



Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА
имени адмирала С. О. МАКАРОВА**

**Институт МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ
ФАКУЛЬТЕТ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Кафедра теплотехники, судовых котлов и вспомогательных установок

**Решения задач размещены
на сайте zadachi24.ru**

Гидромеханика

Методические указания и контрольные задания
для студентов 3-го курса заочной формы обучения специальности 26.05.06
«Эксплуатация судовых энергетических установок»

Санкт-Петербург
Издательство ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова
2017

ББК 22.253

УДК 532

Г46

Г46 Гидромеханика: метод. указания и контрольные задания / сост. Е. Г. Орлова. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2017. — 68 с.

Соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту по специальности 26.05.06 «Эксплуатация судовых энергетических установок».

В Методических указаниях кратко изложены теоретические основы основных разделов курса, приведены контрольные вопросы, контрольные задания и примеры решения задач.

Предназначены для студентов 3-го курса заочной формы обучения.

Рассмотрено и рекомендовано на заседании кафедры «Теплотехника, судовые котлы и вспомогательные установки». Протокол № 2 от 24 октября 2017 г.

Рецензент

Подволовецкий Н. М., д-р техн. наук, проф. кафедры «Теплотехника, судовые котлы и вспомогательные установки» (ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»).

Введение

Практические занятия по курсу «Гидромеханика» направлены на формирование следующих компетенций специалиста по специальности «Эксплуатация судовых энергетических установок» в соответствии с ФГОС ВПО:

Код	Результат обучения (компетенция) выпускника ООП
ОК – 14	Владеет культурой мышления, знает его общие законы, способен в письменной и устной форме правильно (логически) оформить его результаты
ПК-9	Способен и готов осуществлять выбор оборудования, элементов и систем оборудования для замены в процессе эксплуатации судов
ПК-15	Способен применять базовые знания фундаментальных и профессиональных дисциплин, осуществлять управление качеством изделий, продукции и услуг, проводить технико-экономический анализ в области профессиональной деятельности, обосновывать принимаемые решения по технической эксплуатации судового оборудования, умеет решать на их основе практические задачи профессиональной деятельности
ПК-24	Способен и готов принять участие в разработке проектной, нормативной, эксплуатационной и технологической документации для объектов профессиональной деятельности
ПК-26	Способен и готов осуществлять монтаж, наладку, техническое наблюдение судовой техники, эффективно использовать материалы, оборудование, соответствующие алгоритмы и программы расчетов параметров технологических процессов
ПК-30	Способен участвовать в фундаментальных и прикладных исследованиях в области судов и судового оборудования
ПК-34	Способен осуществлять и анализировать результаты исследований, разрабатывать предложения по их внедрению

1. ВВОДНЫЕ СВЕДЕНИЯ.

МОДЕЛЬ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Гидромеханика изучает законы равновесия и движения жидкостей и газов и их взаимодействие с поверхностями твердых тел.

Гидромеханика не занимается изучением поведения отдельных молекул вещества. Жидкости и газы рассматриваются как сплошная среда, которой приписываются физические свойства, феноменологически отражающие их молекулярную структуру. Все физические свойства жидкостей и газов считаются непрерывными функциями координат и времени, производные от этих функций также считаются непрерывными.

Любой малый макроскопический объём имеет такие же свойства, что и объём сравнительно больших размеров

1.1. Основные физические свойства жидких и газообразных сред

Сплошность — жидкости и газы движутся без образования разрывов и пустот.

Текучесть — способность совершать непрерывное, неограниченное движение в пространстве и времени под действием приложенных сил или по инерции.

Плотность — масса единицы объёма вещества, $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$:

$$\rho = \frac{\Delta M}{\Delta V}.$$

Под плотностью жидкости в данной точке понимается

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta V},$$

где ΔM — масса объёма ΔV , содержащего данную точку.

Удельный объём — объём, занимаемый 1 кг вещества:

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta M}, (\text{м}^3/\text{кг}).$$

Сжимаемость — это способность жидкостей и газов изменять свою плотность при изменении давления. Сжимаемость характеризуется коэффициентом объёмного сжатия: $\beta_p = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right)$, (Па⁻¹).

Обратная коэффициенту β_p величина называется модулем объёмной упругости $E = 1/\beta_p$, (Па).

Тепловое расширение — способность жидкостей и газов изменять свою плотность (удельный объём) при изменении температуры, характеризуется коэффициентом температурного объёмного расширения:

$$\beta_t = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right), \text{ (К}^{-1}\text{)}.$$

Если плотность меняется незначительно, можно использовать упрощённые формулы для определения плотности при изменении температуры:

$$\rho_1 = \rho_0 (1 - \beta_t \Delta T)$$

и при изменении давления:

$$\rho_1 = \rho_0 (1 + \beta_p \Delta p).$$

Для приближённого вычисления удельного объёма также можно использовать упрощённые формулы при небольшом изменении температуры:

$$v_1 = v_0 (1 + \beta_t \Delta T),$$

и при небольшом изменении давления:

$$v_1 = v_0 (1 - \beta_p \Delta p).$$

Вязкость — это способность жидкости к возникновению сил трения между слоями жидкости, движущимися с разной скоростью (или способность оказывать сопротивление относительному смещению слоев).

Сила внутреннего трения F между смещающимися слоями выражается формулой Ньютона:

$$F = \pm \mu S \frac{\partial w}{\partial n},$$

где μ — динамический коэффициент вязкости, (Па · с), $\frac{\partial w}{\partial n}$ — градиент скорости, с⁻¹, S — площадь соприкосновения слоев, м².

Касательные напряжения:

$$\vec{\tau} = \lim_{S \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{S} = \pm \mu \frac{dw}{dn}.$$

Кинематический коэффициент вязкости ν , $\text{м}^2/\text{с}$ или $\text{мм}^2/\text{с}$ (сантиСтокс):

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}.$$

У жидкостей вязкость понижается при нагреве, а у газов — повышается.

В гидромеханике *идеальной называется невязкая и несжимаемая жидкость* ($\rho = \text{const}$).

1.2. Силы, действующие в жидкости

Силы, действующие на жидкость, подразделяются на массовые (объёмные) и поверхностные.

Массовыми называются силы, приложенные ко всем точкам выделенного объема жидкости, они характеризуются **вектором плотности распределения массовых сил**:

$$\vec{f}_m = \lim_{\Delta M \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{F}_m}{\Delta M} = \frac{1}{\rho} \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{F}_m}{\Delta V},$$

где ΔF_m — массовая сила, действующая на объем ΔV , который имеет массу ΔM .

Вектор плотности распределения массовых сил f_m — это сила, действующая на единицу массы жидкости или газа.

Поверхностными называются силы, приложенные к поверхности выделенного объема, они характеризуются напряжением.

Напряжение — это сила, действующая на единицу поверхности. Различают нормальные (по отношению к поверхности) и касательные напряжения. Касательное напряжение:

$$\vec{\tau} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{F}_\tau}{\Delta S},$$
$$\vec{\tau} = \tau \cdot \vec{\zeta}.$$

Нормальное напряжение:

$$\vec{p} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{F}_n}{\Delta S},$$
$$\vec{p} = p \cdot \vec{n}.$$

где $\Delta \vec{F}_\tau$ — касательная составляющая поверхности силы, $\Delta \vec{F}_n$ — нормальная составляющая поверхности силы, ΔS — площадь, на которую

действует сила, \vec{n} и $\vec{\zeta}$ — орты нормали и касательной к площадке ΔS соответственно.

Скалярная величина p в гидромеханике называется давлением. Для рассматриваемой точки в объёме жидкости скалярные величины p и τ не зависят от ориентации площадки ΔS и образуют скалярные поля.

Контрольные вопросы

1. Что такое средняя плотность?
2. Что такое удельный объём?
3. Что такое сжимаемость?
4. Что такое тепловое расширение?
5. Что такое вязкость?
6. Какими коэффициентами оценивается вязкость и как они связаны?
7. Какая жидкость называется идеальной?
8. Какие виды сил действуют в жидкости? Приведите примеры.
9. Что такое вектор плотности распределения массовых сил?
10. Что такое напряжение?
11. Какой формулой определяются касательные напряжения?

2. АБСОЛЮТНЫЙ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ПОКОЙ (РАВНОВЕСИЕ) ЖИДКИХ СРЕД

2.1. Понятие покоя

Гидростатика изучает равновесие жидкостей и газов, находящихся в состоянии покоя. Жидкость находится в состоянии покоя, если ее частицы не перемещаются относительно друг друга.

В покоящейся жидкости отсутствуют касательные напряжения.

Нормальные напряжения в покоящейся жидкости называются гидростатическим давлением.

2.2. Гидростатическое давление и его свойства

1. Давление всегда направлено по нормали к поверхности, на которую оно действует.

2. Гидростатическое давление в данной точке жидкости со всех сторон одинаково.

3. Давление всегда стремится сжать выделенный объём.

Единицы измерения давления:

1 атм = 1,0332 ат = 1,0332 кгс/см² = 760 мм рт. ст. = 10,332 м вод. ст. = 1,013 бар.

1 бар = 10⁵ Н/м² = 10⁵ Па = 750 мм рт. ст.

2.3. Дифференциальные уравнения равновесия жидкости Эйлера

Дифференциальные уравнения равновесия Эйлера выражают 1-й закон Ньютона применительно к покоящимся жидкостям и газам:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0; \\ f_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0; \\ f_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

где f_x, f_y, f_z — проекции вектора плотности распределения массовых сил на координатные оси.

В векторном виде эта система сводится к одному уравнению

$$\vec{f} = \frac{1}{\rho} gradp.$$

2.4. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля

Рассмотрим частный случай равновесия жидкости, когда из массовых сил на неё действует только сила тяжести. В этом случае уравнения равновесия жидкости (1) упрощаются:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0; \\ \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0; \\ \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = g. \end{array} \right. \quad (2)$$

Из первых двух уравнений системы (2) следует, что **в покоящейся жидкости давление меняется только по вертикали, т. е. в любом горизонтальном слое жидкости давление во всех точках одинаково.**

Интегрирование последнего уравнения системы (2) даёт **основное уравнение гидростатики**:

$$P = P_0 + \rho gh, \quad (3)$$

где P — абсолютное давление в данной точке покоящейся жидкости; P_0 — давление приложенное к жидкости; h — глубина погружения точки.

Разность между абсолютным и атмосферным давлением ($P - P_a = P_i = \rho gh$) называется **манометрическим или избыточным давлением**.

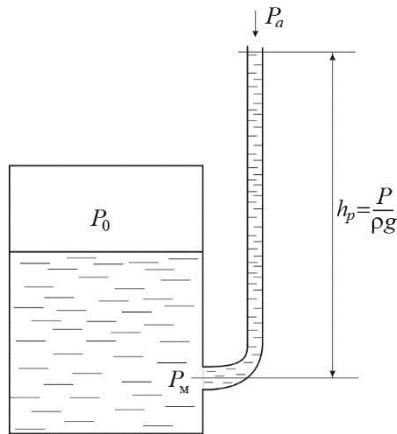
Следствием из Основного уравнения гидростатики является **Закон Паскаля: давление, приложенное к свободной поверхности жидкости P_0 , одинаково передается всем точкам жидкости по всем направлениям.**

2.5. Способы измерения давления и вакуума

Основное уравнение гидростатики применяется для определения давления с помощью жидкостных приборов: пьезометров (рис. 1), вакуумметров (рис. 2), манометров (рис. 3, 4).

Пьезометр и манометр показывают избыточное давление, вакуумметр показывает разность между атмосферным давлением и давлением в точке

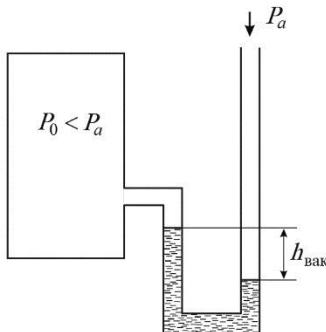
измерения. На рис. 4 изображён дифференциальный манометр, который показывает разность давлений в точках присоединения манометра.



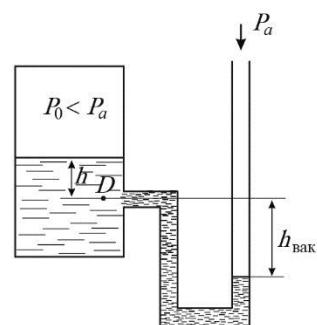
$$h_p = \frac{P_M - P_a}{\rho g} = \frac{P_u}{\rho g}$$

Рис. 1

а)



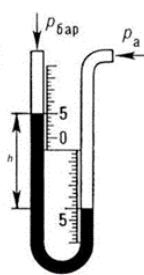
б)



$$h_{\text{бак}} = \frac{P_a - P_0}{\rho g}$$

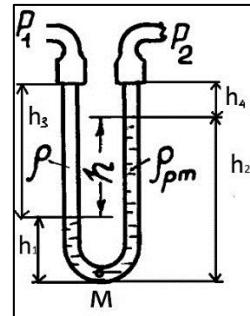
$$P_a - P_0 = \rho g (h_{\text{бак}} + h)$$

Рис. 2



$$P - P_a = gh(\rho_{pm} - \rho)$$

Рис. 3



$$P_1 - P_2 = gh(\rho_{pm} - \rho)$$

Рис. 4

Примеры решения задач

Высота столба ртути, измеренная по дифференциальному манометру, равна $h = 50$ см. Определить разность давлений в точках A и B , если $H = 30$ см (рис. 5). Трубы заполнены водой.

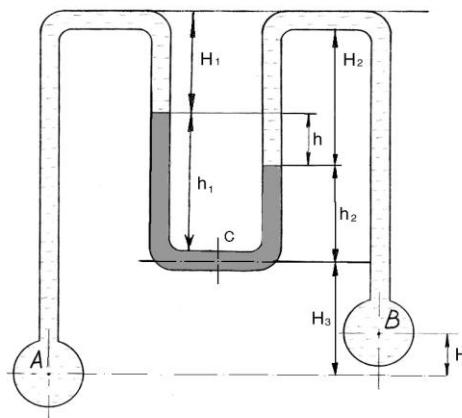


Рис. 5

Решение

Давление на точку C слева по основному уравнению гидростатики:

$$P_c = P_A - \rho_B g(H_1 + h_1 + H_3) + \rho_B gH_1 + h_1 \rho_{pm} g.$$

Аналогично давление на точку С справа:

$$P_c = P_B - \rho_{\text{в}} g (H_1 + h_1 + H_3 - H) + \rho_{\text{в}} g (H_1 + h) + h_2 \rho_{\text{pm}} g.$$

Напишем уравнение равновесия для точки *C* (давление на точку *C* слева и справа должно быть одинаковым):

$$\begin{aligned} P_A - \rho_{\text{в}} g (H_1 + h_1 + H_3) - \rho_{\text{в}} g H_1 + h_1 \rho_{\text{pm}} g &= \\ = P_B - \rho_{\text{в}} g (H_1 + h_1 + H_3 - H) + \rho_{\text{в}} g (H_1 + h) + h_2 \rho_{\text{pm}} g &; \end{aligned}$$

откуда

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_B - P_A = \rho_{\text{pm}} g (h_1 - h_2) - \rho_{\text{в}} g (H + h) = \rho_{\text{pm}} g h - \rho_{\text{в}} g (H + h) \\ \Delta P &= 9,81 (13600 \cdot 0,5 - 0,8 \cdot 1000) = 58800 \text{ Па.} \end{aligned}$$

2.6. Силы давления на плоские стенки

Полная сила давления жидкости на плоскую стенку:

$$F = F_0 + F_{\text{изб.}}, \quad (4)$$

где $F_{\text{изб.}} = \rho g h_c \cdot S$ — сила избыточного давления, создаваемая вышележащими слоями жидкости; $F_0 = P_0 S$ — сила, создаваемая внешним давлением P_0 ; h_c — глубина погружения центра тяжести плоской стенки, S — её площадь.

Отметим, что давление — это распределённая нагрузка, а F — суммарная сила давления. Для упрощения расчётов распределённую нагрузку мысленно заменяют сосредоточенной силой F , точка приложения этой силы называется *центром давления* жидкости на заданную площадку.

Вертикальная координата (глубина погружения) точки приложения силы избыточного давления $F_{\text{изб.}}$:

$$h_D = h_c + \frac{J_{xc}}{h_c \cdot S}, \quad (5)$$

где $J_x = \int_s y^2 \cdot ds$ — момент инерции площади S относительно центральной горизонтальной оси x (м^4).

Пример решения задач

Определить величину и точку приложения равнодействующей сил полного гидростатического давления на прямоугольную вертикальную перегородку (рис. 6). В левой части бака — вода, на свободную поверхность кото-

рой действует давление $P_0 = 2$ бар. В правой части — вода, на свободную поверхность которой действует атмосферное давление $P_a = 1$ бар. Остальные размеры: $h_1 = 6$ м, $h_2 = 3$ м, $b = 5$ м, $H = 7$ м.

Решение

а) Давление приложенное к жидкости равномерно действует на всю перегородку, поэтому силы F_0 слева и справа нужно приложить в одной точке на расстоянии $H/2 = 3,5$ м от основания перегородки. Результирующая сила перепада давления ($P_0 - P_a$):

$$F_{(P_0 - P_a)} = (P_0 - P_a) \cdot bH = (2 - 1) \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 7 = 35 \cdot 10^5 H.$$

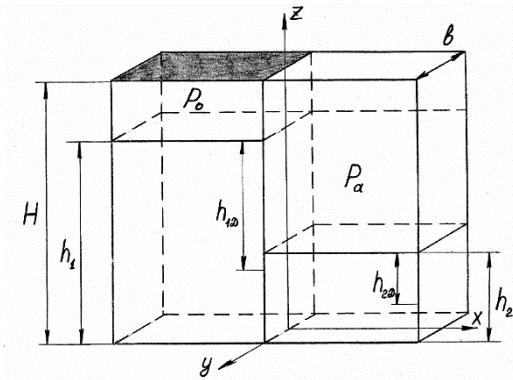


Рис. 6

б) На расстоянии $(h_1 - h_{1D})$ от основания слева на перегородку действует избыточная сила давления воды (h_{1D} — вертикальная координата центра давления слева). Определим её по формуле (4):

$$F_{h1} = \rho g b \frac{h_1^2}{2} = 10^3 \cdot 9.8 \cdot 5 \frac{6^2}{2} = 8.82 \cdot 10^5 H.$$

в) На расстоянии $(h_2 - h_{2D})$ справа на перегородку действует избыточная сила давления воды (h_{2D} — вертикальная координата центра давления справа). Определим её по формуле (4):

$$F_{h2} = \rho g b \frac{h_2^2}{2} = 10^3 \cdot 9,8 \cdot 5 \frac{3^2}{2} = 2,20 \cdot 10^5 H.$$

Общая равнодействующая этих трех сил R , действующих вдоль оси x , равна сумме

$$R = F_{P_0-P_A} + F_{h_1} - F_{h_2} = 41,62 \cdot 10^5 H.$$

Точка её приложения определится из условия равновесия (момент равнодействующей силы относительно линии нижнего основания должен быть равен сумме моментов, создаваемой каждой из сил).

$$R \cdot z_R = F_{P_0-P_A} \cdot \frac{H}{2} + F_{h_1} \cdot (h_1 - h_{1D}) - F_{h_2} \cdot (h_2 - h_{2D}),$$

где z_R — расстояние от дна до точки приложения результирующей силы R .

Расстояния h_{1D} и h_{2D} в общем случае определяются по формуле (5):

$$h_{1D} = \frac{J_y}{h_c \cdot S_{h_1}} = \frac{\left(\frac{bh_1^3}{12} + bh_1 \left(\frac{h_1}{2} \right)^2 \right)}{\frac{h_1 \cdot bh_1}{2}} = \frac{2h_1}{3} = 4 \text{ м},$$

$$h_{2D} = \frac{J_y}{h_c \cdot S_{h_2}} = \frac{2h_2}{3} = 2 \text{ м}.$$

После подстановок и вычислений находим

$$z_R = \frac{3500 \cdot 3,5 + 882 \cdot 2 - 220 \cdot 1}{4162} = 3,31 \text{ м}.$$

2.7. Силы давления на криволинейную поверхность

Горизонтальная составляющая силы избыточного давления

$$F_{\Gamma_{\text{изб.}}} = S_B \rho g h_c, \quad (6)$$

где S_B — площадь вертикальной проекции криволинейной поверхности, h_c — глубина погружения центра тяжести вертикальной проекции.

Вертикальная составляющая силы избыточного давления

$$F_{V_{\text{изб.}}} = \rho g V_{\text{тд}}, \quad (7)$$

где $V_{\text{тд}}$ — объём тела давления.

Объём тела давления — это объём, ограниченный самой криволинейной поверхностью, свободной поверхностью жидкости (или её мысленным продолжением) и вертикальными поверхностями, проведёнными через края криволинейной поверхности.

Результирующая сила давления на криволинейную поверхность

$$F = \sqrt{F_B^2 + F_\Gamma^2}. \quad (8)$$

Линия действия результирующей силы направлена под углом ϕ к горизонту:

$$\operatorname{tg}\phi = F_{B \text{ изб.}} / F_{\Gamma \text{ изб.}}$$

Примеры решения задач

1. Топливный танк цилиндрической формы емкостью $V = 400 \text{ м}^3$ и высотой $H = 5 \text{ м}$ заполнен топливом плотностью $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$. Определить силы гидростатического давления топлива на боковую стенку и дно танка.

Решение

Найдем диаметр танка

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi H}}.$$

Сила давления топлива на боковую стенку равна силе давления на её вертикальную проекцию S_z (в данном случае на площадь прямоугольника высотой H и шириной d) и определяется по формуле (6):

$$F_{\text{изб.}} = \rho g H^2 \sqrt{\frac{V}{\pi H}} = 90 \cdot 9,8 \cdot 5^2 \sqrt{\frac{400}{3,14 \cdot 5}} = 1,13 M H.$$

Сила давления на дно резервуара определяется формулой (7):

$$F = \rho g V = 900 \cdot 9,8 \cdot 400 = 3,528 M H.$$

2. Определите силу избыточного давления воды на изогнутую часть перегородки (рис. 7), если с обеих сторон перегородки находится вода, $R = 1 \text{ м}$, $h = 3 \text{ м}$, $H = 5 \text{ м}$, ширина перегородки $l = 3 \text{ м}$.

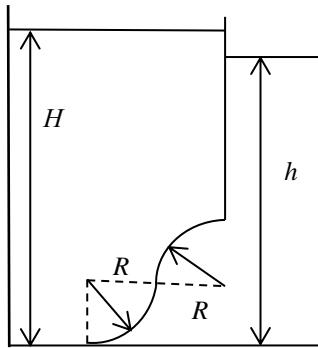


Рис. 7

Решение

Найдём горизонтальную составляющую силы избыточного давления по формуле (6). Вертикальная проекция криволинейной стенки представляет собой прямоугольник высотой $2R$ и шириной l . Центр тяжести этого прямоугольника находится на расстоянии R от дна, и на расстоянии $(H - R)$ от свободной поверхности воды в левой части танка. Подставим значения в формулу (6):

$$F_{\Gamma_{\text{лев}}} = S_B \rho g h_c = 2R \cdot l \rho g (H - R),$$

Аналогично найдём горизонтальную составляющую силы избыточного давления справа:

$$F_{\Gamma_{\text{прав}}} = S_B \rho g h_c = 2R \cdot l \rho g (h - R).$$

Горизонтальная составляющая результирующей силы давления:

$$\begin{aligned} F_{\Gamma} &= F_{\Gamma_{\text{лев}}} - F_{\Gamma_{\text{прав}}} = 2R \cdot l \rho g (H - h) = \\ &= 2 \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 3 \cdot 9.8 (5 - 3) = 117,6 \text{ кН.} \end{aligned}$$

Найдём вертикальную составляющую силы избыточного давления по формуле (7). Объём тела давления слева:

$$V_m = (\pi R^2 / 4 + 2R(H - R) - \pi R^2 / 4) \cdot l = 2R(H - R)l.$$

Тогда вертикальная составляющая силы избыточного давления воды слева:

$$F_{B_{\text{лев}}} = 2R \rho g (H - R)l.$$

Аналогично вертикальная составляющая силы избыточного давления справа:

$$F_{B_{\text{прав}}} = 2R \rho g (h - R)l.$$

Вертикальная составляющая результирующей силы давления:

$$\begin{aligned} F_B &= F_{B_{лев}} - F_{B_{прав}} = \\ &= 2R \cdot l \rho g (H - h) = 2 \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 3 \cdot 9,8 (5 - 3) = 117,6 \text{ кН.} \end{aligned}$$

Результирующая сила давления на криволинейную стенку:

$$F_{\text{рез}} = \sqrt{117,6^2 + 117,6^2} = 166,3 \text{ кН.}$$

2.8. Закон Архимеда. Условие плавания твердых тел

По закону Архимеда *на погруженное в жидкость тело действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной им жидкости и приложенная в геометрическом центре тяжести тела* ($F_a = \rho_j g \cdot V$).

Здесь V — объём тела; ρ_j , ρ_t — значения плотности жидкости и тела, соответственно.

На тело, погруженное в жидкость, кроме силы Архимеда действует сила веса тела $G = \rho_t g \cdot V$.

Направим ось $у$ вертикально вверх, тогда главный вектор сил, действующих на тело, погруженное в жидкость:

$$F_{\text{рез}} = F_a - G = \rho_j g \cdot V - \rho_t g \cdot V = g \cdot V (\rho_j - \rho_t).$$

Таким образом, если $\rho_j > \rho_t$ — тело плавает, если $\rho_t > \rho_j$ — тело тонет, если $\rho_j = \rho_t$ — тело находится в равновесии.

Контрольные вопросы

1. Что такое гидростатическое давление?
2. Какими свойствами обладает гидростатическое давление?
3. Основное уравнение гидростатики
4. Закон Паскаля
5. Что такое избыточное давление?
6. Что измеряет манометр?
7. Что измеряет вакуумметр?
8. Что измеряет дифференциальный манометр?
9. Что такое центр давления?
10. Как определить силу гидростатического давления на плоскую стенку?
11. Как определить силу гидростатического давления на криволинейную поверхность?
12. Сформулируйте закон Архимеда.

3. ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ

Для описания движения жидкостей и газов обычно используется метод Эйлера, который заключается в задании поля скоростей, т. е. зависимости проекций скорости w_x, w_y, w_z от координат и времени:

$$w_x = w_x(x, y, z, t), \quad w_y = w_y(x, y, z, t), \quad w_z = w_z(x, y, z, t).$$

Проекции ускорения $a = a(x, y, z, t)$ на координатные оси определяются как полные производные по времени от соответствующих проекций скорости.

3.1. Основные характеристики потока

Если параметры движения не зависят от времени, то такое движение называется **стационарным**.

Если параметры движения зависят от времени, то такое движение называется **нестационарным**.

Движение, при котором профиль скоростей во всех сечениях одинаков, называется **установившимся**.

Линией тока называется такая линия в потоке жидкости, в каждой точке которой вектор скорости направлен по касательной к этой линии.

След движения частицы называется ее **траекторией**.

Скорость жидкости в данной точке потока называется **местной скоростью**.

Распределение векторов скорости по нормальному сечению потока называется **профилем скорости**.

Количество жидкости или газа, протекающее через нормальное сечение потока в единицу времени, называется **расходом**.

Различают **объёмный** Q , м³/с и **массовый** G , кг/с расход:

$$Q = \frac{V}{t}; \quad G = \frac{M}{t}, \quad Q = \int_S w \cdot dS = w_{cp} \cdot S,$$

где V, M — объём и масса жидкости, прошедшие за время t через попереч-

ное сечение потока, $w_{cp} = \frac{\int w dS}{S}$ — средняя по сечению скорость потока.

Пространственным называется движение жидкости, параметры которого зависят от трех координат.

Плоским называется движение жидкости, параметры которого зависят от двух координат.

Линейным называется движение жидкости, параметры которого зависят лишь от одной координаты.

3.2. Уравнение неразрывности (сплошности)

Уравнение неразрывности движения жидкости является частным случаем закона сохранения массы M в некотором объеме V .

1) Для потока сжимаемой жидкости

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0.$$

2) Для потока идеальной жидкости

$$\operatorname{div} \vec{w} = \frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} = 0.$$

3) В гидравлической форме

$$G = \int_S \rho w \cdot dS = (\rho w)_{cp} \cdot S = \text{const}, \quad (9)$$

где G — массовый расход жидкости (кг/с). В форме (9) уравнение сплошности справедливо как для жидкостей, так и для газов.

Для несжимаемой жидкости объёмный расход через любое нормальное сечение потока также величина постоянная:

$$Q = w_{cp} S = \text{const}, \text{ (м}^3/\text{с).} \quad (10)$$

Откуда, для любых двух сечений потока: $w_1 S_1 = w_2 S_2$.

Следовательно, $w_2 = w_1 S_1 / S_2$.

Пример решения задач

Найти, какой потребуется диаметр трубопровода в системе охлаждения главного двигателя, чтобы обеспечить расход пресной воды 500 м³/ч при скорости 1,5 м/с.

Решение: из уравнения сплошности (10) определяем внутренний диаметр трубопровода:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 500}{3,14 \cdot 1,5 \cdot 3600}} = 0,35 \text{ м.}$$

Контрольные вопросы

1. Какое движение называется стационарным?
2. Какое движение называется нестационарным?
3. Какое движение называется установившимся?
4. Что такое линия тока?
5. Что такое профиль скорости?
6. Какое движение называется плоским?
7. Что такое расход?
8. Что такое местная скорость?
9. Напишите уравнение сплошности в гидравлической форме.

4. ДИНАМИКА ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ

4.1. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости (уравнения Эйлера)

Дифференциальные уравнения движения Эйлера выражают 2-й закон Ньютона применительно к движущейся идеальной жидкости:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{dw_x}{dt}; \\ f_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{dw_y}{dt}; \\ f_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{dw_z}{dt}. \end{array} \right. \quad (11)$$

В векторном виде эта система сводится к одному уравнению

$$\vec{f} - \frac{1}{\rho} \mathbf{grad}p = \frac{d\vec{w}}{dt}.$$

Уравнения Эйлера вместе с уравнением неразрывности образуют замкнутую систему и полностью описывают движение идеальной жидкости. Решение уравнений с использованием соответствующих начальных и граничных (краевых) условий позволяет определить скорость, давление и плотность в каждой точке рассматриваемого потока жидкости в любой выбранный момент времени.

4.2. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости

Интегрирование уравнений движения Эйлера для жидкости, движущейся в поле сил тяжести, при отсутствии горизонтальных составляющих вектора плотности распределения массовых сил даёт уравнение Бернулли:

$$B = \frac{w^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gz = \text{const.} \quad (12)$$

Энергетическая трактовка уравнения Бернулли

Уравнение Бернулли является частным случаем закона сохранения энергии применительно к потоку движущейся жидкости. Первое слагаемое

в уравнении $\frac{w^2}{2}$ представляет собой удельную (Дж/кг) кинетическую энергию движения жидкости, второе $\frac{p}{\rho}$ — удельную потенциальную энергию давления, третье gz — удельную потенциальную энергию положения жидкости в поле сил тяжести. Сумма этих энергий B — **полная удельная энергия движущегося потока есть величина постоянная**, и поэтому изменение одного вида энергии осуществляется за счет другого, т. е. в потоке жидкости происходит перераспределение энергии. Например, если в горизонтальной трубе ($z = \text{const}$) за счет сужения канала увеличивается скорость потока, то гидростатическое давление жидкости уменьшается, (потенциальная энергия давления переходит в кинетическую энергию); если в вертикальной трубе постоянного сечения жидкость поднимается на некоторую высоту z , то увеличение потенциальной энергии положения происходит также за счет понижения гидростатического давления.

Вторая форма записи уравнения Бернулли:

$$\frac{\rho w^2}{2} + p + \rho gz = p_0 = \text{const.} \quad (13)$$

В этом случае все члены уравнения имеют размерность (Па) и называются: $\frac{\rho w^2}{2}$ — скоростной напор; p — пьезометрическое давление; ρgz — давление столба жидкости высотой z ; p_0 — полный напор (или полное давление).

Третья форма уравнения Бернулли:

$$\frac{w^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z = H_0 = \text{const.} \quad (14)$$

Все члены уравнения имеют размерность (m) и называются высотами:

$\frac{w^2}{2g}$ — скоростная высота;

$\frac{p}{\rho g}$ — пьезометрическая высота;

z — нивелирная высота (это расстояние от произвольной горизонтальной плоскости сравнения до линии тока, для которой составляется уравнение Бернулли);

H_0 — гидравлическая высота (или полный напор выраженный в метрах).

Пьезометрическую высоту можно определить по показанию прямого

пьезометра, если он ориентирован вдоль по потоку (рис. 8): $h_p = \frac{p}{\rho g}$.

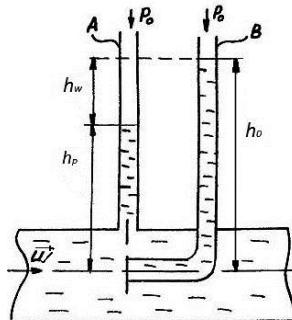


Рис. 8

Скоростную высоту (рис. 8) можно определить по разнице показаний прямого пьезометра и изогнутого пьезометра, у которого площадка, воспринимающая давление, ориентирована перпендикулярно потоку жидкости и, следовательно, на нее действует и гидростатическое давление, и скоростной напор: $h_w = h_0 - h_p$.

Пример решения задач

По горизонтальной трубе переменного сечения (рис. 9) протекает жидкость плотностью $\rho = 950 \text{ кг}/\text{м}^3$ и расходом $Q = 10 \text{ л}/\text{с}$. Определить пьезометрические высоты в сечениях, если $d_1 = d_3 = 100 \text{ мм}$, $d_2 = 25 \text{ мм}$, $p_1 = 0,3 \text{ МПа}$. Потерями пренебречь.

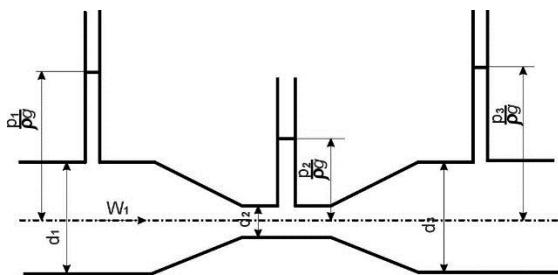


Рис. 9

Решение: пьезометрические высоты в сечениях с диаметрами d_1 и d_3 будут

$$h_1 = h_3 = \frac{p_1}{\rho g} = \frac{0,3 \cdot 10^6}{950 \cdot 9,81} = 32,2 \text{ м.}$$

Для определения пьезометрической высоты в сечении диаметром d_2 напишем уравнение Бернулли для первого и второго сечений:

$$\frac{w_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{w_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2.$$

Здесь $z_1 = z_2$, так как труба горизонтальна. Найдём скорости:

$$w_1 = \frac{4Q}{\pi d_1^2}; \quad w_2 = \frac{4Q}{\pi d_2^2}.$$

Тогда искомая пьезометрическая высота во втором сечении будет

$$\begin{aligned} h_2 &= \frac{p_2}{\rho g} = \frac{w_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} - \frac{w_2^2}{2g}; \\ h_2 &= \frac{8Q^2}{g\pi^2 d_1^4} - \frac{8Q^2}{g\pi^2 d_2^4} + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{8Q^2}{g\pi^2} \left(\frac{1}{d_1^4} - \frac{1}{d_2^4} \right) + \frac{p_1}{\rho g}; \\ h_2 &= \frac{8(10 \cdot 10^{-3})^2}{9,81 \cdot 3,14^2} \left(\frac{1}{0,1^4} - \frac{1}{0,025^4} \right) + 32,2 = 11,12 \text{ м.} \end{aligned}$$

Контрольные вопросы

1. Какими уравнениями полностью описывается движение идеальной жидкости?
2. Напишите уравнение Бернулли для идеальной жидкости
3. Энергетическая трактовка уравнения Бернулли
4. Что такое нивелирная высота?
5. Из чего складывается полное давление в потоке идеальной жидкости?
6. Как экспериментально определить местную скорость потока?

5. ДИНАМИКА ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

5.1. Уравнения движения вязкой несжимаемой жидкости

Жидкости, подчиняющиеся закону Ньютона ($F = \pm \mu S \frac{\partial w}{\partial n}$), называют-
ся **ニュтоновскими**. К ним относятся большинство жидкостей и все газы.

Движение вязкой несжимаемой жидкости описывается уравнениями Навье-Стокса:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dw_x}{dt} = f_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 w_x; \\ \frac{dw_y}{dt} = f_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 w_y; \\ \frac{dw_z}{dt} = f_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 w_z, \end{array} \right. \quad (15)$$

где $\nabla^2 w_x = \operatorname{div}(\operatorname{grad} w_x) = \frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2}$ — оператор Лапласа.

Для того чтобы система была замкнута, к уравнениям Навье-Стокса при-
соединяется уравнение неразрывности, которое имеет такой же вид, как и для
невязкой жидкости. *Уравнения Навье-Стокса совместно с уравнением не-
разрывности полностью описывают движение вязкой несжимаемой
жидкости.*

5.2. Уравнение Бернулли для потока вязкой жидкости

Потери энергии в потоке реальной жидкости проявляются в снижении
полного напора p_0 , а следовательно, и гидравлической высоты H_0 . В урав-
нении Бернулли (13) такое снижение полной энергии потока между двумя
сечениями 1 и 2 учитывается членом Δp_{1-2} .

$$\alpha_1 \frac{\rho w_{cp_1}^2}{2} + p_1 + \rho g z_1 = \alpha_2 \frac{\rho w_{cp_2}^2}{2} + p_2 + \rho g z_2 + \Delta p_{1-2} = p_0 = \text{const}$$

или в форме (14):

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{w_{cp_1}^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{w_{cp_2}^2}{2g} + \Delta h_{(1-2)} = H_0 = \text{const},$$

где Δp_{1-2} — падение давления на участке между сечениями 1 и 2 (гидравлические потери), $\Delta h_{(1-2)}$ — падение гидравлической высоты на участке между сечениями 1 и 2.

Поскольку при движении реальной жидкости в канале скорость меняется по высоте канала, то для каждой линии тока будут свои значения w_1 и w_2 . Поэтому в уравнении Бернулли для потока реальной жидкости удобнее использовать не местную, а среднюю скорость потока. Однако удельная кинетическая энергия потока, определённая по средней скорости, не равна реальной кинетической энергии потока, поэтому при переходе от местной к средней скорости потока вводится поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность профиля скорости:

$$\alpha = \frac{E_k}{E_{k_{cp}}},$$

где E_k — реальная удельная кинетическая энергия потока, $E_{k_{cp}}$ — удельная кинетическая энергия, определённая по величине средней по сечению скорости потока.

Для невязкой (идеальной) жидкости, когда, $w_{cp} = w$, $\alpha = 1$. Во всех других случаях $\alpha > 1$. Для ламинарного потока в круглой трубе $\alpha = 2$. Для турбулентного режима $\alpha < 1,5$ и приближается к 1 с увеличением числа Рейнольдса (Re).

5.3. Подобие гидромеханических процессов

Метод подобия позволяет установить требования, предъявляемые к лабораторной модели и проведению на ней исследуемого процесса, для того чтобы результаты моделирования могли быть распространены на реальные объекты. Кроме того, обработка результатов эксперимента и обобщение этих результатов в виде эмпирических формул также ведётся в соответствии с положениями теории подобия.

Два физических процесса считаются подобными, если основные характеристизующие их параметры в сходственных точках и в сходственные моменты времени пропорциональны друг другу.

Подобные процессы описываются одинаковыми уравнениями и отличаются только масштабом описывающих их величин.

Для того чтобы два физических процесса были подобными, необходимо соблюдение условий геометрического, кинематического, временного, температурного и физического подобия, подобия сил, а также подобия начальных и граничных условий.

Анализ дифференциальных уравнений движения вязкой жидкости (15) позволяет установить критерии гидромеханического подобия:

– число Струхала $Sh = \frac{l}{wt}$ показывает соотношение сил инерции, вызванных локальными и конвективными ускорениями; применяется при моделировании нестационарных течений;

– число Фруда $Fr = \frac{w^2}{gl}$ показывает соотношение кинетической энергии потока и потенциальной энергии положения;

– отношение потерь энергии потока на преодоление гидравлических сопротивлений к кинетической энергии потока показывает число Эйлера

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho w^2};$$

– число Рейнольдса Re показывает соотношение сил инерции и сил вязкости

$$Re = \frac{\rho wl}{\mu} = \frac{wl}{\nu}.$$

Во всех числах подобия величины w и τ — **характерная скорость и характерное время** развития процесса.

Линейная величина l называется **характерным размером**.

Характерный размер — это размер, наиболее существенно влияющий на распределение скоростей в потоке жидкости или газа.

Условием подобия двух процессов является равенство чисел подобия, характеризующих эти процессы. На этом основывается теория физического моделирования процессов и объектов, в которых происходят процессы. Результаты опытов, поставленных на моделях, соответствующим образом обрабатываются и представляются в виде так называемых критериальных уравнений, то есть математических зависимостей между определяющими и определяемыми числами подобия.

5.4. Режимы движения вязкой жидкости. Критические числа Рейнольдса

Ламинарным называется движение, при котором слои жидкости или газа не перемешиваются и перемещаются параллельно друг другу.

Турбулентным называется движение, при котором частицы жидкости или газа движутся хаотично, происходит перемешивание слоев, значения скорости, давления и плотности пульсируют относительно некоторых средних по времени значений.

В качестве универсального критерия, позволяющего определить режим движения жидкости в различных случаях, применяется безразмерное число Рейнольдса:

- при $Re > Re_{kp}^+$ — турбулентный режим;
- при $Re < Re_{kp}^-$ — ламинарный режим;
- при $Re_{kp}^- < Re < Re_{kp}^+$ — переходная область,

где Re_{kp}^- , Re_{kp}^+ — нижнее и верхнее числа Рейнольдса, соответственно.

Для круглых гладких труб за критическое число Рейнольдса принимается $Re_{kp} = \frac{w_{cp_{kp}} \cdot d}{\nu} \approx 2300$ независимо от рода жидкости и диаметра труб.

При $Re < 2300$ — режим ламинарный.

При $2300 \leq Re \leq 4000$ — 10000 — режим переходный.

При $Re > 4000$ — 10000 — режим турбулентный.

Пример решения задач

Определить режим движения моторного топлива по трубопроводу диаметром 100 мм при расходе $10 \text{ м}^3/\text{ч}$. Вязкость топлива 35 сСт .

Решение: найдем кинематический коэффициент вязкости топлива системе СИ:

$$\nu = 35 \text{ сСт} = 35 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

Из уравнения сплошности (10) определим скорость движения топлива

$$w = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 10}{3,14 \cdot 0,1^2 \cdot 3600} = 0,354 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{wd}{\nu} = \frac{0,354 \cdot 0,1}{35 \cdot 10^{-6}} = 1011.$$

Полученное число Рейнольдса менее нижнего критического ($Re < 2300$).

Следовательно, режим движения топлива ламинарный.

5.5. Понятие пограничного слоя

В реальных жидкостях всегда наблюдается прилипание частиц жидкости к обтекаемой ею поверхности, что приводит к торможению тонкого слоя жидкости, прилегающего к этой поверхности. *Пограничным слоем называется тонкий слой жидкости или газа, в котором параметры потока меняются от значений на стенке до значений в основном потоке.*

Толщина пограничного слоя тем больше, чем больше вязкость среды и чем меньше число Рейнольдса. Давление в плоском пограничном слое является функцией только продольной координаты (т. е. не меняется по высоте пограничного слоя).

Контрольные вопросы

1. Какими уравнениями полностью описывается движение вязкой несжимаемой жидкости?
2. Напишите уравнение Бернулли для реальной жидкости. Подпишите название слагаемых.
3. Назовите числа гидромеханического подобия.
4. Напишите выражение для числа Рейнольдса. Подпишите обозначения в правой части формулы.
5. Какой режим движения называется турбулентным?
6. Какой режим движения называется ламинарным?
7. При каком условии происходит переход от ламинарного режима к турбулентному в трубах и каналах?
8. Что такое пограничный слой?
9. От чего зависит толщина пограничного слоя?
10. Как изменится толщина пограничного слоя при увеличении числа Рейнольдса?
11. Как меняется давление в пограничном слое?

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ГИДРОМЕХАНИКИ

6.1. Сопротивление движению жидкостей и газов в трубах и каналах

При движении реальной жидкости или газа часть энергии потока теряется на преодоление сил трения. Эти потери энергии проявляются в снижении полного напора вниз по потоку.

Разность значений полного напора между двумя поперечными сечениями потока называется гидравлическими потерями.

Существует два вида гидравлических потерь: потери на трение (потери по длине трубопровода) и местные гидравлические потери.

Потери напора на трение в трубах и каналах определяются по формуле Дарси:

$$\Delta p_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho w_{cp}^2}{2}, \text{ Па}$$

$$\text{или } \Delta h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{w_{cp}^2}{2g}, \text{ м,}$$

где λ — коэффициент гидравлического трения.

Коэффициент гидравлического трения зависит от числа Рейнольдса и относительной шероховатости канала:

— при ламинарном течении ($Re < 2300$)

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

— в области гидравлически гладких труб ($2300 < Re < 4000$) или в случае, если $2300 \leq Re \leq 10 d/\Delta_{ш}$ хорошо работает формула Блазиуса

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}};$$

— в доквадратичной зоне сопротивлений ($10d/\Delta_{ш} \leq Re \leq 500d/\Delta_{ш}$) можно использовать формулу Альтшуля

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

– в зоне квадратичного сопротивления ($\text{Re} > 500 \cdot d / \Delta_{\text{ш}}$)

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_{\text{ш}}}{d} \right)^{0,25},$$

где $\Delta_{\text{ш}}$ — средняя шероховатость внутренней поверхности канала.

Кроме потерь напора на трение о стенки канала в реальных гидравлических системах возникают потери напора (энергии) на преодоление, так называемых, местных сопротивлений (например, при повороте потока, резком изменения формы и площади поперечного сечения канала, при прохождении потока через решётки, клапаны и т. п.).

В практике гидравлических расчетов все местные потери напора обычно определяются по формуле Вейсбаха:

$$\Delta p_i = \xi_i \frac{\rho w_{\text{cp}}^2}{2}, \text{ Па}$$

$$\text{или } \Delta h_i = \xi_i \frac{w_{\text{cp}}^2}{2g}, \text{ м,}$$

где ξ_i — коэффициент местного сопротивления, индекс i указывает на соответствующий номер местного сопротивления. Значения ξ_i определяются экспериментально или по справочникам гидравлических сопротивлений.

Общая потеря напора в трубопроводе определяется суммой:

$$\Delta p = \Delta p_l + \sum_{i=1}^N \Delta p_i,$$

где N — количество местных сопротивлений.

Примеры решения задач

Определить снижение пьезометрической высоты (гидравлические потери) на длине $l = 100$ м гидравлически гладкого водопровода диаметром $d = 200$ мм. Водопровод снабжен приемным клапаном с сеткой и имеет 2 колена. Коэффициенты местных сопротивлений $\xi_{\text{кл}} = 8$, $\xi_{\text{кол}} = 0,25$. Расчётный объёмный расход воды $Q = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Решение: определим среднюю скорость движения воды в трубе

$$w = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 300}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,2^2} = 2,65 \text{ м/с.}$$

Оценим режим движения жидкости ($v = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$)

$$Re = \frac{wd}{v} = \frac{2,65 \cdot 0,2}{10^{-6}} = 5,3 \cdot 10^5.$$

Поскольку $Re > 2300$, режим движения турбулентный. Для определения коэффициента трения гидравлически гладких труб используем формулу Блазиуса:

$$\lambda_T = 0,316 Re^{-0,25} = 0,316 \cdot (5,3 \cdot 10^5)^{-0,25} = 0,012.$$

Гидравлические потери на длине l найдём по формуле Дарси

$$\Delta h_l = \lambda_T \frac{l}{d} \frac{w_{cp}^2}{2g} = 0,012 \frac{100 \cdot 2,65^2}{0,2 \cdot 2 \cdot 9,8} = 2,15 \text{ м в. ст.}$$

Гидравлические потери на местных препятствиях определим по формуле Вейсбаха:

$$\Delta h_M = (\xi_{kl} + 2\xi_{kol}) \frac{w_{cp}^2}{2g} = (8 + 0,5) \frac{2,65^2}{2 \cdot 9,8} = 3,05 \text{ м в. ст.}$$

Общие гидравлические потери в трубопроводе (снижение пьезометрической высоты):

$$\Delta h_{\Sigma} = 2,15 + 3,05 = 5,2 \text{ м в. ст.}$$

6.2. Сопротивление движению тел в жидкости

6.2.1. Сопротивление трения, сопротивление формы, профильное сопротивление

При обтекании тела идеальной жидкостью давление на передней его кромке равно давлению на задней кромке. При обтекании тела реальной жидкостью на его поверхности образуется пограничный слой, который оказывает на внешнее течение вытесняющее действие, что приводит к отклонению линий тока от контура тела на расстояние, называемое толщиной вытеснения. Вследствие этого распределение давления по контуру тела отличается от распределения при обтекании идеальной жидкостью, и давление на задней кромке тела не равно давлению в набегающем потоке, разность этих давлений называется сопротивлением давления или *сопротивлением формы*.

При обтекании тел вязкой жидкостью, вследствие торможения её в пограничном слое, возникают касательные напряжения, вызывающие *сопротивление трения*, величина которого зависит от соотношения толщины пограничного слоя и шероховатости поверхности.

Сумма сопротивления трения и сопротивления формы называется **профильным сопротивлением**

$$\Delta p_{\text{проф}} = \xi_{\text{проф}} \frac{\rho w^2}{2},$$

где $\xi_{\text{проф}} = \xi_{\text{тр}} + \xi_{\phi}$ — коэффициент профильного сопротивления, $\xi_{\text{тр}}$ — коэффициент трения, ξ_{ϕ} — коэффициент сопротивления формы.

Коэффициент профильного сопротивления можно определить по формуле

$$\xi_{\text{проф}} = \xi_{\text{тр}} (1 + k),$$

где k — постоянная для данного тела величина.

В случае, если обтекание тела происходит без отрыва пограничного слоя, или отрыв происходит вблизи задней кромки, такие тела называют хорошо обтекаемыми, в противном случае это тела плохо обтекаемой формы. Для хорошо обтекаемых тел: $k = 0,05 - 0,25$.

6.2.2. Лобовое сопротивление и подъёмная сила

Сила сопротивления движению твёрдых тел определяется формулой:

$$R = \xi_{\text{проф}} \frac{\rho w^2}{2} \cdot S.$$

Продольная к потоку составляющая силы сопротивления (рис. 10) называется **лобовым сопротивлением**:

$$R_x = C_x \frac{\rho w^2}{2} \cdot S.$$

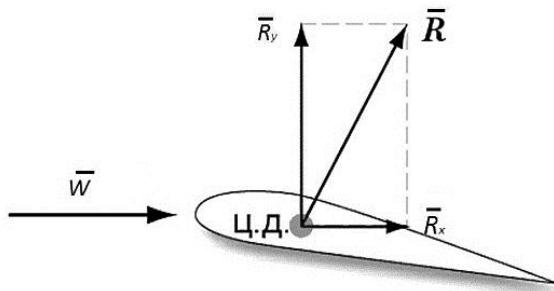


Рис. 10

Поперечная к потоку составляющая силы сопротивления называется **подъёмной силой**:

$$R_y = C_y \frac{\rho w^2}{2} \cdot S,$$

где C_x — коэффициент лобового сопротивления; $C_y = 0,5 \dots 1,5$ — коэффициент подъёмной силы; S — характерная площадь.

На нижней поверхности крылового профиля (рис. 11) скорость потока ниже и статическое давление выше (в соответствии с уравнением Бернулли), а на верхней части статическое давление ниже (так как скорость потока выше, ввиду геометрической разности длин).

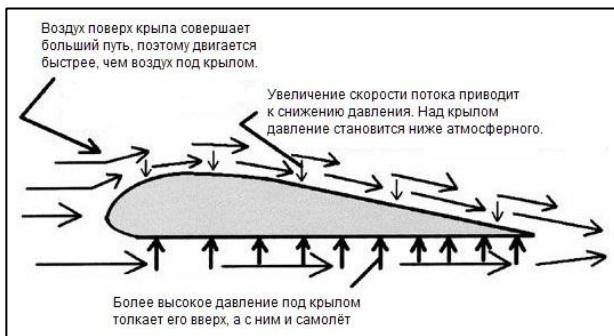


Рис. 11

Углом атаки называется угол между вектором скорости набегающего потока и хордой крылового профиля.

При малых углах атаки с увеличением этого угла коэффициент подъёмной силы возрастает. Когда угол атаки крыла превышает некоторое критическое значение (заключенное в диапазоне от 12 до 15°), поток отрывается от верхней поверхности; происходит срыв потока с крыла. Он сопровождается резким падением подъемной силы и ростом сопротивления крыла.

6.3. Истечение жидкости через отверстия и насадки

Если по высоте отверстия величина напора изменяется, отверстие называется «**большим**» ($d \geq 0,1 H_0$). В противном случае (рис. 12) оно называется «**малым**» ($d \leq 0,1 H_0$).

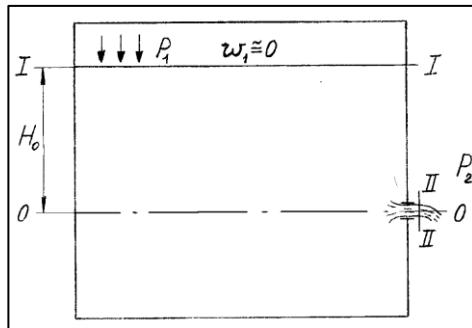


Рис. 12

На характер течения жидкости в отверстии влияет толщина δ стенки, в которой находится отверстие. Если $\delta \geq 3d$, стенка называется *толстой*, если $\delta \leq 3d$, стенка называется *тонкой*.

Средняя скорость истечения жидкости из отверстия в тонкой стенке при постоянной напоре:

$$w_{cp} = \frac{1}{\sqrt{\alpha_2 + \xi_{otb}}} \sqrt{2gH} = \varphi_{otb} \sqrt{2gH},$$

где $\varphi_{otb} = (\alpha_2 + \xi_{otb})^{-\frac{1}{2}} < 1$ коэффициент скорости для отверстия,

$$H = H_0 + \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g}.$$

Объемный расход жидкости при истечении жидкости из резервуара большого поперечного сечения через малое отверстие площадью S_{otb}

$$Q = \mu_{otb} S_{otb} \sqrt{2gH},$$

где $\mu_{otb} = \varphi_{otb} \cdot \varepsilon_{otb} < 1$ — коэффициент расхода для отверстия;

$\varepsilon_{otb} = \frac{S_{min_{струи}}}{S_{otb}}$ — коэффициента сжатия струи; $S_{min_{струи}}$ — минимальная площадь сечения струи.

Если истечение жидкости происходит через насадку, то в формулы для скорости и расхода вместо φ_{otb} и μ_{otb} подставляются соответствующие значения для насадки φ_{nac} и μ_{nac} .

Тип насадка или отверстия	Величина коэффициентов		
	ϵ	φ	μ
Малое круглое отверстие в тонкой стенке	0,64	0,97	0,62
Внешний цилиндрический насадок	1,0	0,82	0,82
Внутренний цилиндрический насадок	1,0	0,71	0,71
Конический расходящийся насадок при $\theta = 5^\circ - 7^\circ$	1,0	0,45 – 0,50	0,45 – 0,50
Конический сходящийся насадок при $\theta = 13^\circ - 14^\circ$	0,98	0,96	0,94
Коноидальный насадок	1,0	0,98	0,98

6.4. Гидравлический удар в трубах, формула Жуковского. Способы снижения ударного явления

Гидравлическим ударом называется резкий скачок давления в трубопроводе, вызванный внезапным изменением скорости, и распространяющийся по трубопроводу в виде ударной волны.

Повышение давления в трубопроводе при гидравлическом ударе определяется формулой Жуковского:

$$\Delta p = a \cdot \Delta w_{cp} \cdot \rho,$$

где Δw_{cp} — изменение средней скорости движения жидкости, вызвавшее гидравлический удар.

Скорость распространения ударной волны:

$$a = \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{1}{E_1} + \frac{d}{\delta E_2} \right)}},$$

здесь d, δ — диаметр и толщина трубы; ρ — плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$;

E_1, E_2 — модули упругости жидкости и материала трубы.

Для предотвращения гидравлического удара в трубопроводах устанавливают специальные устройства, например, предохранительные клапаны, воздушные колпаки, обеспечивающие расширение пространства, в котором внезапно возбуждается резкое повышение давления. Другой «антиудар-

ной» мерой является предотвращение резкого перекрытия потока жидкости, для чего запорную арматуру на напорных трубопроводах делают медленно закрывающейся (например, резьба на штоке перекрывающего кран или клинкета делается с малым шагом).

Контрольные вопросы

1. Что такое гидравлические потери?
2. Какие виды гидравлических потерь Вы знаете?
3. По какой формуле можно определить гидравлические потери на трение?
4. Что такое лобовое сопротивление?
5. Что такое подъёмная сила?
6. Что такое угол атаки?
7. В каком случае отверстие, из которого происходит истечение жидкости, называется малым?
8. Как определить расход при истечении жидкости через малое отверстие в тонкой стенке при постоянном напоре?
9. Как определить скорость при истечении жидкости через малое отверстие в тонкой стенке при постоянном напоре?
10. Дайте определение гидравлического удара в трубопроводе.
11. От чего зависит скорость распространения ударной волны?

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Выберите задания для контрольной работы, пользуясь, табл. 1.

№ варианта	Номер задания										
	1.1	1.2	1.3	2	3.1	3.2	4	5	6	7	8
1	1	—	—	1	10	—	5	20	15	5	6
2	2	—	—	2	9	—	6	19	14	6	7
3	3	—	—	3	8	—	7	18	13	7	8
4	4	—	—	4	7	—	8	17	12	8	9
5	5	—	—	5	6	—	9	16	11	9	10
6	6	—	—	6	5	—	10	15	10	10	11
7	7	—	—	7	4	—	1	14	9	11	12
8	8	—	—	8	3	—	2	13	8	12	13
9	9	—	—	9	2	—	3	12	7	13	14
10	10	—	—	10	1	—	4	11	6	14	15
11	—	1	—	11	—	1	5	10	5	15	16
12	—	2	—	12	—	2	1	9	4	1	17
13	—	3	—	13	—	3	2	8	3	2	18
14	—	4	—	14	—	4	3	7	2	3	19
15	—	5	—	15	—	5	4	6	1	4	20
16	—	6	—	16	—	6	5	5	2	5	1
17	—	7	—	17	—	7	6	4	3	8	2
18	—	8	—	18	—	8	7	3	4	9	3
19	—	9	—	19	1	—	8	2	5	10	4
20	—	10	—	20	2	—	9	1	6	11	5
21	1	—	—	14	3	—	10	2	7	12	6
22	2	—	—	19	4	—	1	3	8	15	7
23	3	—	—	18	5	—	2	4	9	1	8
24	4	—	—	17	6	—	3	5	10	2	9
25	5	—	—	16	7	—	4	6	11	3	10
26	6	—	—	15	8	—	5	7	12	4	11
27	7	—	—	14	9	—	6	8	13	5	12
28	8	—	—	13	10	—	7	9	14	6	13
29	9	—	—	12	—	8	5	10	15	7	14
30	10	—	—	11	—	7	9	11	16	8	15
31	—	—	1	10	—	6	10	12	17	9	16
32	—	—	2	9	—	5	1	13	18	10	17
33	—	—	3	8	—	4	2	14	19	1	18
34	—	—	4	7	—	3	3	15	20	3	19
35	—	—	5	6	—	2	4	16	16	10	20
36	—	—	6	5	—	1	5	17	17	11	2
37	—	—	7	4	3	—	6	18	18	12	3
38	—	—	8	3	—	4	7	19	19	13	4
39	—	—	9	2	2	—	8	20	20	14	5
40	—	—	10	1	—	5	9	1	1	15	12

Задание 1.1. Определите указанную величину давления в системе СИ. Подробно покажите порядок вычислений.

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Величина давления	5 бар	750мм рт. ст.	10 м в. ст.	1 м в. ст.	2 атм.	4 кгс/см ²	5 м в. ст.	760 мм рт. ст.	375 мм рт. ст.	10 кгс/см ²

Задание 1.2. Определите величину кинематического коэффициента вязкости в системе СИ по заданному значению вязкости, если известна плотность жидкости или газа. Подробно покажите порядок вычислений.

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Величина коэффициента вязкости	100 Ст	50 Сст	$36 \cdot 10^{-3}$ Па·с	$8 \cdot 10^{-3}$ Па·с	1,2 °Е	2 °Е	0,9 мм ² /с	18 0°Е	25 Пуаз	$9 \cdot 10^{-3}$ Па·с
Плотность, кг/м ³	1000	800	1,2	800	1000	800	900	880	1,6	900

Задание 1.3. Определите указанную величину объёмного расхода жидкости в системе СИ. Подробно покажите порядок вычислений.

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Величина расхода	60 л/мин	3600 л/ч	86400 м ³ /сут	2 л/с	100 мл/мин	720 л/ч	6 л/с	12 м ³ /ч	0,6 м ³ /мин	1000 л/сут

Задание 2.

2.1. Определить давление p_0 , если уровень воды в открытом пьезометре $H = 1,2$ м, глубина присоединения пьезометра $h = 0,5$ м.

2.2. Определить избыточное давление в трубопроводе, если в открытом пьезометре, установленном на трубопроводе, вода поднялась на 0,5 м.

2.3. Определить абсолютное давление в конденсаторе в Паскалях, если вакуумметр показывает 0,9 бар, атмосферное давление 1 бар.

2.4. Определить абсолютное давление в конденсаторе, если вакуумметр показывает 650 мм рт. ст., а показания барометра 750 мм рт. ст.

2.5. Определите абсолютное давление пара в котле, если манометр показывает 1,8 бар, абсолютное давление по ртутному барометру 750 мм рт. ст.

2.6. Определите, на какую высоту поднимется вода в открытом пьезометре, установленном на трубопроводе, если избыточное давление в трубопроводе 0,2 бар.

2.7. Определите, на какую высоту поднимется вода в открытом пьезометре, установленном на трубопроводе, если абсолютное давление в трубопроводе 140 кПа.

2.8. Определите абсолютное давление над свободной поверхностью жидкости в резервуаре, если $H = 1$ м, $h = 0,4$ м (рис. 2.1).

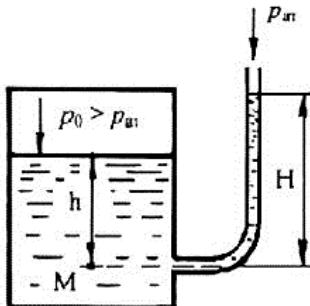


Рис. 2.1

2.9. Определите, на какую высоту поднимется вода в открытом пьезометре, если $h = 0,8$ м, давление над свободной поверхностью воды $p_0 = 1,2$ бар (рис. 2.1).

2.10. Определите абсолютное давление в точке A если $h_{\text{вак}} = 0,6$ м, сосуд заполнен водой (рис. 2.2).

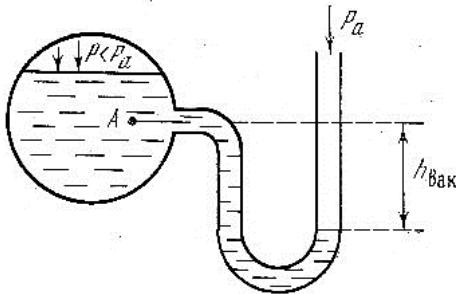


Рис. 2.2

2.11. Определите абсолютное давление воды в точке присоединения пьезометра если $h = 0,5$ м (рис. 2.3).

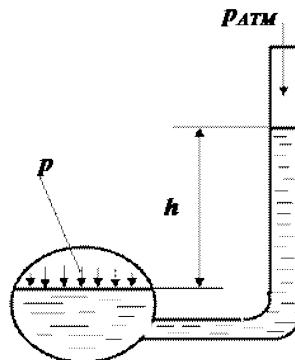


Рис. 2.3

2.12. Определите абсолютное давление в точке присоединения манометра, если $h = 0,6$ м, $a = 0,2$ м сосуд заполнен водой (рис. 2.4).

2.13. Определите, на какую высоту ртуть в манометре, если $a = 0,4$ м, давление воды в трубопроводе $p_0 = 2,2$ бар (рис. 2.4).

2.14. Определите, на какую высоту ртуть в манометре, если $a = 0,4$ м, давление воздуха в сосуде $p_0 = 1,5$ бар (рис. 2.5).

2.15. Определите, абсолютное давление воды в трубопроводе p_0 , если $a = 0,1$ м, $h = 0,8$ м (рис. 2.4).

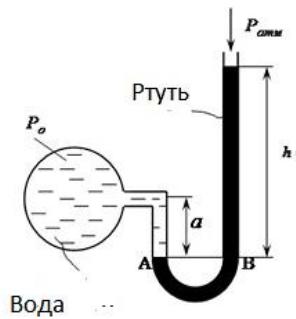


Рис. 2.4

2.16. Определите, абсолютное давление воздуха в трубопроводе p_0 , если $a = 0,1$ м, $h = 0,375$ м (рис. 2.5).

2.17. Определите, избыточное давление воды в трубопроводе p_0 , если $a = 0,2$ м, $h = 0,675$ м (рис. 2.4).

2.18. Определите, избыточное давление воздуха в трубопроводе p_0 , если $a = 0,1$ м, $h = 0,75$ м (рис. 2.5).

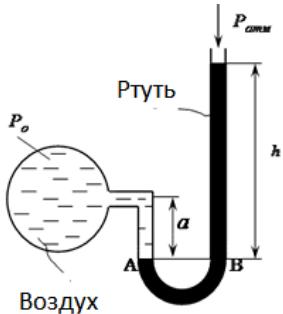


Рис. 2.5

2.19. Определите избыточное давление масла в точке присоединения пьезометра если $h = 0,4$ м, плотность масла $\rho_m = 800$ кг/м³ (рис. 2.3).

2.20. Абсолютное давление воды в точке A составляет 0,6 бар, определите, каким будет показание вакуумметра $h_{вак}$ (рис. 2.2).

Задание 3.

3.1. Определите силу избыточного давления воды на дно сосуда.

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ рисунка	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
l , м	2	0,6	3	—	1	0,4	5	5	0,3	0,6
L , м	4	—	—	—	3	—	7,31	7	—	—
b , м	3	-	2	—	2,5	—	3	3	—	—
h , м	1,5	0,4	4	1,2	0,8	0,2	2	1	0,2	0,4
H , м	2	0,8	5	2,4	1,75	1	2,92	1,75	0,8	1,5
D , м	—	1	—	0,8	—	0,8	—	—	0,4	1
d , м	—	0,2	—	0,4	—	0,1	—	—	0,14	0,28
α , °	60	—	—	—	60	—	60	60	—	—

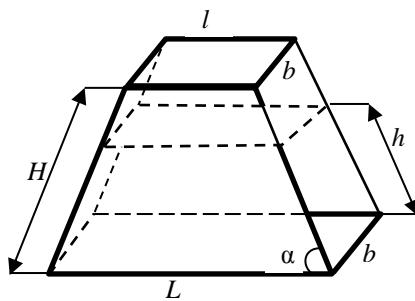


Рис. 3.1

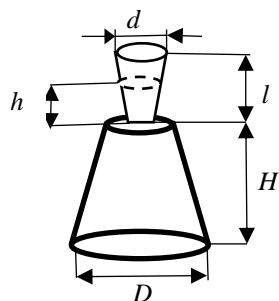


Рис. 3.2

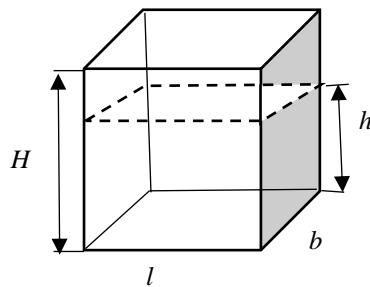


Рис. 3.3

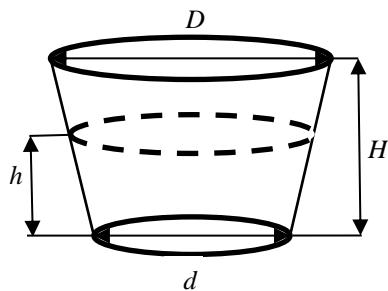


Рис. 3.4

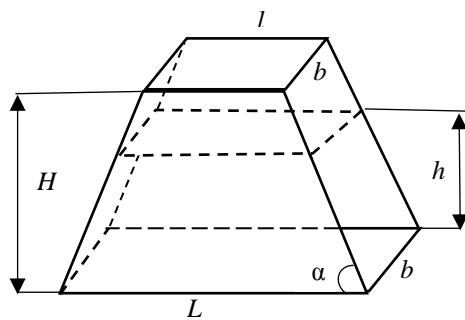


Рис. 3.5

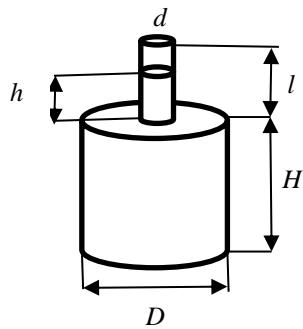


Рис. 3.6

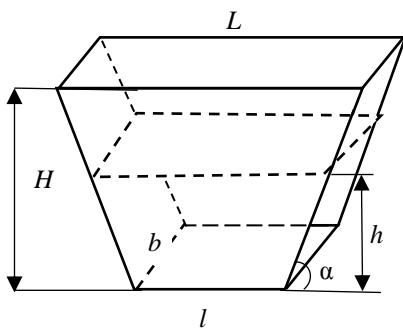


Рис. 3.7

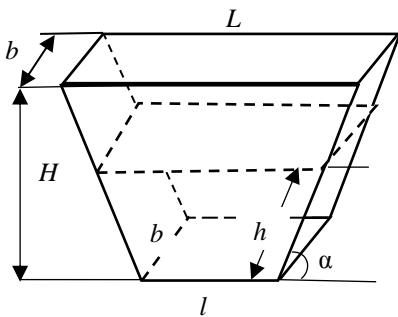


Рис. 3.8.

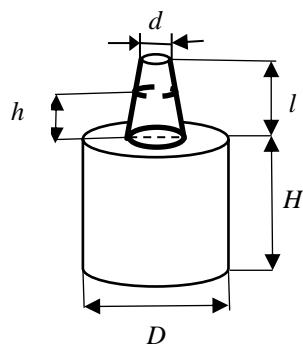


Рис. 3.9

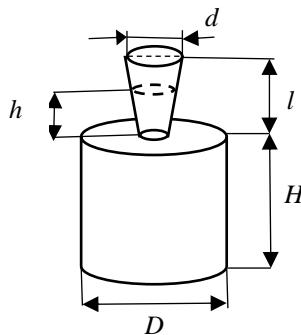


Рис. 3.10

3.2. Определите силу избыточного давления воды боковую (варианты 1, 5, 7, 8) и переднюю (варианты 2, 3, 4, 6) стенку сосуда.

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
№ рисунка	3.1	3.1	3.8	3.7	3.5	3.3	3.7	3.8
l , м	2	3	4	—	1	0,4	5	5
L , м	4	5	6	—	3	—	7,31	7
b , м	3	2	2	—	2,5	0,6	3	3
h , м	1,5	1,5	1	1,2	0,8	0,8	2	1
H , м	2	2	1,75	2,4	1,75	1	2,92	1,75
α , °	60	60	60	60	60	—	60	60

Задание 4. Определите силу избыточного давления воды на изогнутую часть стенки сосуда.

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ рисунка	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10
l , м	1,2	0,6	1	0,5	0,4	1,5	2	1,2	2	1
L , м	—	—	—	—	—	—	—	2	4	2
h , м	0,4	0,8	0,6	0,4	1,2	1,2	0,6	1,4	0,8	0,8
H , м	0,8	1	0,8	0,8	2	1,8	1	—	1,6	1,3
R , м	1	1,2	0,4	1,6	1,6	0,8	1,4	1,6	1,2	0,8

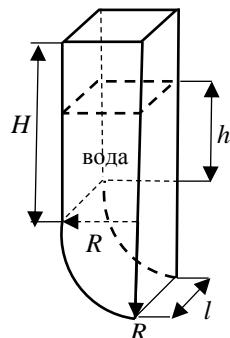


Рис. 4.1

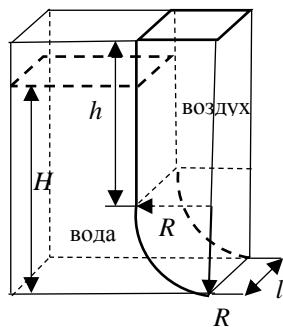


Рис. 4.2

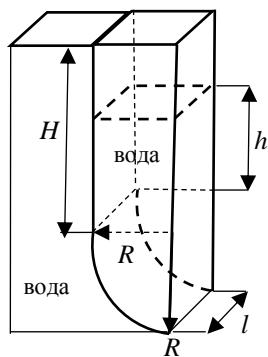


Рис. 4.3

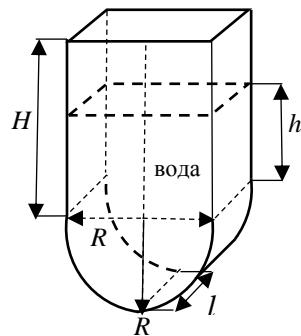


Рис. 4.4

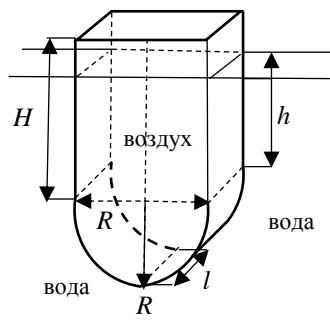


Рис. 4.5

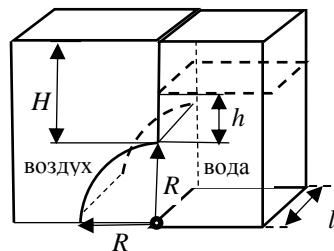


Рис. 4.6

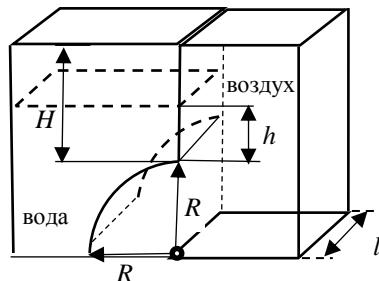


Рис. 4.7

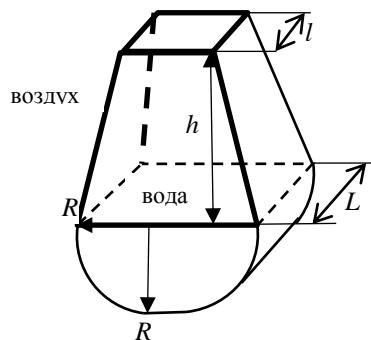


Рис. 4.8.

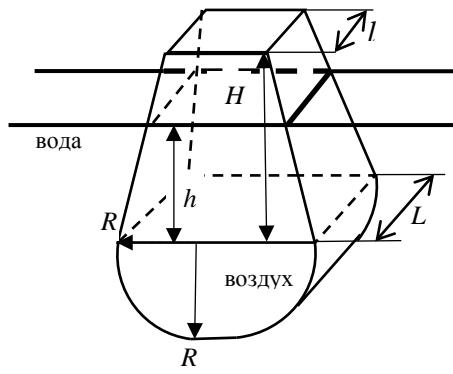


Рис. 4.9

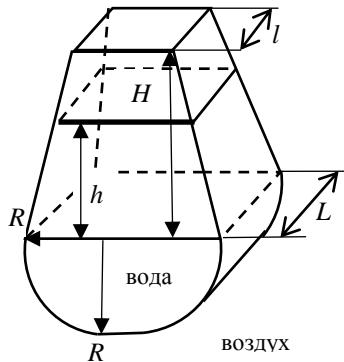


Рис. 4.10

Задание 5. Подробно покажите решение задачи и порядок вычислений

Вариант 1: Какой нужно выбрать диаметр трубопровода, чтобы обеспечить расход воды 0,5 л/с при скорости 2,5 м/с?

Вариант 2: По трубопроводу диаметром 20 мм движется вода со скоростью 0,25 м/с, определите скорость воды в суженном сечении трубопровода, диаметр которого 10 мм.

Вариант 3: По трубопроводу диаметром $d_1 = 24$ мм движется вода со скоростью 0,25 м/с, в сужающемся сечении скорость воды увеличивается до 1 м/с. Определите диаметр суженного сечения.

Вариант 4: Какой нужно выбрать диаметр трубопровода, чтобы обеспечить расход воды 1 кг/ч при скорости 0,5 м/с?

Вариант 5: По паропроводу диаметром 0,1 м подается пар в количестве 282,6 м³/ч. Определите скорость пара.

Вариант 6: По трубопроводу движется вода со скоростью 0,25 м/с в количестве 18 л/ч. Определите диаметр трубопровода.

Вариант 7: Воздух при температуре 27°C и абсолютном давлении 1,5 бар движется в коробе прямоугольного сечения размерами 20x50 см. Расход воздуха 10 кг/с. Определить скорость потока.

Вариант 8: Воздух при температуре 27 °C и абсолютном давлении 1,2 бар движется в коробе прямоугольного сечения размерами 10x40 см. Скорость потока воздуха 10 м/с. Определить массовый расход воздуха.

Вариант 9: По трубопроводу диаметром $d_1 = 48$ мм движется вода со скоростью 0,8 м/с, в расширяющемся сечении скорость воды упала до 0,2 м/с. Определите диаметр расширенного сечения.

Вариант 10: По трубопроводу диаметром 44 мм движется вода со скоростью 1 м/с, определите скорость воды в расширенном сечении трубопровода, диаметр которого 22 мм.

Вариант 11: По трубопроводу диаметром $d_1 = 22$ мм движется вода со скоростью 0,4 м/с. Определите массовый расход воды.

Вариант 12: По трубопроводу диаметром $d_1 = 48$ мм движется воздух при температуре 40 °С и абсолютном давлении 1,2 бар в количестве 0,036 кг/с. Определите скорость воздуха.

Вариант 13: По трубопроводу диаметром $d_1 = 42$ мм движется воздух при температуре 20 °С и абсолютном давлении 1,2 бар в количестве 0,036 кг/с. Определите, какой будет скорость воздуха в сужающемся сечении диаметром 22 мм.

Вариант 14: По паропроводу диаметром $d_1 = 48$ мм движется пар со скоростью 20 м/с. Определите объёмный расход пара.

Вариант 15: По паропроводу диаметром 0,2 м подается пар в количестве 282,6 м³/ч. Определите скорость пара в суженном сечении диаметром 16 мм.

Вариант 16: По паропроводу диаметром 0,22 м подается пар в количестве 220 м³/ч. Определите скорость пара в расширенном сечении диаметром 44 мм.

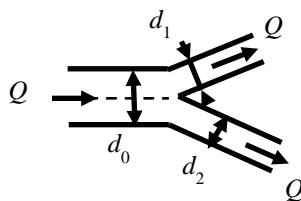


Рис. 5.1

Вариант 17: По трубопроводу диаметром $d_0 = 48$ мм движется вода со скоростью 0,4 м/с. Определите скорость во второй ветви трубопровода диаметром $d_2 = 10$ мм (рис. 5.1), если скорость в первой ветви трубопровода диаметром $d_1 = 20$ мм составляет 0,8 м/с.

Вариант 18: По трубопроводу диаметром $d_0 = 48$ мм движется вода в количестве 1 кг/с. Определите скорость во второй ветви трубопровода диаметром $d_2 = 14$ мм (рис. 5.1), если скорость в первой ветви трубопровода диаметром $d_1 = 20$ мм составляет 0,8 м/с.

Вариант 19: По трубопроводу диаметром $d_0 = 48$ мм движется вода в количестве 1 кг/с (рис. 5.1). Определите скорости воды в разветвленных частях водопровода, если известно, что расход воды во второй ветви трубопровода диаметром $d_2 = 14$ мм в два раза меньше, чем в первой ветви трубопровода диаметром $d_1 = 20$ мм.

Вариант 20: По трубопроводу диаметром $d_0 = 48$ мм движется вода (рис. 5.1). Скорость воды во второй ветви трубопровода диаметром $d_2 = 14$ мм составляет 0,4 м/с, скорость воды в первой ветви трубопровода диаметром $d_1 = 20$ мм составляет 0,8 м/с.

Определите расход воды Q_0 в основном трубопроводе.

Задание 6. Решить задачу, считая жидкость идеальной

6.1. Вода движется в трубопроводе диаметром 100 мм с расходом 1,8 кг/с (рис. 6.1), как изменится показание прямого пьезометра в узком сечении, если диаметр узкого сечения 50 мм?

6.2. Вода движется в трубопроводе диаметром 100 мм со скоростью 0,2 м/с, (рис. 6.1). Как изменится показание прямого пьезометра в узком сечении, если диаметр узкого сечения 50 мм?

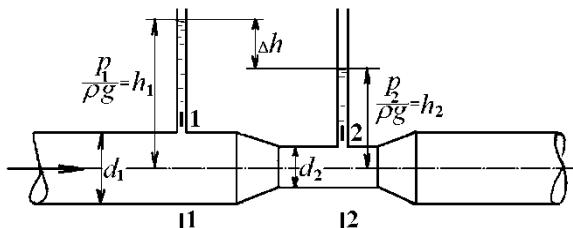


Рис. 6.1

6.3. Вода движется в трубопроводе диаметром 20 мм с расходом 0,08 кг/с (рис. 6.2), как изменится показание прямого пьезометра в широком сечении, если диаметр широкого сечения 40 мм?

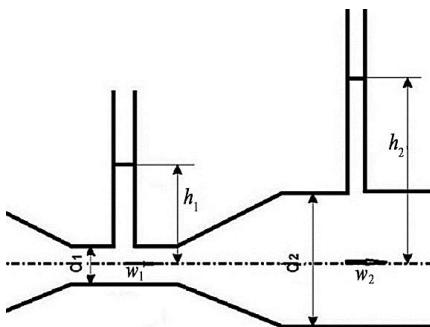


Рис. 6.2

6.4. Вода движется в трубопроводе диаметром 20 мм со скоростью 1 м/с (рис. 6.2). Определите разность показаний прямых пьезометров в узком и широком сечениях, если диаметр широкого сечения 40 мм?

6.5. Вода движется в трубопроводе диаметром 20 мм с расходом 288 л/ч (рис. 6.2), как изменится показание прямого пьезометра в широком сечении, если диаметр широкого сечения 40 мм?

6.6. Вода движется в трубопроводе диаметром 10 мм со скоростью 1 м/с под давлением 1,05 бар (рис. 6.2). Определите показания прямых пьезометров в узком и широком сечениях, если диаметр широкого сечения 40 мм?

6.7. Вода движется в трубопроводе диаметром 20 мм со скоростью 1 м/с, давление в потоке 1,2 бар. Определить давление в широком сечении, если диаметр широкого сечения 40 мм.

6.8. Определить разность показаний прямого и изогнутого пьезометров, установленных в одном сечении трубопровода, если скорость потока на оси трубы 1 м/с.

6.9. Разность показаний прямого и изогнутого пьезометров, установленных в одном сечении трубопровода, составляет 20 см. Определить скорость потока на оси трубы.

6.10. Скорость потока воды на оси трубы составляет 2 м/с. Определить разность показаний прямого и изогнутого пьезометров, установленных в одном сечении трубопровода на оси трубы.

6.11. Вода движется в трубопроводе переменного сечения с расходом 0,0785 л/с (рис. 6.3), как изменится показание прямого пьезометра в узком сечении, если $d_1 = 20$ мм, $d_2 = 10$ мм, $z_1 = 80$ см, $z_2 = 40$ см?

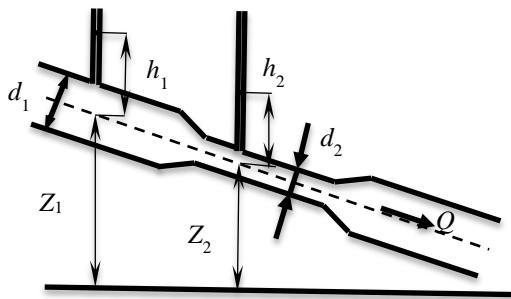


Рис. 6.3

6.12. Вода движется в трубопроводе переменного сечения ($d_1 = 44$ мм, $d_2 = 22$ мм, $z_1 = 100$ см, $z_2 = 40$ см) в количестве 0,16 л/с. Давление в первом сечении $p_1 = 1,2$ бар. Определите давление в суженном сечении (рис. 6.3).

6.13. Вода в количестве 0,32 т/ч движется в трубопроводе переменного сечения ($d_1=44$ мм, $d_2=22$ мм, $z_1=40$ см, $z_2=90$ см) в количестве 0,16 л/с. Давление в первом сечении $p_1=1,2$ бар. Определите давление в суженном сечении (рис. 6.4).

6.14. Вода в количестве 0,12 т/ч движется в трубопроводе переменного сечения ($d_1 = 22$ мм, $d_2 = 10$ мм, $z_1 = 50$ см, $z_2 = 100$ см) (рис. 6.4). Как изменится показание прямого пьезометра в узком сечении?

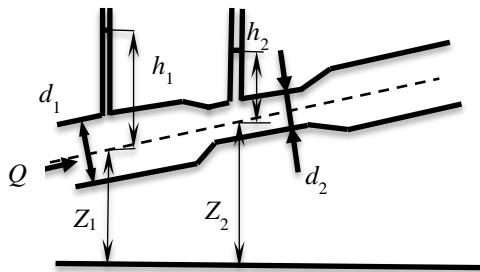


Рис. 6.4

6.15. Вода движется в трубопроводе диаметром 28 мм со скоростью 0,8 м/с под давлением 1,05 бар (рис. 6.4). Определите показания прямых пьезометров в узком и широком сечениях, если диаметр широкого сечения 40 мм, $z_1 = 50$ см, $z_2 = 100$ см?

6.16. Расход пресной воды плотностью $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ в трубопроводе измеряется при помощи расходомера Вентури (рис. 6.5). Определить расход воды Q , если показание присоединенного к нему ртутного дифманометра $H = 0,5 \text{ м}$, а диаметры широкой и суженной частей расходомера $D = 0,1 \text{ м}$ и $d = 0,06 \text{ м}$. Плотность ртути $\rho_{\text{рт}} = 13550 \text{ кг/м}^3$.

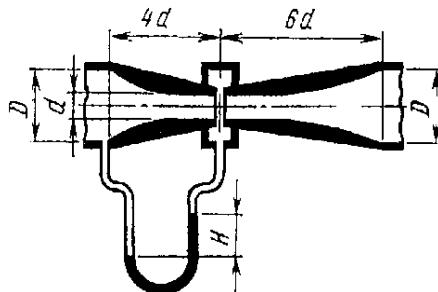


Рис. 6.5

6.17. В закрытый резервуар (рис. 6.6) подведены металлические трубы диаметром d , соединенные эластичной резиновой вставкой. При начальном давлении p диаметр вставки равен $d = 0,025 \text{ м}$. По трубке движется вода с расходом $Q = 0,01 \text{ м}^3/\text{с}$. Определить диаметр резиновой вставки d_1 при увеличении давления в резервуаре на $\Delta p = 0,05 \text{ МПа}$.

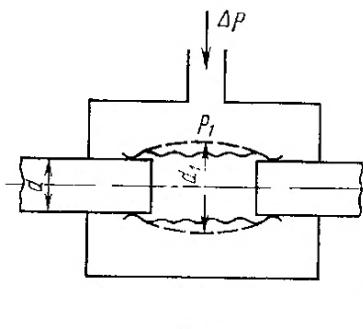


Рис. 6.6

6.18. Найти скорость течения воды на оси трубы, если показания ртутного дифманометра, подсоединеного к динамической трубке (трубке Питот) и к статическому отверстию, равно $H = 0,5 \text{ м}$ (рис. 6.7).

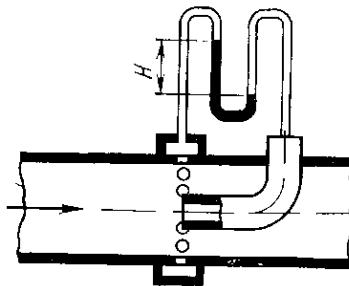


Рис. 6.7

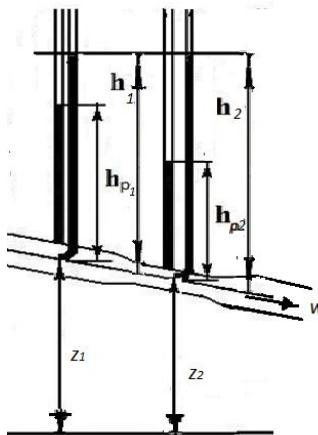


Рис. 6.8

6.19. Вода в количестве 0,04 кг/с движется в трубопроводе переменного сечения ($d_1 = 44$ мм, $d_2 = 22$ мм, $z_1 = 100$ см, $z_2 = 60$ см) (рис. 6.8). Определить показания прямого и изогнутого пьезометров в широком и узком сечениях, если гидростатическое давление в первом сечении $p_1 = 1,05$ бар.

6.20. Вода движется в трубопроводе переменного сечения ($d_1 = 40$ мм, $d_2 = 20$ мм, $z_1 = 100$ см, $z_2 = 50$ см) (рис. 6.8).

Показания пьезометров в широком сечении $h_{p1} = 80$ см, $h_1 = 90$ см.

Определить показания прямого и изогнутого пьезометров в узком сечении.

Задание 7

7.1. Определите потери давления в гидравлически гладком топливопроводе длинной 10 м и диаметром 50 мм, который имеет два колена и один вентиль. Плотность топлива 880 кг/м^3 , кинематический коэффициент вязкости $v = 180 \text{ сСт}$ коэффициент сопротивления каждого колена $\xi_{\text{кол}} = 1,5$, коэффициент сопротивления вентиля $\xi_{\text{вент}} = 2$. Скорость топлива $0,5 \text{ м/с}$.

7.2. В стальном новом трубопроводе диаметром $d = 0,2 \text{ м}$ движется вода с расходом $Q = 3,14 \text{ л/с}$. Трубопровод имеет 2 колена и снабжен одним клапаном. Определить потерю давления в трубопроводе длинной 10 м, если коэффициенты местных сопротивлений $\xi_{\text{кол}} = 1,5$, $\xi_{\text{клап}} = 2,5$, кинематический коэффициент вязкости воды $v = 1 \text{ сСт}$.

7.3. На сколько изменится гидравлическое сопротивление круглого трубопровода длиной 80 м, если в процессе эксплуатации абсолютная шероховатость увеличится от $\Delta = 4 \cdot 10^{-5} \text{ мм}$ до $\Delta = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$? Диаметр трубопровода $d = 0,1 \text{ м}$, средняя скорость течения воды $w = 0,8 \text{ м/с}$, ее температура $t = 20^\circ \text{C}$.

7.4. Вычислить изменение потери давления в гидравлически гладком трубопроводе диаметром $d = 0,1 \text{ м}$ и длиной $L = 50 \text{ м}$ при подогреве перекачиваемого с расходом $Q = 25 \text{ л/с}$ моторного топлива ДТ от температуры 10°C (кинематический коэффициент вязкости $v_{10} = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$) до $t = 40^\circ \text{C}$ ($v_{40} = 0,55 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$).

7.5. Вода движется в трубопроводе длиной 20 м и диаметром 0,11 м с расходом жидкости $Q = 1 \text{ л/с}$, динамический коэффициент вязкости жидкости $\mu = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$. Трубопровод снабжен двумя клапанами с коэффициентом сопротивления $\xi_{\text{клап}} = 2,5$. Определить потерю давления в трубопроводе.

7.6. Газ движется в коробе прямоугольного сечения размером $320 \text{ мм} \times 640 \text{ мм}$, длина короба 40 м. В коробе установлена решётка с коэффициентом сопротивления $\xi = 0,8$. Скорость газа 20 м/с, кинематический коэффициент вязкости $v = 16 \text{ сСт}$. Определите аэродинамическое сопротивление трубопровода.

7.7. По воздуховоду диаметром $d = 100 \text{ мм}$ и длиной 40 м движется воздух при температуре 40°C и абсолютном давлении 1,2 бар в количестве

0,32 кг/с. На трубопроводе установлена решётка с коэффициентом сопротивления $\xi = 0,8$. Определите аэродинамическое сопротивление воздуховода, считая его гидравлически гладким.

7.8. Воздух движется в коробе прямоугольного сечения размером 100×20 мм и длиной 80 м со скоростью 40 м/с. Плотность воздуха $\rho = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$, динамический коэффициент вязкости $\mu = 20 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$. Определите потери давления в воздухопроводе, считая его гидравлически гладким.

7.9. По круглому горизонтальному трубопроводу диаметром 40 мм и длиной 20 м движется вода в количестве 720 л/ч. На трубопроводе установлен кран и приёмная сетка (коэффициенты местных сопротивлений $\xi_{\text{кран}} = 0,3$, $\xi_{\text{сет}} = 0,5$). Давление воды на входе в трубопровод 1,4 бар, определить давление воды в выходном сечении, если кинематический коэффициент вязкости воды $v = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$.

7.10. Воздух движется в коробе длиной 40 м. Сечение короба имеет форму равнобедренного треугольника с размерами сторон $a = b = 40$ мм, $c = 30$ мм. Скорость потока 20 м/с. Плотность воздуха $\rho = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$, динамический коэффициент вязкости $\mu = 24 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$. Определите потери давления в воздухопроводе, считая его гидравлически гладким.

7.11. Вода движется по трубопроводу, длина которого $l = 40$ м; диаметр $d = 50$ мм, коэффициент сопротивления крана 5; колена — 0,8; шероховатость стенок трубы 0,04 мм. Давление воды на входе в трубопровод $p = 0,2 \text{ МПа}$; расход $Q = 15 \text{ л}/\text{с}$, кинематический коэффициент вязкости $v = 0,008 \text{ Ст}$. Определить давление воды в выходном сечении трубопровода.

7.12. Вода поступает через сифонный трубопровод в количестве 0,04 кг/с. Длина трубы $l = 20$ м; диаметр $d = 20$ мм, шероховатость стенок трубы 0,02 мм.

Коэффициент сопротивления на входе в трубопровод $\xi_{\text{вх}} = 0,8$, коэффициент сопротивления вентиля $\xi_{\text{вх}} = 4$. Определить гидравлическое сопротивление трубопровода.

7.13. Определить гидравлическое сопротивление маслоохладителя, состоящего из 100 стальных трубок диаметром $d_1/d_2 = 32/40$ мм и длиной 1,2 м. Расход масла 10,5 кг/с. Масло совершает два хода по трубкам теплообменника. Физические свойства масла: $\nu_m = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$, $\rho_m = 850 \text{ кг}/\text{м}^3$.

7.14. Теплообменник состоит из 40 стальных трубок диаметром $d_1/d_2 = 10/12$ мм и длиной 1,2 м. Расход воды в трубах 0,4 кг/с, кинематический коэффициент вязкости горячей воды $\nu = 0,365$ сСт. Вода совершают два хода по трубкам теплообменника. Определить гидравлическое сопротивление трубок теплообменника, считая их гидравлически гладкими.

7.15. Теплообменник состоит из 40 стальных трубок диаметром $d_1/d_2 = 36/38$ мм и длиной 80 см. В трубах движутся дымовые газы в количестве 1196 кг/ч, средняя температура газов 400 °С. Физические свойства газов: $\nu_r = 60,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $\rho_r = 0,525 \text{ кг}/\text{м}^3$. Определить гидравлическое сопротивление трубок теплообменника, считая их гидравлически гладкими.

Задание 8

8.1. Определить, с каким расходом вода будет вытекать через трубу из бака (рис. 8.1), если диаметр трубы $d = 20$ мм; длина $l = 10$ м; высота $H = 6$ м, $p_0 = 102$ кПа; коэффициент сопротивления крана $\xi_{\text{кр}} = 2$; колена $\xi_{\text{кол}} = 0,82$; шероховатость трубы — 0,04 мм. Кинематический коэффициент вязкости воды $\nu = 0,008$ Ст.

8.2. Определить, каким должен быть уровень воды в баке H (рис. 8.1), чтобы вода вытекала с расходом $Q = 200$ л/ч, если $p_0 = 105$ кПа, диаметр трубы $d = 40$ мм; длина $l = 12$ м; коэффициент сопротивления крана $\xi_{\text{кр}} = 2$; колена $\xi_{\text{кол}} = 0,82$; шероховатость трубы — 0,02 мм. Кинематический коэффициент вязкости воды $\nu = 1$ сСт.

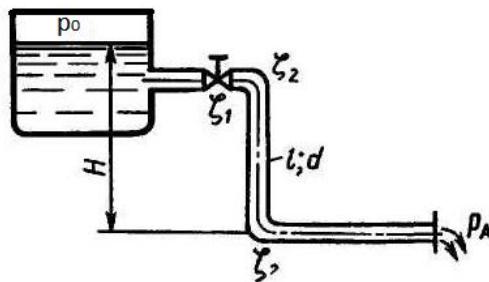


Рис. 8.1

8.3. Определить, каким должно быть давление p_0 над свободной поверхностью воды в баке (рис. 8.1), чтобы вода вытекала с расходом $Q = 100$ л/ч, если уровень воды в баке $H = 2$ м, диаметр трубы $d = 32$ мм; длина $l = 12$ м;

коэффициент сопротивления крана $\xi_{\text{кр}} = 1,2$; колена $\xi_{\text{кол}} = 0,8$; шероховатость трубы — 0,04 мм. Кинематический коэффициент вязкости воды $v = 1 \text{ cSt}$.

8.4. Определить, с каким расходом вода будет вытекать через трубу из бака (рис. 8.2), если диаметр выходного сечения трубы $d_2 = 100 \text{ мм}$; длина трубы $L = 8 \text{ м}$; уровень воды в баке $H = 4 \text{ м}$, $p_0 = 102 \text{ кПа}$; $z_1 = 6 \text{ м}$, $z_2 = 4 \text{ м}$, $z_3 = 2 \text{ м}$; коэффициент входного сопротивления $\xi_{\text{вх}} = 0,8$; коэффициент сопротивления расширению трубы $\xi_{\text{расш.}} = 1,2$; шероховатость трубы — 0,04 мм. Определите также показания пьезометра, расположенного на расстоянии $l = 4 \text{ м}$ от бака, если $d_1 = 50 \text{ мм}$.

Кинематический коэффициент вязкости воды $v = 1 \text{ cSt}$.

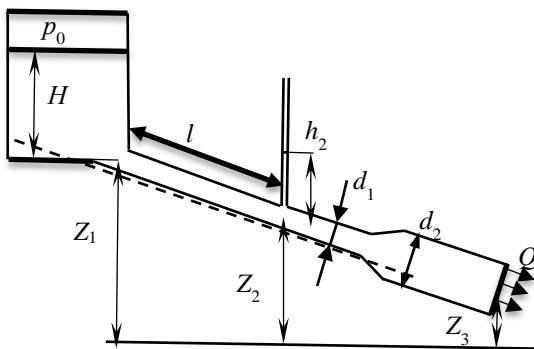


Рис. 8.2

8.5. Определить, каким должен быть уровень воды в баке H (рис. 8.2), чтобы вода вытекала с расходом $Q = 120 \text{ л/ч}$, если диаметр выходного сечения трубы $d_2 = 100 \text{ мм}$; длина трубы $L = 8 \text{ м}$; $p_0 = 105 \text{ кПа}$; $z_1 = 6 \text{ м}$, $z_2 = 4 \text{ м}$, $z_3 = 2 \text{ м}$; коэффициент входного сопротивления $\xi_{\text{вх}} = 0,8$; коэффициент сопротивления расширению трубы $\xi_{\text{расш.}} = 1,2$; шероховатость трубы — 0,02 мм. Определите также показания пьезометра, расположенного на расстоянии $l = 4 \text{ м}$ от бака.

Кинематический коэффициент вязкости воды $v = 1 \text{ cSt}$.

8.6. Определить, каким должно быть давление p_0 над свободной поверхностью воды в баке (рис. 8.2), чтобы вода вытекала с расходом $Q = 30 \text{ л/ч}$, если уровень воды в баке $H = 2 \text{ м}$, диаметр выходного сечения трубы $d_2 = 40 \text{ мм}$; длина трубы $L = 4 \text{ м}$; $z_1 = 1 \text{ м}$, $z_2 = 0,8 \text{ м}$, $z_3 = 0,6 \text{ м}$; коэффициент входного сопротивления $\xi_{\text{вх}} = 0,8$; коэффициент сопротивления расширению трубы

$\xi_{\text{расш.}} = 1,2$; шероховатость трубы — 0,04 мм. Определите также показания пьезометра, расположенного на расстоянии $l = 2$ м от бака.

Кинематический коэффициент вязкости воды $v = 0,8$ сСт.

8.7. Насос подаёт воду в резервуар по трубопроводу диаметром 100 мм и длиной $l = 8$ м на высоту $H = 4$ м в количестве 1 л/с (рис. 8.3). Давление над свободной поверхностью воды в резервуаре $p_0 = 50$ кПа. Определить полный напор, создаваемый насосом, принимая шероховатость трубы 0,05 мм, кинематический коэффициент вязкости воды $v = 0,8$ сСт.

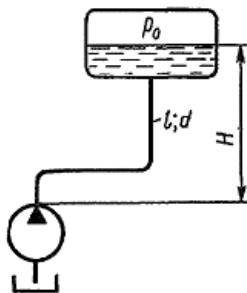


Рис. 8.3

8.8. Определить, с каким расходом вода будет вытекать через трубу из бака (рис. 8.4), если диаметр сечения трубы $d = 100$ мм; длина трубы $L = 12$ м; уровень воды в баке $H = 4$ м, абсолютное давление над поверхностью воды $p_0 = 110$ кПа; коэффициент входного сопротивления $\xi_{\text{вх}} = 0,8$; шероховатость трубы — 0,04 мм. Определите также показания пьезометра, расположенного на расстоянии $l = 6$ м от бака.

Кинематический коэффициент вязкости воды $v = 1$ сСт.

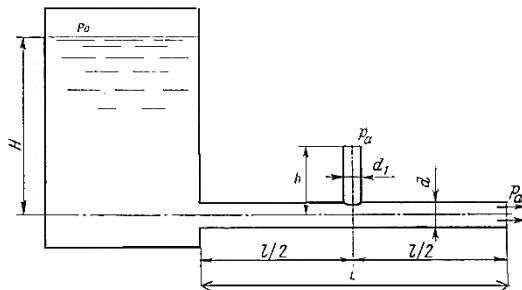


Рис. 8.4

8.9. Определить расход воды в трубопроводе по показаниям пьезометра $h = 1$ м и уровню воды в резервуарах $H = 2$ м (рис. 8.4), если диаметр сечения трубы $d = 40$ мм; длина трубы $L = 12$ м, коэффициент входного сопротивления $\xi_{\text{вх}} = 1,2$; шероховатость трубы — 0,04 мм. Кинематический коэффициент вязкости воды $v = 0,8$ сСт.

8.10. Определить, каким должно быть давление p_0 над свободной поверхностью воды в баке (рис. 8.4), чтобы вода вытекала с расходом $Q = 100$ л/ч, если уровень воды в баке $H = 2$ м, диаметр сечения трубы $d = 22$ мм; длина трубы $L = 8,8$ м; коэффициент входного сопротивления $\xi_{\text{вх}} = 0,8$; коэффициент сопротивления расширению трубы $\xi_{\text{расш.}} = 1,2$; шероховатость трубы — 0,04 мм. Определите также показания пьезометра, расположенного на расстоянии $l = 4,4$ м от бака.

Кинематический коэффициент вязкости воды $v = 1$ сСт.

8.11. Каким должно быть избыточное давление $P_{\text{изб}}$ в закрытом резервуаре (рис. 8.5), чтобы обеспечить подачу воды в количестве $Q = 0,4$ л/с по трубопроводу диаметром $d = 44$ мм и длиной $l = 8,8$ м, если $h = H$, $\xi_{\text{входа}} = 0,5$, $\xi_{\text{выхода}} = 1$, $\xi_{\text{вентил}} = 2$, шероховатость труб $\Delta h = 0,2$ мм.

Кинематический коэффициент вязкости воды $v = 1 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

8.12. Абсолютное давление p в закрытом резервуаре составляет 1,8 бар (рис. 8.5). С каким расходом будет подаваться вода в открытый резервуар по трубопроводу диаметром $d = 22$ мм и длиной $l = 4,4$ м, если $h = 2$ м, $H = 1$ м, $\xi_{\text{входа}} = 0,5$, $\xi_{\text{выхода}} = 1$, $\xi_{\text{вентил}} = 2$, шероховатость труб $\Delta h = 0,2$ мм.

Кинематический коэффициент вязкости воды $v = 1 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

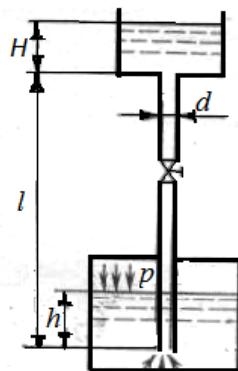


Рис. 8.5

8.13. Определить, каким должно быть давление p_1 над свободной поверхностью топлива в левом баке (рис. 8.6), чтобы оно перетекало с расходом $Q = 12$ л/мин, если уровень топлива в левом баке $H_1 = 6$ м, уровень топлива в правом баке $H_2 = 3$ м, $z_1 = 5$ м, $z_2 = 2$ м, диаметр трубы $d = 100$ мм; длина трубопровода 10 м; коэффициент сопротивления вентиля $\xi_{\text{вент}} = 1,2$; коэффициенты сопротивления входу и выходу из трубопровода $\xi_{\text{вх}} = \xi_{\text{вых}} = 0,8$; шероховатость трубы — 0,04 мм. Давление над свободной поверхностью топлива в правом баке $p_2 = 105$ кПа. Плотность топлива 880 кг/м³, кинематический коэффициент вязкости топлива $v = 180$ сСт.

Определите также показания пьезометра, расположенного на расстоянии $l = 6$ м от левого бака.

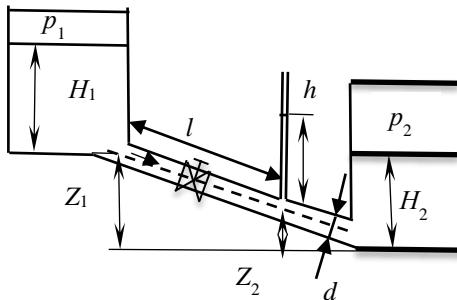


Рис. 8.6

8.14. Определить, каким должно быть давление p_2 над свободной поверхностью топлива в правом баке (рис. 8.6), чтобы оно перетекало с расходом $Q = 12$ л/мин, если уровень топлива в левом баке $H_1 = 5$ м, уровень топлива в правом баке $H_2 = 3$ м, $z_1 = 5$ м, $z_2 = 2$ м, диаметр трубы $d = 100$ мм; длина трубопровода 12 м; коэффициент сопротивления вентиля $\xi_{\text{вент}} = 1,2$; коэффициенты сопротивления входу и выходу из трубопровода $\xi_{\text{вх}} = \xi_{\text{вых}} = 0,8$; шероховатость трубы — 0,04 мм. Давление над свободной поверхностью топлива в левом баке $p_1 = 110$ кПа. Плотность топлива 850 кг/м³, кинематический коэффициент вязкости топлива $v = 160$ сСт.

8.15. Определить, каким должен быть уровень топлива в левом баке H_1 (рис. 8.6), чтобы оно перетекало с расходом $Q = 10$ л/мин, если уровень топлива в правом баке $H_2 = 3$ м, $z_1 = 5$ м, $z_2 = 2$ м, диаметр трубы $d = 80$ мм; длина трубопровода 12 м; коэффициент сопротивления вентиля $\xi_{\text{вент}} = 1,2$; коэффициенты сопротивления входу и выходу из трубопровода $\xi_{\text{вх}} = \xi_{\text{вых}} = 0,8$; шероховатость трубы — 0,04 мм. Давление над свободной поверхностью топлива в правом баке $p_2 = 105$ кПа. Плотность топлива 880 кг/м³, кинематический коэффициент вязкости топлива $v = 180$ сСт.

циенты сопротивления входу и выходу из трубопровода $\xi_{\text{вх}} = \xi_{\text{вых}} = 0,8$; шероховатость трубы — 0,04 мм. Давление над свободной поверхностью топлива в левом баке $p_1 = 110$ кПа, давление p_2 над свободной поверхностью топлива в правом баке $p_2 = 105$ кПа.

Определите также показания пьезометра, расположенного на расстоянии $l = 6$ м от левого бака.

Плотность топлива 880 кг/м³, кинематический коэффициент вязкости топлива $\nu = 180$ сСт.

8.16. Определить, каким должен быть уровень топлива в правом баке H_2 (рис. 8.6), чтобы оно перетекало с расходом $Q = 10$ л/мин, если уровень топлива в левом баке $H_1 = 4$ м, $z_1 = 3$ м, $z_2 = 1$ м, диаметр трубы $d = 80$ мм; длина трубопровода 8 м; коэффициент сопротивления вентиля $\xi_{\text{вент}} = 1,2$; коэффициенты сопротивления входу и выходу из трубопровода $\xi_{\text{вх}} = \xi_{\text{вых}} = 0,8$; шероховатость трубы — 0,04 мм. Давление над свободной поверхностью топлива в левом баке $p_1 = 110$ кПа, давление p_2 над свободной поверхностью топлива в правом баке $p_2 = 105$ кПа.

Определите также показания пьезометра, расположенного на расстоянии $l = 4$ м от левого бака.

Плотность топлива 880 кг/м³, кинематический коэффициент вязкости топлива $\nu = 180$ сСт.

8.17. При какой разности уровней h расход моторного топлива ДТ ($t = 30$ °C, $\nu = 0,9 \cdot 10^{-4}$ м²/с, $\rho = 900$ кг/м³) через сифонный трубопровод (рис. 8.7) будет равен 4 л /с? Определить также давление в сечении $B—B$, если при общей длине $L = 20$ м расстояние от начала трубопровода до сечения $B—B$ равно $l = 12$ м, а диаметр трубопровода $d = 50$ мм. Трубу считать гидравлически гладкой, давление над поверхностью топлива в обоих танках атмосферное.

8.18. Определить расход моторного топлива ДТ ($t = 30$ °C, $\nu = 0,9 \cdot 10^{-4}$ м²/с, $\rho = 900$ кг/м³) через сифонный трубопровод (рис. 8.7) при разности уровней в танках $h = 4$ м. Определить также давление в сечении $B—B$, если при общей длине $L = 18$ м расстояние от начала трубопровода до сечения $B—B$ равно $l = 10$ м, а диаметр трубопровода $d = 50$ мм. Шероховатость стенок трубы — 0,04 мм, давление над поверхностью топлива в обоих танках атмосферное.

8.19. Определить расход моторного топлива ДТ ($t = 30$ °C, $\nu = 0,9 \cdot 10^{-4}$ м²/с, $\rho = 900$ кг/м³) через сифонный трубопровод (рис. 8.7) при разности уровней в танках $h = 5$ м, если давление над поверхностью топлива в левом танке составляет 110 кПа, а в правом танке — 105 кПа. Определить также давление

в сечении $B-B$, если при общей длине $L = 20$ м расстояние от начала трубопровода до сечения $B-B$ равно $l = 10$ м, а диаметр трубопровода $d = 60$ мм. Шероховатость стенок трубы — 0,04 мм.

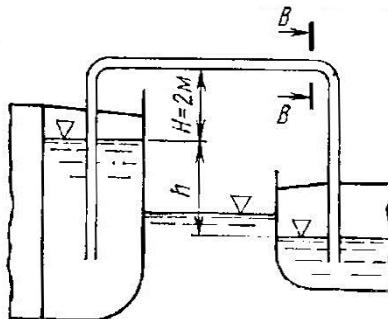


Рис. 8.7

8.20. Определить, каким должно быть давление p_1 над свободной поверхностью топлива в левом баке (рис. 8.7), чтобы оно перетекало через сифонный трубопровод с расходом $Q = 12$ л/мин, при разности уровней в танках $h = 4$ м, если диаметр трубы $d = 100$ мм; длина трубопровода 10 м; коэффициенты сопротивления входу и выходу из трубопровода $\xi_{\text{вх}} = \xi_{\text{вых}} = 0,8$; шероховатость трубы — 0,04 мм. Давление над свободной поверхностью топлива в правом баке $p_2 = 105$ кПа.

Плотность топлива 880 кг/м 3 , кинематический коэффициент вязкости топлива $\nu = 180$ сСт.

Библиографический список

1. М. К. Овсянников, Е. Г. Орлова, П. С. Емельянов. Основы гидромеханики. — М.: ТРАНСЛИТ, 2006. — 160 с.
2. Некрасов Б.Б. Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу. — М.: Высш. шк., 1989. — 192 с.
3. Нестеренко Н. В. Методические указания к решению задач и контрольное задание по гидромеханике. — Л.: ЛВИМУ, 1987. — 35 с.
4. В. Н. Скрипник. Гидромеханика: программа, методические указания и контрольные задания для студентов-заочников высших учебных заведений морского флота. — М.: «Мортехинформреклама», 1986. — 40 с.

Оглавление

Введение	3
1. Вводные сведения. Модель сплошной среды.	4
Основные физические свойства жидкостей и газов.....	4
1.1. Основные физические свойства жидких и газообразных сред ..	4
1.2. Силы, действующие в жидкости	6
2. Абсолютный и относительный покой (равновесие) жидких сред....	8
2.1. Понятие покоя	8
2.2. Гидростатическое давление и его свойства	8
2.3. Дифференциальные уравнения равновесия жидкости Эйлера ...	8
2.4. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля	9
2.5. Способы измерения давления и вакуума	9
2.6. Силы давления на плоские стенки	12
2.7. Силы давления на криволинейную поверхность	14
2.8. Закон Архимеда. Условие плавания твердых тел	17
3. Основы кинематики сплошной среды	18
3.1. Основные характеристики потока	18
3.2. Уравнение неразрывности (сплошности).....	19
4. Динамика идеальной жидкости.....	21
4.1. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости (уравнения Эйлера)	21
4.2. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости	21
5. Динамика вязкой несжимаемой жидкости	25
5.1. Уравнения движения вязкой несжимаемой жидкости	25
5.2. Уравнение Бернулли для потока вязкой жидкости	25
5.3. Подобие гидромеханических процессов	26
5.4. Режимы движения вязкой жидкости. Критические числа Рейнольдса.....	28
5.5. Понятие пограничного слоя	29
6. Практические задачи гидромеханики	30
6.1. Сопротивление движению жидкостей и газов в трубах и каналах ..	30
6.2. Сопротивление движению тел в жидкости	32
6.3. Истечение жидкости через отверстия и насадки	34
6.4. Гидравлический удар в трубах, формула Жуковского. Способы снижения ударного явления	36
Контрольные задания	38
Библиографический список	66

Гидромеханика

Методические указания и контрольные задания

Составитель **Орлова Елена Геннадьевна**, канд. техн. наук, доц.



198035, Санкт-Петербург, Межевой канал, 2
Тел.: (812) 748-97-19, 748-97-23
e-mail: izdat@gumrf.ru

Ответственный за выпуск
Компьютерная верстка

Сатикова Т. Ф.
Смирнова М. В.

Подписано в печать 10.12.2017
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman
Усл. печ. л. 4,25. Тираж 100 экз. Заказ № 584/17