выхода из трубы в резервуар

Продолжение приложения Д

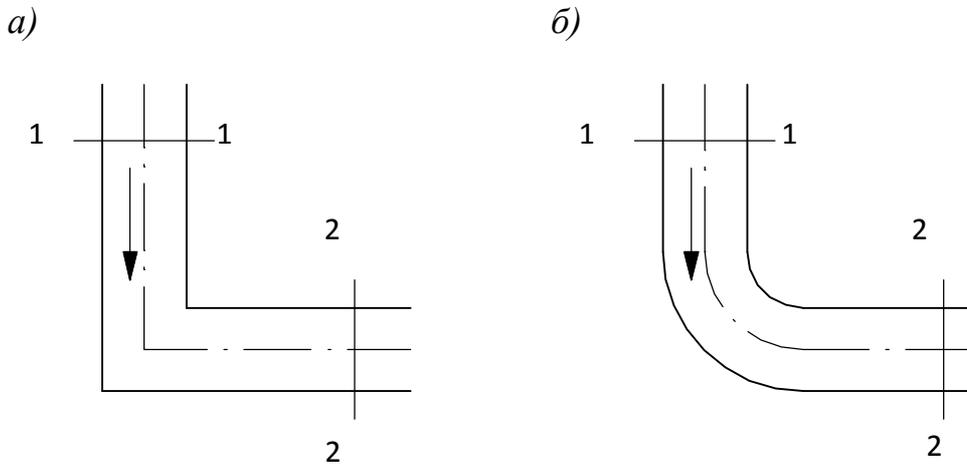


Рисунок Д.4 — Схемы резкого и плавного поворота трубопровода

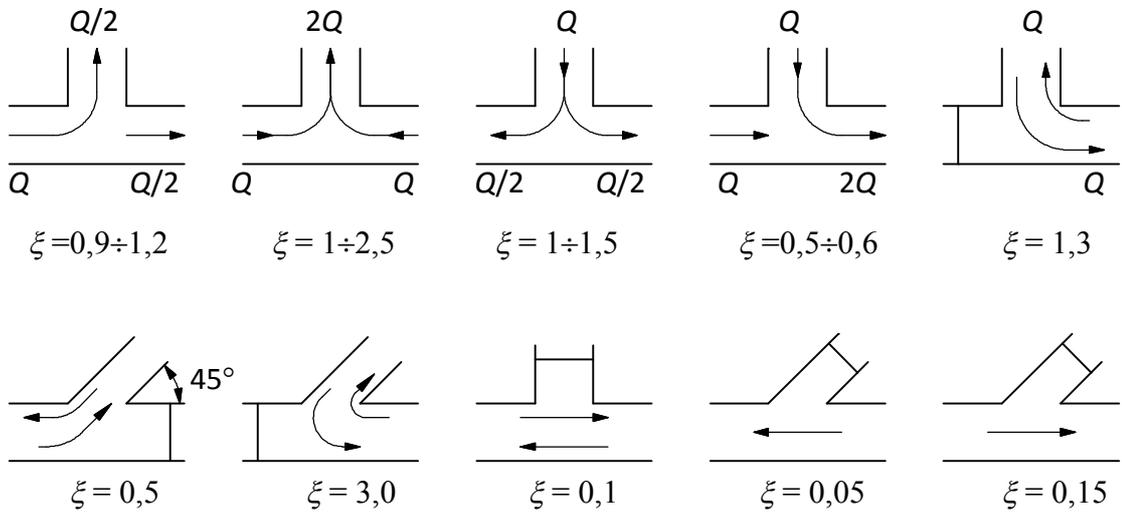
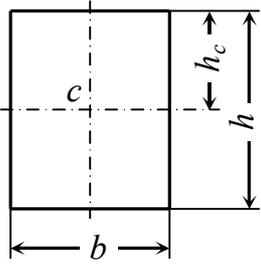
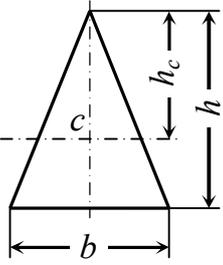
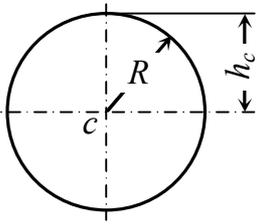
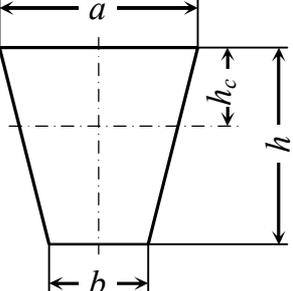


Рисунок Д.5 — Схемы тройников

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

**Момент инерции J_0 , координата центра тяжести h_c и площадь S
наиболее распространенных плоских фигур**

Фигура	J_0	h_c	S
	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	$\frac{h}{2}$	$b \cdot h$
	$\frac{b \cdot h^3}{36}$	$\frac{2 \cdot h}{3}$	$\frac{b \cdot h}{2}$
	$\frac{\pi \cdot R^4}{4}$	R	$\pi \cdot R^2$
	$\frac{h^3 \cdot (a^2 + 4 \cdot a \cdot b + b^2)}{36 \cdot (a + b)}$	$\frac{h \cdot (a + 2 \cdot b)}{3 \cdot (a + b)}$	$\frac{h \cdot (a + b)}{2}$

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ	4
Примеры решения задач	7
2 ГИДРОСТАТИКА	9
2.1 Гидростатическое давление	9
2.2 Сила гидростатического давления на плоские стенки и криволинейные поверхности	12
2.3 Закон Архимеда. Плавание тел	14
2.4 Относительный покой жидкости	15
2.5 Указания к решению задач	19
Примеры решения задач	20
3 ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ	35
3.1 Основные понятия о движении жидкости. Уравнение расхода (неразрывности потока)	35
3.2 Уравнение Бернулли	37
3.3 Режимы течения жидкости	39
3.4 Указания к решению задач	40
Примеры решения задач	41
4 ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ	45
Примеры решения задач	48
5 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ	51
5.1 Расчет простых трубопроводов постоянного сечения	53
5.2 Расчет сложных трубопроводов	54
5.3 Неустановившееся движение жидкости в трубопроводах. Гидравлический удар	55
Примеры решения задач	59
6 ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ И НАСАДКИ	59
6.1 Истечение жидкости через отверстия, насадки и дроссели при постоянном напоре	59
6.2 Истечение жидкости через отверстия и насадки при переменном напоре	61
Примеры решения задач	63

Таблица вариантов контрольных работ	65
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ	66
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	177
ПРИЛОЖЕНИЯ	178
Приложение А	179
Приложение Б	180
Приложение В	181
Приложение Д	182
Приложение Е	185

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Виктор Григорьевич ЧЕБАН
Александр Николаевич ТУМИН
Ольга Александровна КОВАЛЕНКО

ГИДРОМЕХАНИКА
(теория и практика)

Учебное пособие

В авторской редакции

Художественное оформление обложки

Н. В. Чернышова

Заказ № 136. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага офс. Печать RISO.

Усл. печат. л. 10,9 Уч.-изд. л. 9,4

Издательство не несет ответственность за содержание
материала, предоставленного автором к печати.

Издатель и изготовитель:

ГОУ ВО ЛНР «ДонГИ»

пр. Ленина, 16, г. Алчевск, ЛНР, 94204

(ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКИЙ ЦЕНТР, ауд. 2113, т/факс 2-58-59)

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя
и распространителя средства массовой информации

МИ-СГР ИД 000055 от 05.02.2016