

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

ГИДРАВЛИКА

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности
1-40 05 01 «Информационные системы и технологии
(по направлениям)»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2020

УДК 532
ББК 30.123
Г46

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»
«07» сентября 2020 г., протокол № 2

Составитель ст. преподаватель М. А. Рабыко

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. П. Прудников

Методические рекомендации к практическим занятиям предназначены
для студентов специальности 1-40 05 01 «Информационные системы и техно-
логии (по направлениям)» дневной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

ГИДРАВЛИКА

Ответственный за выпуск	С. Н. Хатетовский
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. Уч.-изд. л. Тираж 32 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2020

Содержание

Практическое занятие № 1. Введение в механику жидкости и газа	4
Практическое занятие № 2. Свойства жидкостей и газов.....	4
Практическое занятие № 3. Гидростатическое давление	6
Практическое занятие № 4. Средняя скорость. Расход.	
Уравнение неразрывности движения (расхода).....	8
Практическое занятие № 5. Уравнение Бернулли	9
Практическое занятие № 6. Режимы движения жидкости.....	11
Практическое занятие № 7. Гидравлические сопротивления.....	12
Практическое занятие № 8. Простой и сложный трубопроводы	13
Список литературы	16

Практическое занятие № 1. Введение в механику жидкости и газа

Рассмотреть теоретические вопросы: несжимаемая жидкость; идеальный газ; внешние и внутренние силы; объемные и поверхностные силы; напряженное состояние жидкости.

Контрольные вопросы

- 1 Что является основной физической характеристикой несжимаемой жидкости?
- 2 Дайте определение идеального газа. Свойства идеального газа.
- 3 Чему равна равнодействующая всех внутренних сил?
- 4 В чем отличие поверхностных сил от объемных?

Практическое занятие № 2. Свойства жидкостей и газов

Здесь и далее использованы материалы из [1–7].

Задача 1. Определить плотность жидкости, полученной смешиванием 10 л жидкости плотностью $\rho_1 = 900 \text{ кг/м}^3$ и 20 л жидкости плотностью $\rho_2 = 870 \text{ кг/м}^3$.

Решение

Плотность смеси находим путем деления ее массы на объем:

$$\rho = \frac{\rho_1 \cdot V_1 + \rho_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2}, \quad (1)$$

где V_1 – объем первой жидкости;
 V_2 – объем второй жидкости.

$$\rho = \frac{900 \cdot 0,01 + 870 \cdot 0,02}{0,01 + 0,02} = 880 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 2. Определить повышение давления, при котором начальный объем воды уменьшится на 1 %.

Решение

Повышение давления находим из формулы

$$\Delta p = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\beta_p}, \quad (2)$$

где $\beta_p = 4,85 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$ – коэффициент объемного сжатия для воды;
 $\Delta V/V_0 = 0,01$ (по условию задачи).

Откуда

$$\Delta p = 0,01 \cdot \frac{1}{4,85 \cdot 10^{-10}} = 2,06 \cdot 10^7 \text{ Па.}$$

Решить следующие задачи.

Задача 3. Стальной трубопровод длиной $l = 300$ м и диаметром $D = 500$ мм испытывается на прочность гидравлическим способом. Определить объем воды, который необходимо дополнительно подать в трубопровод за время испытания для подъема давления от $p_1 = 0,1$ МПа до $p_2 = 5$ МПа. Расширение трубопровода не учитывать. Объемный модуль упругости воды $E = 2060$ МПа.

Задача 4. Определить, насколько уменьшится давление масла в закрытом объеме ($V_0 = 150$ л) гидропривода, если утечки масла составили $\Delta V = 0,5$ л, а коэффициент объемного сжатия жидкости $\beta_p = 7,5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$. Деформацией элементов объемного гидропривода, в которых находится указанный объем масла, пренебречь.

Задача 5. Высота цилиндрического вертикального резервуара $h = 10$ м, его диаметр $D = 3$ м. Определить массу мазута ($\rho_0 = 920 \text{ кг/м}^3$), которую можно налить в резервуар при 15 °С, если его температура может подняться до 40 °С. Расширением стенок резервуара пренебречь, температурный коэффициент объемного расширения жидкости $\beta_t = 0,0008 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Задача 6. Кольцевая щель между двумя цилиндрами ($D = 210$ мм, $d = 202$ мм) залита трансформаторным маслом ($\rho = 910 \text{ кг/м}^3$) при температуре 20 °С. Внутренний цилиндр равномерно вращается с частотой $n = 120 \text{ мин}^{-1}$. Определить динамическую и кинематическую вязкость масла, если момент, приложенный к внутреннему цилиндру, $M = 0,065 \text{ Н}\cdot\text{м}$, а высота столба жидкости в щели между цилиндрами $h = 120$ мм. Трением основания цилиндра о жидкость пренебречь.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое жидкость?
- 2 Дайте определение сжимаемости жидкости.
- 3 Формула плотности однородной жидкости.
- 4 Определение вязкости.

Практическое занятие № 3. Гидростатическое давление

Задача 7. В сообщающиеся сосуды налиты вода ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) и бензин. Определить плотность бензина, если высота столба воды $h = 150 \text{ мм}$, а разность уровней жидкости в сосудах $a = 60 \text{ мм}$.

Решение

Во всех точках горизонтальной плоскости, проходящей в однородной жидкости, гидростатическое давление одинаково. Следовательно,

$$p_a + \rho \cdot g \cdot h = p_a + \rho_1 \cdot g \cdot (h + a), \quad (3)$$

где ρ_1 – плотность бензина.

Откуда

$$\rho_1 = \rho \cdot \frac{h}{h + a} = 1000 \cdot \frac{150}{150 + 60} = 714 \text{ кг/м}^3. \quad (4)$$

Решить следующие задачи.

Задача 8. Манометр, подключенный к закрытому резервуару с нефтью ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$), показывает избыточное давление $p_{\text{ман}} = 36 \text{ кПа}$. Определить абсолютное давление воздуха на поверхности жидкости p_0 и положение пьезометрической плоскости, если уровень нефти в резервуаре $H = 3,06 \text{ м}$, а расстояние от точки подключения до центра манометра $z = 1,02 \text{ м}$ (рисунок 1), атмосферное давление $p_a = 100 \text{ кПа}$.

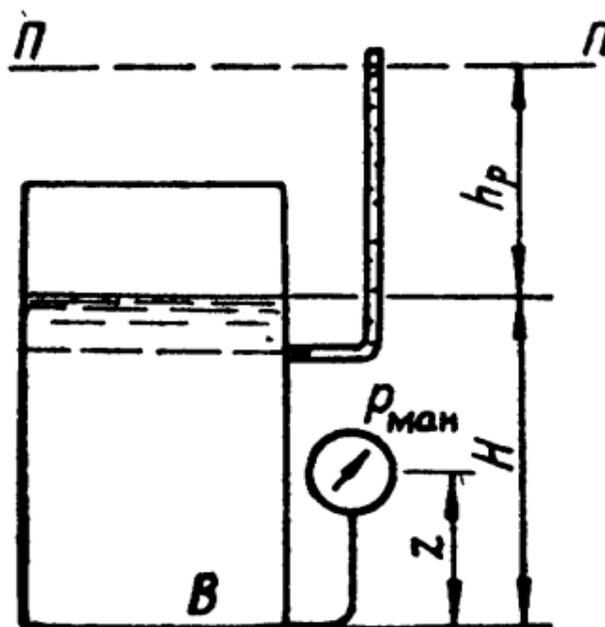


Рисунок 1 – К задаче 8

Задача 9. Поршень пружинного гидроаккумулятора диаметром $D = 250$ мм во время зарядки поднялся вверх на высоту $x = 14$ см (рисунок 2). Определить жесткость пружины c , если давление жидкости $p = 1,0$ МПа. Трением между поршнем и цилиндром и весом поршня пренебречь.

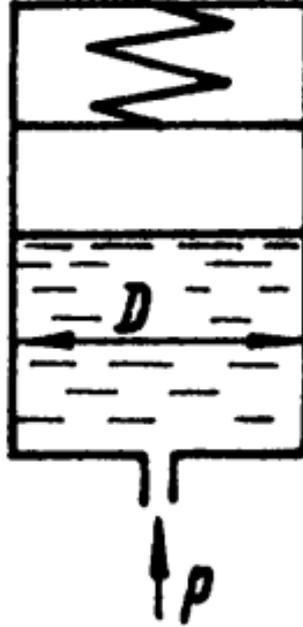


Рисунок 2 – К задаче 9

Задача 10. Определить давление масла p_1 , подводимого в поршневую полость гидроцилиндра, если избыточное давление в штоковой полости $p_2 = 80$ кПа (рисунок 3). Усилие на штоке $R = 10$ кН, сила трения поршня о цилиндр $F = 0,4$ кН, диаметр поршня $D = 125$ мм, диаметр штока $d = 70$ мм.

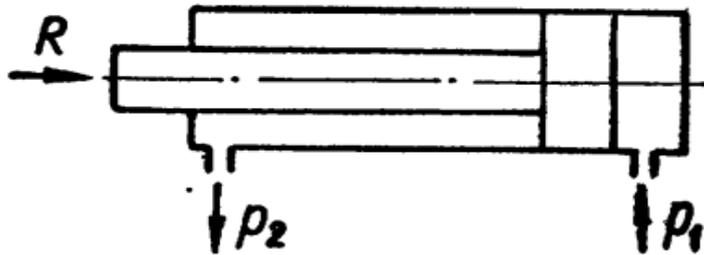


Рисунок 3 – К задаче 10

Контрольные вопросы

- 1 Что такое гидростатическое давление?
- 2 Основное уравнение гидростатики.
- 3 Что такое вакуум?
- 4 В каких единицах измеряется давление?

Практическое занятие № 4. Средняя скорость. Расход. Уравнение неразрывности движения (расхода)

Рассмотреть теоретические вопросы: уравнение неразрывности.

Задача 11. Определить расход, среднюю и максимальную скорости в поперечном сечении трубопровода диаметром $d = 250$ мм, если распределение местных скоростей по сечению описывается уравнением $u = 50(r_0^2 - r^2)$, где $r_0 = 0,5d$ – внутренний радиус трубы; r – расстояние, м, от оси трубы до точки, в которой вычисляется скорость u .

Решение

Элементарную площадку выберем в виде кольца радиусом r и шириной dr (скорости во всех ее точках одинаковы):

$$dS = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr. \quad (5)$$

Расход жидкости

$$Q = \int_S u dS = \int_0^{d/2} 50 \cdot \left(\left(\frac{d}{2} \right)^2 - r^2 \right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r dr = 19,2 \text{ л/с}. \quad (6)$$

Средняя скорость

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,0192}{3,14 \cdot 0,25^2} = 0,39 \text{ м/с}. \quad (7)$$

Максимальная скорость на оси трубы ($r = 0$)

$$u_{\max} = 50 \cdot r_0^2 = 50 \cdot \left(\frac{0,25}{2} \right)^2 = 0,78 \text{ м/с}. \quad (8)$$

Задача 12. Подача шестеренного насоса объемного гидропривода $Q = 80$ л/мин. Подобрать диаметры всасывающей, напорной и сливной гидролиний, принимая следующие расчетные скорости: для всасывающей гидролинии $v_{\text{вс}} = 0,6 \dots 1,4$ м/с; для напорной – $v_{\text{н}} = 3,0 \dots 5,0$; для сливной – $v_{\text{с}} = 1,4 \dots 2,0$ м/с.

Контрольные вопросы

- 1 Формула для определения средней скорости.
- 2 Уравнение неразрывности.
- 3 Как связаны средние скорости и площади живых сечений?

Практическое занятие № 5. Уравнение Бернулли

Задача 13. По горизонтальной трубе диаметром d_1 , имеющей сужение $d_2 = 40$ мм, движется вода (расход $Q = 6$ л/с). Определить абсолютное давление в узком сечении, если уровень воды в открытом пьезометре перед сужением $h_1 = 1,5$ м (рисунок 4). При каком расходе воды ртуть в трубке, присоединенной к трубопроводу в узком сечении, поднимется на высоту $h = 10$ см, если при этом $h_1 = 1,2$ м? Потерями напора пренебречь.

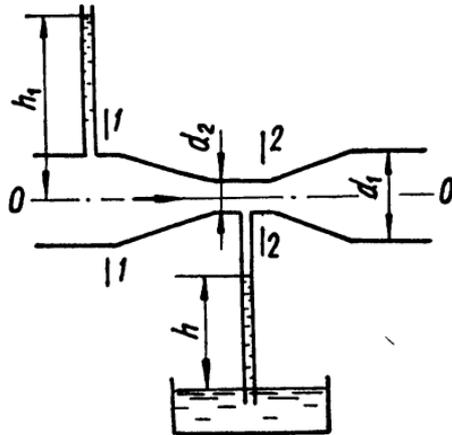


Рисунок 4 – К задаче 13

Решение

Из уравнения Бернулли для сечений 1–1 и 2–2 относительно плоскости сравнения $O-O$

$$\frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + z_1 = \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + z_2, \quad (9)$$

где $z_1 = z_2 = 0$;

$$p_1 = p_a + \rho \cdot g \cdot h_1; \quad (10)$$

$$v_1 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_1^2}; \quad (11)$$

$$v_2 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_2^2}, \quad (12)$$

находим давление в узком сечении:

$$p_2 = p_a + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{8 \cdot \rho \cdot Q^2}{\pi^2} \cdot \left(\frac{1}{d_2^4} - \frac{1}{d_1^4} \right) = 104 \text{ кПа.} \quad (13)$$

Если ртуть в трубке, присоединенной к трубопроводу в узком сечении, поднимется на высоту $h = 10$ см, то абсолютное давление в узком сечении трубопровода

$$p_2 = p_a - \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot h. \quad (14)$$

Подставляя это значение в левую часть предыдущего уравнения, выражаем и вычисляем Q .

Решить следующие задачи.

Задача 14. Выходное сечение жиклера карбюратора (рисунок 5) расположено выше уровня бензина в поплавковой камере на $\Delta h = 5$ мм, вакуум в диффузоре $p_{\text{вак}} = 12$ кПа. Пренебрегая потерями напора, найти расход бензина Q , если диаметр жиклера $d = 1$ мм. Плотность бензина $\rho = 680$ кг/м³.

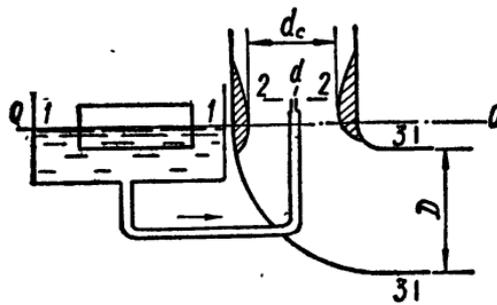


Рисунок 5 – К задаче 14

Задача 15. Определить расход бензина ($\rho = 700$ кг/м³), подаваемого по горизонтальной трубе диаметром $D = 25$ мм, в которой установлены сопло диаметром $d = 10$ мм и дифференциальный ртутный манометр, показания которого $h = 100$ мм. Потерями напора пренебречь (рисунок 6).

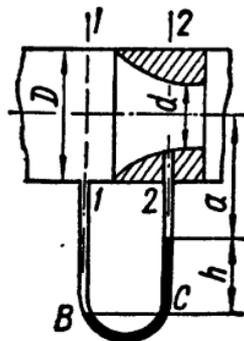


Рисунок 6 – К задаче 15

Контрольные вопросы

- 1 Что такое гидравлический и пьезометрический уклоны?
- 2 Слагаемые уравнения Бернулли с геометрической точки зрения.
- 3 Что представляет собой сумма высот в уравнении Бернулли?

Практическое занятие № 6. Режимы движения жидкости

Рассмотреть теоретические вопросы: режимы движения жидкости.

Задача 16. Индустриальное масло ИС-30, температура которого 20 °С, поступает от насоса в гидроцилиндр по трубопроводу $d = 22$ мм. Определить режим течения масла, если подача насоса $Q = 105$ л/мин.

Решение

Скорость течения масла в трубе

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 105 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 2,2^2 \cdot 60} = 461 \text{ см/с.} \quad (15)$$

При $t = 20$ °С кинематическая вязкость масла $\nu = 150$ мм²/с.
Число Рейнольдса

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{461 \cdot 2,2}{1,5} = 676 < 2300. \quad (16)$$

Следовательно, режим движения ламинарный. При переходе ламинарного режима на турбулентный число Рейнольдса равно критическому. Отсюда находим кинематическую вязкость:

$$\nu = \frac{v \cdot d}{2300} = \frac{461 \cdot 2,2}{2300} = 0,44 \text{ мм}^2/\text{с}^2. \quad (17)$$

Контрольные вопросы

- 1 Назовите режимы течения жидкости.
- 2 Что является критерием для определения режима движения жидкости?

Практическое занятие № 7. Гидравлические сопротивления

Задача 17. При прокачке бензина ($\rho = 700 \text{ кг/м}^3$) по трубе длиной $l = 5,5 \text{ м}$ и диаметром $d = 15 \text{ мм}$ падение давления в трубопроводе $\Delta p = 0,11 \text{ МПа}$. Принимая закон сопротивления квадратичным, определить эквивалентную шероховатость трубы, если расход $Q = 0,9 \text{ л/с}$.

Решение

Скорость движения жидкости

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 900}{3,14 \cdot 1,5^2} = 5,1 \text{ м/с.} \quad (18)$$

Находим коэффициент гидравлического трения:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \Delta p \cdot d}{\rho \cdot l \cdot v^2} = \frac{2 \cdot 110000}{700 \cdot 5,5 \cdot 5,1^2} = 0,033 \text{ м/с.} \quad (19)$$

Эквивалентная шероховатость

$$\Delta = d \cdot \left(\frac{\lambda}{0,11} \right)^4 = 15 \cdot \left(\frac{0,033}{0,11} \right)^4 = 0,12 \text{ м/с.} \quad (20)$$

Решить следующие задачи.

Задача 18. По трубопроводу диаметром $d = 12 \text{ мм}$ перекачивается масло индустриальное ИС-20 ($\rho = 890 \text{ кг/м}^3$) с температурой $30 \text{ }^\circ\text{С}$. Определить показание h ртутного дифференциального манометра, присоединенного к трубопроводу в двух точках, удаленных друг от друга на расстояние $l = 3 \text{ м}$, если расход масла $Q = 0,3 \text{ л/с}$ (рисунок 7).

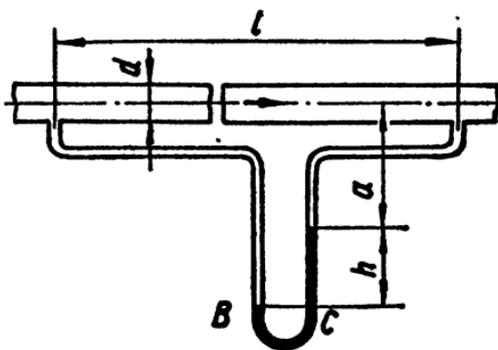


Рисунок 7 – К задаче 18

Задача 19. Определить утечку рабочей жидкости (масло МГ-30) через радиальный зазор 80 мкм между цилиндром и неподвижным поршнем, если давление с одной стороны поршня $p_1 = 4$ МПа, с другой – $p_2 = 0,5$ МПа, ширина поршня $l = 40$ мм, диаметр поршня $D = 60$ мм, температура жидкости 50 °С.

Задача 20. Рабочая жидкость – масло ИС-20 (температура 50 °С) подводится в поршневую полость гидроцилиндра (рисунок 10). Определить давление p_1 и расход масла Q , при котором скорость перемещения $v_n = 2$ см/с, если утечка рабочей жидкости через кольцевой зазор $\delta = 60$ мкм между цилиндром и поршнем $q = 5$ см³/с, диаметр поршня $D = 100$ мм, ширина поршня $l = 70$ мм, $p_2 = 80$ кПа. Чему будет равно усилие на штоке R , если диаметр штока $d = 50$ мм? Трением в гидроцилиндре пренебречь.

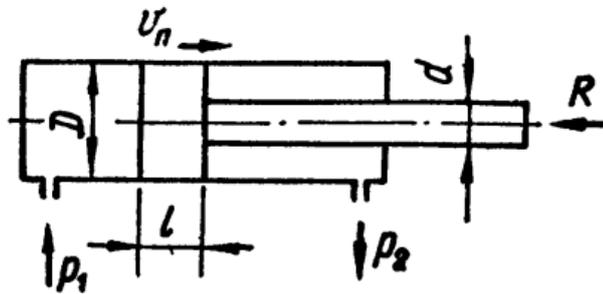


Рисунок 8 – К задаче 20

Контрольные вопросы

- 1 Назовите виды потерь напора.
- 2 Как зависят потери напора на трение от длины трубопровода?
- 3 Как зависят потери напора на трение от диаметра трубопровода?
- 4 Как определяется коэффициент Дарси для ламинарного режима движения в круглой трубе?
- 5 Области гидравлических сопротивлений.

Практическое занятие № 8. Простой и сложный трубопроводы

Задача 21. Всасывающий трубопровод насоса имеет длину $l = 5$ м и диаметр $d = 32$ мм, высота всасывания $h = 0,8$ м (рисунок 9). Определить давление в конце трубопровода (перед насосом), если расход масла ($\rho = 890$ кг/м³, $\nu = 10$ мм²/с), $Q = 50$ л/мин, коэффициент сопротивления колена $\zeta_k = 0,3$, вентиля $\zeta_v = 4,5$, фильтра $\zeta_f = 10$.

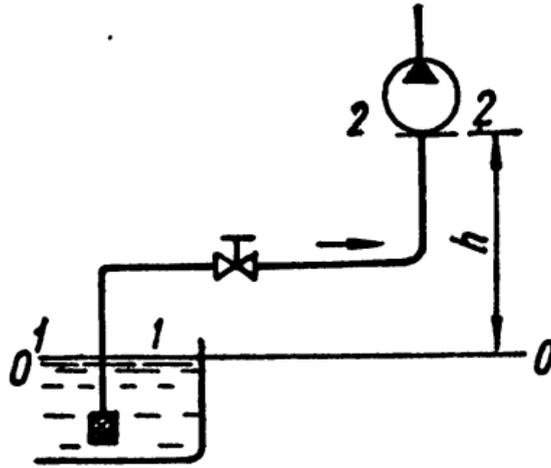


Рисунок 9 – К задаче 21

Решение

Определяем скорость, число Рейнольдса и коэффициент гидравлического трения по длине при расходе $Q = 833 \text{ см}^3/\text{с}$:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 833}{3,14 \cdot 3,2^2} = 104 \text{ см/с}; \quad (21)$$

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{104 \cdot 3,2}{0,1} = 3330; \quad (22)$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}} = \frac{0,3164}{3330^{0,25}} = 0,042. \quad (23)$$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений

$$\sum \zeta = \zeta_{\phi} + 2 \cdot \zeta_{\kappa} + \zeta_{\text{в}} = 10 + 2 \cdot 0,3 + 4,5 = 15,1. \quad (24)$$

Потери напора во всасывающем трубопроводе

$$h_{\text{п}} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 1,2 \text{ м}. \quad (25)$$

Принимая во внимание, что $v_1 = 0$, $p_1 = p_a = 10^5 \text{ Па}$, $z_1 = 0$, $v_2 = 1,04 \text{ м/с}$, $z_2 = h$, $h_{\text{п}} = 1,2 \text{ м}$, $\alpha = 1$, из уравнения Бернулли находим давление перед насосом:

$$p_2 = p_a - \rho \cdot g \cdot (h + h_{\text{п}}) - \frac{\rho}{2} \cdot v_2^2 = 82000 \text{ Па}. \quad (26)$$

Решить следующие задачи.

Задача 22. Определить диаметр напорной гидролинии объемного гидропривода (рисунок 10), по которой масло подается насосом 3 через обратный гидроклапан 4 и гидрораспределитель 5 в гидроцилиндр 6, если общая длина гидролинии $l = 7,3$ м, потеря давления в ней $\Delta p = 0,1$ МПа, подача насоса $Q = 94$ л/мин. Рабочая жидкость имеет плотность $\rho = 880$ кг/м³, кинематическую вязкость $\nu = 10$ мм²/с. В расчетах учесть коэффициенты местных сопротивлений: обратного гидроклапана ($\zeta_{\text{кл}} = 2$), колена ($\zeta_{\text{к}} = 0,33$), гидрораспределителя ($\zeta_{\text{р}} = 2,5$). Вертикальным расстоянием между насосом 3 и гидроцилиндром 6 пренебречь. Трубы – гладкие.

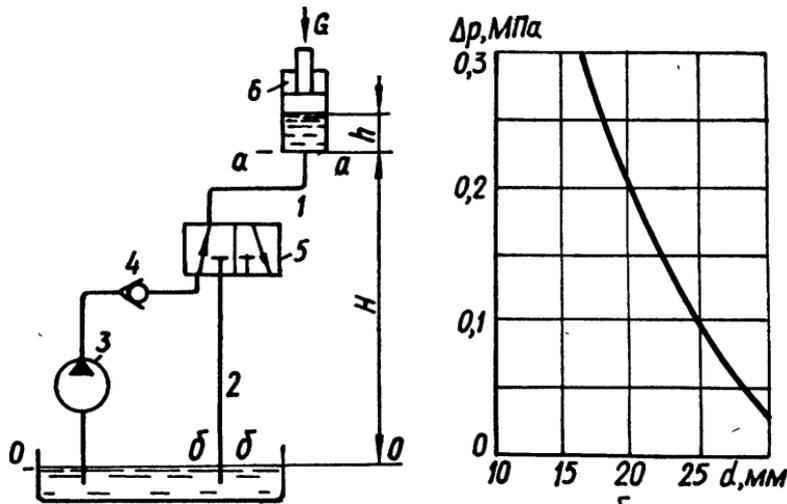


Рисунок 10 – К задаче 22

Задача 23. Насос перекачивает нефть ($\rho = 900$ кг/м³, $\nu = 140$ мм³/с) по трубопроводу длиной $l = 3700$ м и диаметром $d = 100$ мм. Какое давление p_1 должен создавать насос в начале трубопровода, если его конечное сечение расположено выше начального на величину $h = 37$ м, давление на выходе атмосферное, а подача насоса $Q = 36$ м³/ч? Определить длину последовательно включенной вставки диаметром $D = 150$ мм, при которой в трубопроводе сохранится тот же расход нефти, если давление в начале трубопровода станет равным 2,0 МПа. Потерями напора в местных сопротивлениях пренебречь.

Задача 24. Произвести проверку на прочность стальной трубы диаметром $d = 200$ мм, в которой возможен прямой гидравлический удар. Толщина стенок трубы $\delta = 4$ мм, допустимое напряжение на растяжение $[\sigma] = 140$ МПа, скорость движения воды $v_0 = 5$ м/с, давление до удара $p_0 = 0,25$ МПа.

Контрольные вопросы

- 1 Определение простого трубопровода.
- 2 Определение сложного трубопровода.

- 3 Транзитный и путевой расход жидкости.
- 4 Как делятся трубопроводы в зависимости от характера сопротивлений?

Список литературы

- 1 **Сазанов, И. И.** Гидравлика: учебник / И. И. Сазанов, А. Г. Схиртладзе, В. И. Иванов. – Москва: КУРС; ИНФРА-М, 2017. – 320 с.
- 2 **Гусев, А. А.** Гидравлика: учебник для академ. бакалавриата / А. А. Гусев. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2017. – 285 с.
- 3 Гидравлика : учебник и практикум для академ. бакалавриата / В. А. Кудинов [и др.] ; под ред. В. А. Кудинова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2018. – 386 с.
- 4 Примеры расчетов по гидравлике : учебное пособие / А. Д. Альтшуль [и др.] ; под ред. А. Д. Альтшуля. – Москва : Альянс, 2016. – 255 с.
- 5 Гидравлика : учебник: в 2 т. Т. 1 : Основы механики жидкостей и газов / В. И. Иванов [и др.]. – Москва : Академия, 2012. – 192 с.
- 6 Гидравлика : учебник: в 2 т. Т. 2 : Гидравлические машины и приводы / В. И. Иванов [и др.]. – Москва : Академия, 2012. – 288 с.
- 7 **Вакина, В. В.** Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов / В. В. Вакина, И. Д. Денисенко, А. Л. Столяров. – Киев: Вища школа, 1986. – 208 с.