

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)

А. Д. Грига, Г. Б. Потапова

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

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ И ГИДРОПРИВОДА
(для заочной формы обучения)

Учебное пособие

РПК «Политехник»

Волгоград 2008

УДК 556.556

Рецензенты:

Филиал ГОУВПО «Московский энергетический институт (технический университет)» в г. Волжском, доцент кафедры «Тепловые электрические станции», канд. техн. наук Староверов В. В.

Волжский институт Строительства и технологий (филиал) Волгоградского архитектурно-строительного университета, доцент кафедры «Технология машиностроения и стандартизации», канд. техн. наук С. А. Поляков.

Грига А. Д., Потапова Г. Б.

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ И ГИДРОПРИВОДА (для заочной формы обучения):

Учебное пособие / Волг ГТУ. -Волгоград, 2008. – 40 с.

ISBN 5-230-

Учебное пособие по дисциплине «Основы гидравлики и гидропривода» содержит программу курса, примеры решения контрольных заданий, варианты заданий и вопросы для самопроверки.

Предназначено для самостоятельной работы студентов по специальности 1502, заочной формы обучения, сокращенной программы на базе среднего профессионального образования «Автомобили и автомобильное хозяйство»

Ил. 8. Табл. 14. Библиогр.: 11 назв.

ISBN 5-230-

Печатается по решению редакционно-издательского совета Волгоградского государственного технического университета

© Волгоградский государственный
технический университет, 2008

1. ПРОГРАММА КУРСА

1.1. Жидкость и ее свойства

1. Функции, свойства и виды рабочих жидкостей в гидроприводах.
2. Силы, действующие на жидкость.
3. Давление, единицы измерения, способы измерения давления.
4. Физические свойства жидкостей: сжимаемость, тепловое расширение, вязкость, испаряемость жидкостей, растворимость газов в жидкостях.

1.2. Гидростатика

1. Закон Паскаля, основное уравнение гидростатики.
2. Определение давления в любой точке покоящейся жидкости.
3. Построение эпюр давления.
4. Определение сил давления на плоские и криволинейные стенки.

1.3. Гидродинамика

1. Режимы течения жидкостей: ламинарный, турбулентный, число Рейнольдса.
2. Расход, уравнение неразрывности потока.
3. Уравнение Бернулли, энергетическая и геометрическая интерпретация уравнения Бернулли.
4. Построение энергетических линий.
5. Потери энергии, виды потерь, расчет потерь.
6. Применение уравнения Бернулли для расчета простого трубопровода.
7. Основные расчетные задачи.

1.4. Источники энергии в гидроприводе и гидродвигателе

1. Насосы, гидродвигатели, гидропередачи, классификация.
2. Основные параметры насосов: подача, идеальная подача, напор, давление, мощность, КПД, характеристики насосов.
3. Центробежные насосы, устройство, принцип действия, характеристики.
4. Поршневые насосы, устройство, принцип действия, характеристики.
5. Роторные насосы (аксиально-поршневой, радиально - поршневой, пластинчатый, шестеренный), устройство, принцип действия, характеристики.
6. Работа насоса в насосной установке (работа на сеть), определение рабочей точки насоса.
7. Параллельная и последовательная работа насосов.
8. Гидродвигатели: гидромоторы, гидроцилиндры, поворотные гидродвигатели, устройство, принцип действия.

1.5. Объемный гидропривод и его использование

1. Структура объемного гидропривода.
2. Регулирующая, рабочая и вспомогательная аппаратура.
3. Основные схемы объемного гидропривода: с разомкнутой циркуляцией, замкнутой циркуляцией рабочей жидкости.
4. Способы регулирования объемного гидропривода.

2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

2.1. Общие указания

1. Объем контрольной работы – 4 задачи.
2. Прежде, чем приступить к выполнению расчетов, необходимо ознако-

миться с содержанием контрольной работы, проработать теоретический материал и ответить на вопросы для самопроверки.

3. Вариант заданий определяется порядковым номером в списке группы (см. таблицу, соответствующую номеру задачи).

4. Оформление контрольной работы – в тетради, с регистрацией в деканате.

5. Выполненная и оформленная работа должна содержать:

а) номер варианта и исходные данные для расчета;

б) расчетные формулы и подробный ход решения;

в) рисунки и графики, в соответствии с заданием.

2.2. Задача 1

Трубопровод с расходом жидкости $Q = 0,32 \text{ л/с}$ в точке M разветвляется на два трубопровода (рис.1): первый имеет длину $L_1 = 1 \text{ м}$ и внутренний диаметр $d_1 = 10 \text{ мм}$, второй – $L_2 = 2 \text{ м}$, $d_2 = 8 \text{ мм}$.

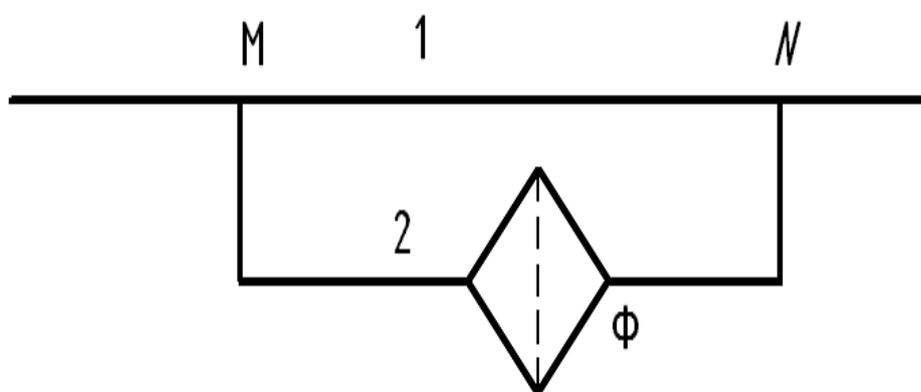


Рис.1. Схема трубопровода

В точке N трубопроводы 1 и 2 соединяются.

Во втором трубопроводе установлен фильтр Φ , сопротивление которого эквивалентно трубе длиной $L_3 = m d_2 = 200 d_2$.

Определить расход Q и потерю давления $\Delta p_{ном}$ в каждом трубопроводе,

если плотность жидкости $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$, кинематическая вязкость жидкости $\nu = 1 \text{ Ст} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

Варианты заданий представлены в табл. 6.

Решение

Анализ физических свойств рабочей жидкости позволяет сделать вывод о том, что в системе находится индустриальное масло марки И-100 (см. приложение табл.П.1). Известно, что для масел в трубопроводах характерен ламинарный режим течения. В этом случае потери напора в трубопроводе линейно зависят от расхода и рассчитываются по формуле:

$$h = KQ,$$

где $K = 128 \frac{\nu L_{\text{расч.}}}{\pi g d^4}$ - коэффициент сопротивления трубопровода;

$L_{\text{расч}} = L + L_э$ - расчетная длина трубопровода;

$L_э$ - эквивалентная длина трубы.

Для первого трубопровода

$$K_1 = 128 \frac{1 \cdot 10^{-4} \cdot 1}{3,14 \cdot 9,81 \cdot 0,01^4} = 41600.$$

Для второго трубопровода

$$K_2 = 128 \frac{1 \cdot 10^{-4} \cdot 2}{3,14 \cdot 9,81 \cdot 0,008^2} = 365000.$$

Задаем произвольные значения расхода Q , строим характеристики трубопроводов 1 и 2 $h = KQ$, как показано на рис.2. Строим суммарную характеристику 1+2 параллельно работающих трубопроводов (при постоянных значениях h , произвольно взятых, и суммируем расходы Q_1 и Q_2).

По заданному значению $Q = 0,32 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ находим точку E на суммарной характеристике и графическим способом определяем искомые расходы

$$Q_1 = 0,28 \cdot 10^{-3} \text{ и } Q_2 = 0,04 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

и потери напора в трубопроводах $h = h_1 = h_2 = 11,3 \text{ м}$.

Определяем потери давления в параллельных трубопроводах

$$\Delta p_{nom} = \rho gh = 900 \cdot 9,81 \cdot 11,3 = 1 \cdot 10^5 \text{ Па} = 0,1 \text{ МПа}.$$

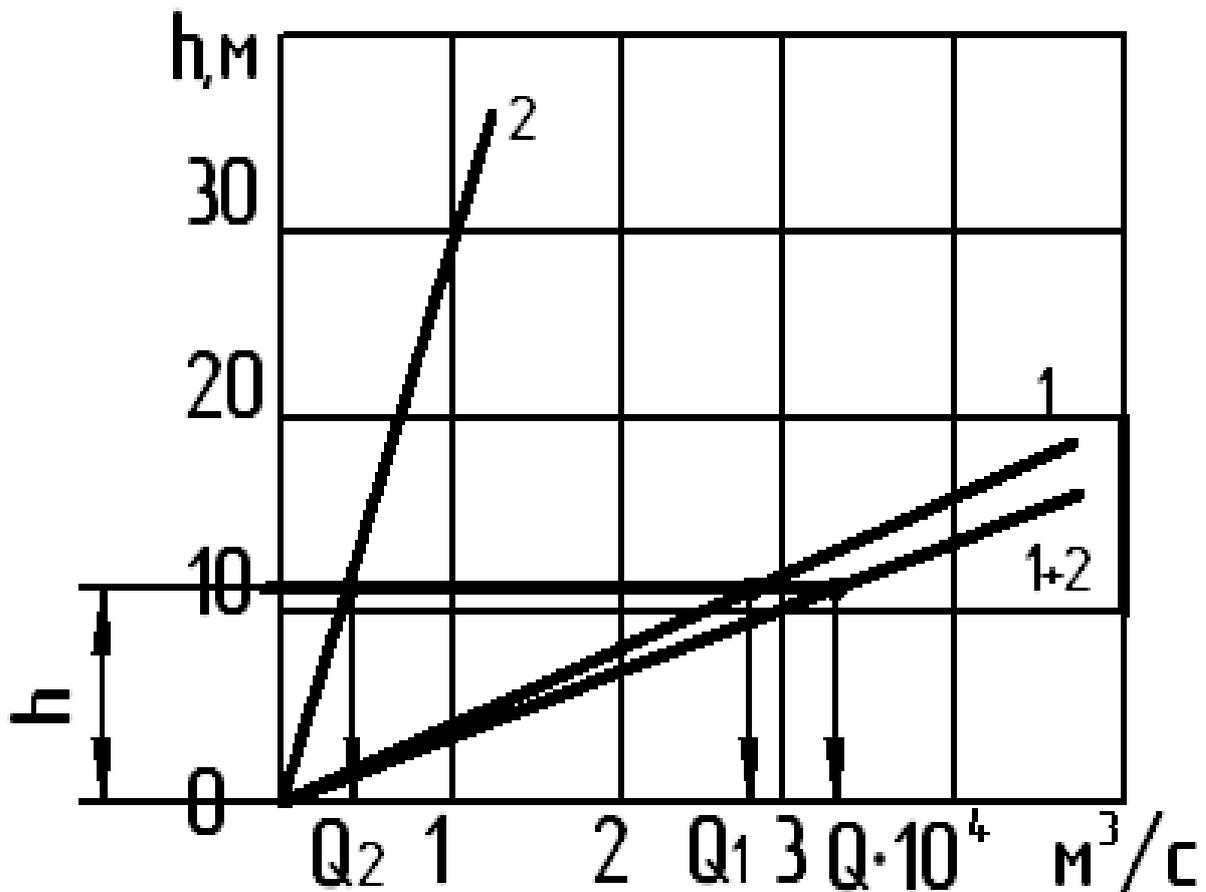


Рис. 2. Характеристики трубопроводов

Проверяем режим течения.

Скорость движения жидкости в первом трубопроводе с наименьшим расходом

$$V_1 = \frac{Q_1}{s_1} = \frac{4Q_1}{\pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 0,28 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,01^2} = 3,6 \text{ м/с}.$$

Число Рейнольдса

$$Re_1 = \frac{V_1 d_1}{\nu} = \frac{3,6 \cdot 0,01}{1 \cdot 10^{-4}} = 360 < 2320.$$

Следовательно, режим течения масла в первом трубопроводе как и предполагалось – ламинарный.

2.3. Задача 2

Питание резервуаров *A* и *B* с постоянными и одинаковыми отметками уровней 5м осуществляется подачей воды из магистрального трубопровода длиной L_1 , внутренним диаметром d_1 в распределительные трубы с параметрами L_2, d_2 и L_3, d_3 с местным сопротивлением ζ_3 (рис.3). Материал труб - сталь сварная новая. Потерями в поворотах пренебречь.

Коэффициенты гидравлического трения принять равными:

$$\lambda_1 = 0,025, \lambda_2 = \lambda_3 = 0,02.$$

Определить расходы Q_1 и Q_2 , поступающие в резервуары, если давление в магистральном трубопроводе по манометру на уровне нулевой отметки равно M .

Варианты заданий представлены в табл. 7.

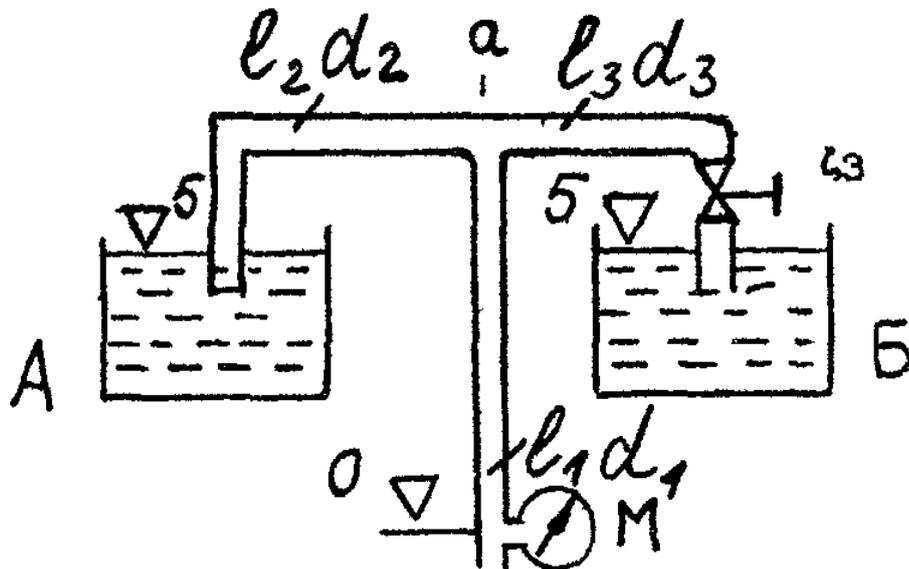


Рис. 3. Схема трубопровода

2.3.1. Аналитическое решение задачи

Упрощенная расчетная схема трубопровода изображена на рис. 4.

Рассматриваемая схема представляет собой сложный трубопровод. Для решения задачи необходимо разбить его на простые трубопроводы постоянного сечения.

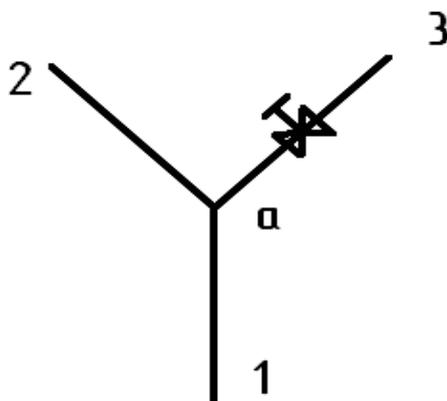


Рис. 4. Расчетная схема трубопровода

Полный напор в сечении 1-1:

$$H_{1-1} = Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}.$$

Участок 1-*a*:

$$H_{1-1} = H_{a-a} + h_{1-a},$$

где h_{1-a} - потери напора.

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_a + \frac{p_a}{\rho g} + \frac{\alpha_a V_a^2}{2g} + \lambda_1 \frac{L_1}{d_1} \frac{V_1^2}{2g}. \quad (1)$$

Участок *a*-2:

$$Z_a + \frac{p_a}{\rho g} + \frac{\alpha_a V_a^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \lambda_2 \frac{L_2}{d_2} \frac{V_2^2}{2g}. \quad (2)$$

Участок *a*-3:

$$Z_a + \frac{p_a}{\rho g} + \frac{\alpha_a V_a^2}{2g} = Z_3 + \frac{p_3}{\rho g} + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} + \lambda_3 \frac{L_3}{d_3} \frac{V_3^2}{2g} + \zeta_3 \frac{V_3^2}{2g}. \quad (3)$$

Из уравнения (1) определим полный напор в сечении *a-a* и подставим его в уравнения (2) и (3). Получим систему из двух уравнений:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \lambda_1 \frac{L_1}{d_1} \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \lambda_2 \frac{L_2}{d_2} \frac{V_2^2}{2g} \quad (4)$$

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \lambda_1 \frac{L_1}{d_1} \frac{V_1^2}{2g} = Z_3 + \frac{p_3}{\rho g} + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} + \lambda_3 \frac{L_3}{d_3} \frac{V_3^2}{2g} + \zeta_3 \frac{V_3^2}{2g} \quad (5)$$

Преобразуем уравнения (4) и (5), выделив статические напоры:

$$Z_1 - Z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} - (\lambda_1 \frac{L_1}{d_1} - \alpha_1) \frac{V_1^2}{2g} = (\alpha_2 + \lambda_2 \frac{L_2}{d_2}) \frac{V_2^2}{2g} \quad (6)$$

$$Z_1 - Z_3 + \frac{p_1 - p_3}{\rho g} - (\lambda_1 \frac{L_1}{d_1} - \alpha_1) \frac{V_1^2}{2g} = (\alpha_3 + \lambda_3 \frac{L_3}{d_3} + \zeta_3) \frac{V_3^2}{2g} \quad (7)$$

Введем обозначения:

$$Z_1 - Z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} = H_{cm.1-2}; \quad (8)$$

$$Z_1 - Z_3 + \frac{p_1 - p_3}{\rho g} = H_{cm.1-3}. \quad (9)$$

Выразим значения скоростей через соответствующие расходы жидкости.

Учитывая, что $V_1 = \frac{Q_1}{s_1} = \frac{4Q_1}{\pi d_1^2}$, где $s_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$, уравнения (6) и (7) запишем в виде:

$$H_{cm.1-2} - K_1 Q_1^2 = K_2 Q_2^2; \quad (8)$$

$$H_{cm.1-3} - K_1 Q_1^2 = K_3 Q_3^2, \quad (9)$$

где K_1 , K_2 и K_3 – коэффициенты сопротивления трубопроводов.

$$K_1 = (\lambda_1 \frac{L_1}{d_1} - \alpha_1) \frac{8}{g \pi^2 d_1^4};$$

$$K_2 = (\alpha_2 + \lambda_2 \frac{L_2}{d_2}) \frac{8}{g \pi^2 d_2^4};$$

$$K_3 = (\alpha_3 + \lambda_3 \frac{L_3}{d_3} + \zeta_3) \frac{8}{g \pi^2 d_3^4}.$$

Уравнение баланса расходов:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3. \quad (10)$$

Согласно схеме трубопровода:

$$Z_1 - Z_2 = Z_1 - Z_3.$$

Из условий задачи:

$$p_2 = p_3 = p_{атм}; \quad H_{cm.1-2} = H_{cm.1-3} = H_{cm}.$$

Из уравнений (8) и (9) следует, что $K_2 Q_2^2 = K_3 Q_3^2$, тогда

$$Q_2 = Q_3 \sqrt{\frac{K_3}{K_2}}. \quad (11)$$

Подставив выражение (11) в уравнение (10), получаем

$$Q_1 = Q_3 \left(1 + \sqrt{\frac{K_3}{K_2}}\right). \quad (12)$$

Подставим выражение (12) в уравнение (9), получаем

$$H_{cm1-3} - K_1 * Q_1^2 = K_3 \frac{Q_1^2}{\left(1 + \sqrt{\frac{K_3}{K_2}}\right)^2}. \quad (13)$$

Отсюда

$$Q_1 = \sqrt{\frac{H_{cm}}{K_1 + \frac{K_3}{\left(1 + \sqrt{\frac{K_3}{K_2}}\right)^2}}}. \quad (14)$$

2.3.2. Расчет

Дано: $L_1 = 45 \text{ м}$, $L_2 = 30 \text{ м}$, $L_3 = 35 \text{ м}$; $d_1 = 55 \text{ мм}$; $d_2 = 45 \text{ мм}$; $d_3 = 43 \text{ мм}$;
 $M = 6 \text{ кгс/см}^2$, $\zeta_3 = 2,7$.

Статический напор

$$H_{cm} = Z_1 - Z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} = 0 - 5 + \frac{M + p_a - p_a}{\rho g} = -5 + 6 * 10 = 55 \text{ м}.$$

Сделаем предположение о том, что режим течения в системе трубопроводов турбулентный. Тогда $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1$.

$$K_1 = \left(0,025 \frac{45}{0,055} - 1\right) \frac{8}{9,8 * 3,14^2 * 0,055^4} = 178900;$$

$$K_2 = \left(1 + 0,02 \frac{30}{0,045}\right) \frac{8}{9,8 * 3,14^2 * 0,045^4} = 289400;$$

$$K_3 = \left(1 + 0,02 \frac{35}{0,043} + 2,7\right) \frac{8}{9,8 * 3,14^2 * 0,043^4} = 483800;$$

$$Q_1 = \sqrt{\frac{55}{178900 + \frac{483800}{(1 + \sqrt{\frac{483800}{289000}})^2}}} = 0,01425 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_3 = \frac{0,01425}{(1 + \sqrt{\frac{483800}{289400}})} = 0,006215 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{483800}{289400}} \cdot 0,006215 = 0,008036 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Проверка: $Q_1 = Q_2 + Q_3 = 0,006215 + 0,008036 = 0,01425 \text{ м}^3/\text{с}$.

Проверим режим течения в трубопроводе с наименьшим расходом.

$$V_3 = \frac{4Q_3}{\pi d_3^2} = \frac{4 \cdot 0,006215}{3,14 \cdot 0,043^2} = 4,28 \text{ м}.$$

Число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{V_3 d_3}{\nu} = \frac{4,28 \cdot 0,043}{1 \cdot 10^{-6}} = 184000,$$

где $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – кинематическая вязкость воды при 20°C (см. приложение, табл. П.1).

Делаем вывод, что режим течения турбулентный, т.е. значение α выбрано правильно.

2.3.3. Графическое решение задачи

Гидравлические характеристики трубопроводов:

$$h_1 = K_1 Q_1^2; h_2 = K_2 Q_2^2; h_3 = K_3 Q_3^2.$$

Задаем значения Q , считаем h_1, h_2, h_3 и результаты расчетов сводим в табл. 1.

По вычисленным значениям h_1, h_2, h_3 для каждого значения Q строим гидравлические характеристики трубопроводов (рис.5). Участки трубопровода 2 и 3 – параллельны, их суммарную характеристику находим, исходя из вышеизложенного, т.е. сложением абсцисс при каждом фиксированном напоре (рис.5, характеристика 2+3). Участки трубопровода 1 и 2+3 можно

рассматривать как работающие последовательно, их общая характеристика 1+(2+3) построена суммированием ординат при фиксированных расходах.

Таблица 1

Характеристики трубопроводов

| $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ | $h_1, \text{ м}$ | $h_2, \text{ м}$ | $h_3, \text{ м}$ |
|---------------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,002 | 0,715 | 1,158 | 1,935 |
| 0,004 | 2,862 | 4,630 | 7,740 |
| 0,006 | 6,440 | 10,420 | 17,420 |
| 0,008 | 11,450 | 18,520 | 30,960 |
| 0,010 | 17,890 | 28,940 | 48,380 |
| 0,012 | 25,760 | 41,670 | 69,670 |
| 0,014 | 35,600 | - | - |

Из графика видно, что при $H_{cm} = 55 \text{ м}$ (точка *A*) $Q_1 = 0,01425 \text{ м}^3/\text{с}$ (точка *B*). На горизонтали, проходящей через точку *C*, находим точки *D* и *E* и затем режимы работы параллельных участков трубопроводов 2 и 3 (точки *K* и *L* соответственно).

Сравним результаты расчетов и построений:

$Q_3 = 0,006215 \text{ м}^3/\text{с}$ (аналитически), $Q_3 = 0,0062 \text{ м}^3/\text{с}$ (графически);

$Q_2 = 0,008036 \text{ м}^3/\text{с}$ (аналитически), $Q_2 = 0,0080 \text{ м}^3/\text{с}$ (графически).

Допускаемая погрешность аналитического и графического решений – до 5%.

Определим относительную погрешность.

$$\delta_2 = \frac{|Q_{2\text{расч}} - Q_{2\text{гр}}|}{Q_{2\text{расч}}} 100\% = \frac{0,008036 - 0,008}{0,008036} 100 = 0,45\% < 5\%;$$

$$\delta_3 = \frac{|Q_{3\text{расч}} - Q_{3\text{гр}}|}{Q_{3\text{расч}}} 100\% = \frac{0,006215 - 0,0062}{0,006215} 100 = 0,24\% < 5\%.$$

Видно, что сходимость аналитического и графического решений - хорошая.

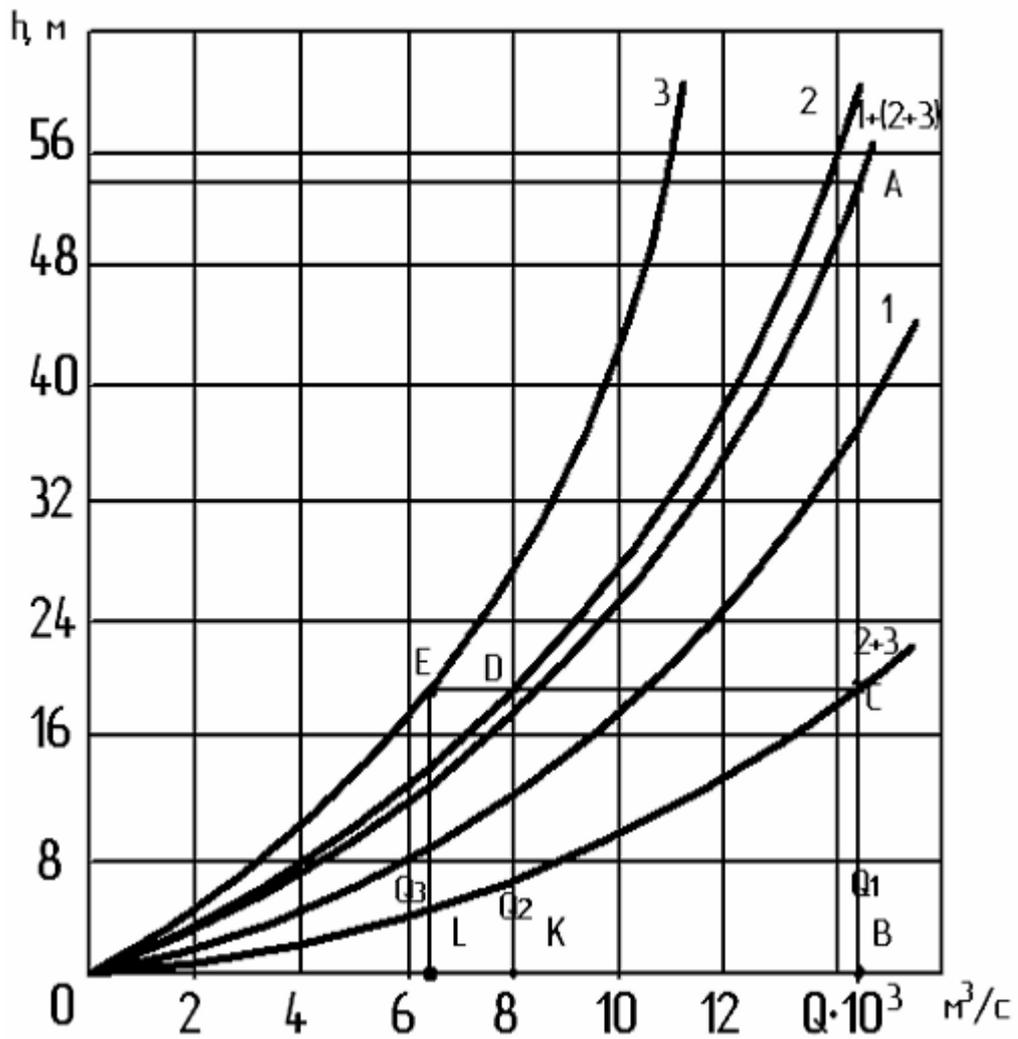


Рис. 5. Графическое решение задачи

2.4. Задача 3

Центробежный насос, с заданной при $n = 1600$ об/мин характеристикой, перекачивает воду по трубопроводу на высоту H_p . Давление по манометру M на уровне H_p задано. Схема насосной установки представлена на рис.6.

Таблица 2

Исходные данные

| $H_p, м$ | $L_1, м$ | $d_1, мм$ | $\sum \zeta_1$ | λ_1 | $L_2, м$ | $d_2, мм$ | $\sum \zeta_2$ | λ_2 | $M, кгс/см^2$ |
|----------|----------|-----------|----------------|-------------|----------|-----------|----------------|-------------|---------------|
| 5 | 12 | 75 | 3 | 0,02 | 25 | 50 | 5 | 0,08 | 0,6 |

Таблица 3

Табличные характеристики насоса

| | | | | | | | | | | | |
|------------------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $Q, \text{ л/с}$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 |
| $H_n, \text{ м}$ | 15 | 15,4 | 15,6 | 15,7 | 15,7 | 15,7 | 15,6 | 15,5 | 15,3 | 15,2 | 14,9 |
| $\eta, \%$ | 0 | 15 | 32 | 45 | 50 | 56 | 62 | 66 | 68 | 72 | 73 |

| | | | | | | | | | |
|------------------|------|----|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| $Q, \text{ л/с}$ | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| $H_n, \text{ м}$ | 14,7 | 14 | 13,3 | 12,4 | 11,3 | 10,1 | 8,8 | 7,3 | 5,7 |
| $\eta, \%$ | 75 | 77 | 76 | 73 | 66 | 58 | 48 | - | - |

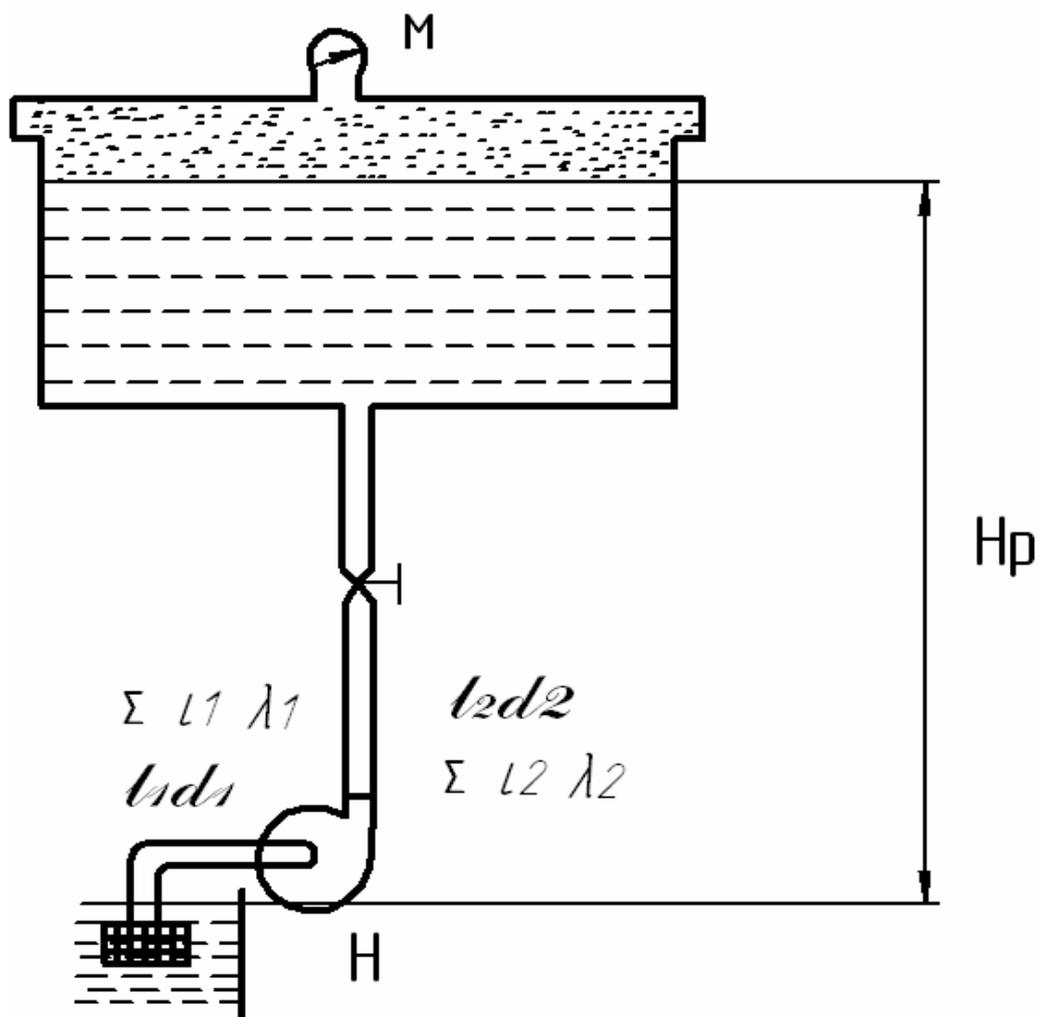


Рис. 6. Схема насосной установки

Графические характеристики насоса показаны на рис. 7.

Определить:

- 1) подачу насоса Q_H ; напор насоса H_H ; потребляемую мощность насоса N_H ;
- 2) частоту вращения насоса n_1 об/мин, необходимую для увеличения подачи на 50%, и потребляемую при этом мощность.

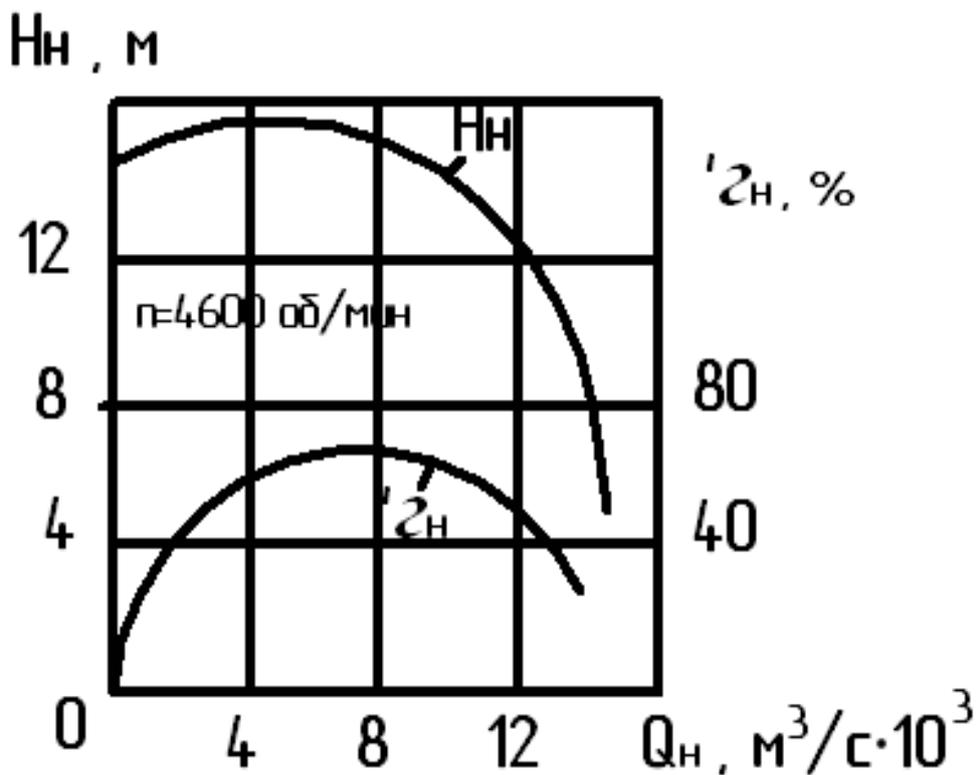


Рис. 7. Характеристики насоса

Аналитические характеристики насоса:

$$H_H = 15 + Q (458 - 72\,000 Q) \text{ при } n = 1600 \text{ об/мин.}$$

Варианты заданий представлены в табл. 8.

Решение

Строим характеристики насоса $H_H = f(Q)$ и $\eta = f(Q)$.

Расчетные формулы:

1. Статический напор насоса

Уравнение Бернулли для сечений (0-0) и (1-1)

$$Z_o + \frac{P_o}{\rho g} + \alpha \frac{V_o^2}{2g} + H_{CT} = Z_p + \frac{P_p}{\rho g} + \alpha \frac{V_p^2}{2g};$$

$$H_{CT} = (Z_p - Z_o) + \frac{P_p - P_o}{\rho g} = H_p + M \cdot 10 \quad \left| \begin{array}{l} P_o = P_{атм} \\ V_o = 0 \\ V_p = 0 \end{array} \right.$$

2. Потребный напор в сети

$$H_{номп} = H_{CT} + KQ^2,$$

где $K = K_1 + K_2$ - суммарный коэффициент сопротивления трубопровода.

Так как в трубопроводах для перекачивания жидкостей обычно режим течения жидкости турбулентный, принимаем $\alpha = 1$.

$$H_{CT} = H_p + M \cdot 10 = 5 + 0,6 \cdot 10 = 11 \text{ м};$$

$$K_1 = (\alpha + \lambda_1 \frac{L_1}{d_1} + \sum \zeta_1) \frac{8}{g\pi^2 d_1^4} = (1 + 0,02 \cdot 12 / 0,075 + 3) \cdot 8 / (\pi^2 \cdot 0,075^4 \cdot 9,8) = 18840;$$

$$K_2 = (\alpha + \lambda_2 \frac{L_2}{d_2} + \sum \zeta_2) \frac{8}{g\pi^2 d_2^4} = (1 + 0,08 \cdot 25 / 0,05 + 5) \cdot 8 / (\pi^2 \cdot 0,05^4 \cdot 9,81) = 608750;$$

$$K = K_1 + K_2 = 627590.$$

3. Определение параметров насоса в рабочей точке

В рабочем диапазоне задаемся значениями расхода Q , считаем значения $H_{номп}$ и результаты расчетов сводим в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчетов

| $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ | $h, \text{ м}$ | $H_{номп}, \text{ м}$ |
|---------------------------|----------------|-----------------------|
| 0,001 | 0,628 | 11,63 |
| 0,002 | 2,510 | 13,51 |
| 0,003 | 5,650 | 16,65 |
| 0,004 | 10,04 | 21,04 |
| 0,006 | 22,59 | 33,59 |
| 0,008 | 40,17 | 51,17 |

Строим линию потребных напоров (рис.8.). На пересечении напорных характеристик насоса и потребных напоров находим рабочую точку *A*:

$$Q_A = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}; H_A = 15,7 \text{ м.}$$

Полезная мощность насоса

$$N_A = \rho g Q_A H_A = 1000 \cdot 9,8 \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 15,7 = 415 \text{ Вт.}$$

Мощность, потребляемая насосами

$$N = \frac{N_A}{\eta} = \frac{415}{0,4} = 1040 \text{ Вт.}$$

Определение новой частоты вращения n_1

$$Q_1 = 1,5 Q_A = 1,5 \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} = 4,05 \text{ м}^3/\text{с.}$$

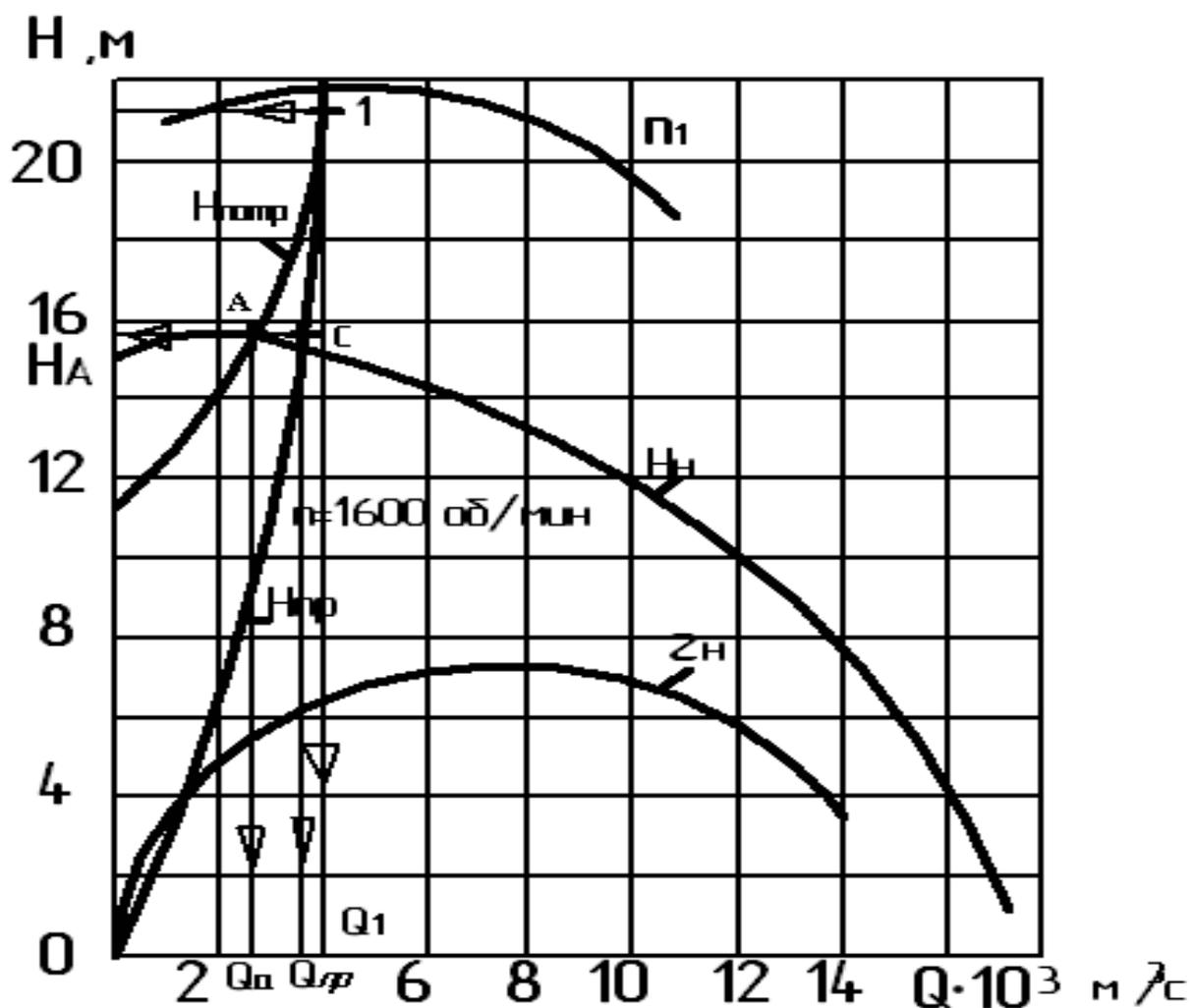


Рис. 8. Построение характеристик насоса

На пересечении линии Q_1 и $H_{нотр}$ находим новую режимную точку 1.

Через точку 1 проводим часть напорной характеристики для частоты вращения n_1 (в первом приближении, эквидистантно исходной характеристики насоса).

Из характеристики насоса (см. рис.8) для Q_1 определяем $H_1 = 21,2 м$.

Мощность насоса

$$N_1 = \rho g Q H_1 = 1000 \cdot 9,8 \cdot 4,05 \cdot 10^{-3} \cdot 21,2 = 841 Вт.$$

Из теории подобия для несжимаемой жидкости известно:

$$Q \approx n; H_H \approx n^2.$$

Уравнение линии подобных режимов (пр):

$$H_{np} = K_{np} \cdot Q_{np}^2.$$

Численное значение коэффициента K_{np} находим, учитывая, что линия подобных режимов проходит через точку 1:

$$K_{np} = \frac{H_1}{Q_1^2} = 21,2 / (4,05 \cdot 10^{-3})^2 = 1292486.$$

Задаем значения Q , находим значения H_{np} для линии подобных режимов.

Результаты расчетов сводим в табл. 5.

Таблица 5

Значения потребных напоров

| $Q, м^3/с$ | $H_{np}, м$ |
|------------|-------------|
| 0,001 | 1,29 |
| 0,002 | 5,17 |
| 0,003 | 11,63 |
| 0,004 | 20,68 |

Строим линию подобных режимов работы насоса. На пересечении H_{np} с H_H в точке С находим значение $Q_{np} = 3,5 \cdot 10^{-3} м^3/с$.

Можно записать:

$$\frac{Q_{np}}{1600} = \frac{Q_1}{n_1};$$

$$n_1 = 1600 \frac{Q_1}{Q_{np}} = 1600 \cdot \frac{4,05}{3,5} = 1851 \text{ об / мин.}$$

2.5. Задача 4

Подобрать насос для перекачивания воды при температуре 20°C из открытой емкости в бак с избыточным давлением 0,1 МПа.

Расход воды $Q = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$. Геометрическая высота подъема воды 15 м. Длина всасывающего трубопровода 10 м, длина нагнетающего трубопровода 40 м. На нагнетающем трубопроводе имеются два отвода под углом 120°, десять отводов под углом 90° с радиусом поворота, равным шести диаметрам трубы, и два нормальных вентиля. На всасывающем трубопроводе установлены два прямооточных вентиля, имеется четыре отвода под углом 90° с радиусом поворота, равным шести диаметрам трубы.

Определить предельную высоту установки насоса над уровнем воды в емкости.

Варианты заданий представлены в табл. 9.

Решение

1. Выбор трубы

При перекачивании жидкости насосами рекомендуют во всасывающих трубопроводах принимать скорость движения жидкости $V = 0,8 \div 2,0 \text{ м/с}$; в нагнетающих трубопроводах - от 1,5 ÷ 3,0 м/с до 5,0 ÷ 10,0 м/с. При этом обеспечивается близкий к оптимальному диаметр трубопровода.

Примем скорость воды в трубопроводах, равную 2 м/с.

Внутренний диаметр трубопровода

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,2 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 2}} = 0,088 \text{ м.}$$

Выбираем по приложению табл. П.3 стальную трубу диаметром 95 мм, толщиной стенки 4 мм. Внутренний диаметр трубы $d = 0,087$ м. Уточняем скорость воды в трубе:

$$V = 2,02 \text{ м/с.}$$

2. Определение потерь напора на трение и местных потерь

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu} = \frac{2,02 \cdot 0,087}{1 \cdot 10^{-6}} = 174500 > 2320.$$

Режим течения в трубопроводе - турбулентный.

Примем, что коррозия трубы незначительна.

Абсолютная эквивалентная шероховатость трубы равна $\Delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м (см приложение, табл. П.5).

Относительная шероховатость

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,087} = 0,0023.$$

Для гидравлически гладких труб:

$$\frac{10}{e} = 4350;$$

для границы области автомодельности:

$$\frac{560}{e} = 244000.$$

В нашем случае число $\text{Re} = 174500$.

Так как $4350 < \text{Re} < 244000$, то трубопровод работает в переходной области сопротивления.

Тогда по формуле Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left(e + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} = 0,11 \left(0,0023 + \frac{68}{174500} \right)^{0,25} = 0,025.$$

Коэффициенты местных сопротивлений определяются по справочникам. Можно использовать учебное пособие [4].

Всасывающий трубопровод:

- вход в трубу $\zeta_1 = 0.5$;

- для прямого вентилля $\zeta = 0,56$, поправочный коэффициент $k = 0,925$ (ζ и k определяются интерполяцией), $\zeta_2 = \zeta * k = 0,56 * 0,925 = 0,52$;

- отводы: коэффициенты $A = 1$, $B = 0,09$; $\zeta_3 = 0,09$.

Сумма коэффициентов местных сопротивлений на всасывающем трубопроводе:

$$\sum \zeta = \zeta_1 + 2\zeta_2 + 4\zeta_3 = 0,5 + 1,04 + 0,36 = 1,9.$$

Потери напора во всасывающем трубопроводе

$$h_{вс.} = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) \frac{V^2}{2g} = \left(0,025 \frac{10}{0,087} + 1,9 \right) \frac{2,02^2}{2 \cdot 9,81} = 0,99 \text{ м.}$$

Нагнетающий трубопровод:

- отводы под углом 120° : $A = 1,17$; $B = 0,09$; $\zeta_1 = 0,105$;

- отводы под углом 90° : $\zeta_2 = 0,09$;

- нормальные вентили: для $d = 0,087$ м, $\zeta_3 = 4,04$ (определяется интерполяцией);

- выход из трубопровода: $\zeta_4 = 1$.

Сумма коэффициентов местных сопротивлений на нагнетающем трубопроводе

$$\sum \zeta = 2\zeta_1 + 10\zeta_2 + 2\zeta_3 + \zeta_4 = 2 * 0,105 + 10 * 0,09 + 2 * 4,04 + 1 = 10,2.$$

Потери напора в нагнетающем трубопроводе

$$h_{нагн.} = \left(0,025 \frac{40}{0,087} + 10,2 \right) \frac{2,02^2}{2 \cdot 9,81} = 4,51 \text{ м.}$$

Общие потери напора

$$h_{ном.} = h_{вс.} + h_{нагн.} = 0,99 + 4,51 = 5,5 \text{ м.}$$

3. Определение потребного напора и выбор насоса

$$H_n = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} + H_2 + h_{ном.} = \frac{0,1 \cdot 10^6}{998 \cdot 9,81} + 15 + 5,5 = 30,7 \text{ м.}$$

При заданной производительности такой напор обеспечивает одноступенчатый центробежный насос.

Полезная мощность насоса

$$N_{пол.} = \rho g Q H_n = 998 \cdot 9,81 \cdot 0,012 \cdot 30,7 = 3606 \text{ Вт} = 3,61 \text{ кВт}.$$

Мощность на валу двигателя

$$N = \frac{N_{пол.}}{\eta_H \eta_{пер.}} = \frac{3,61}{0,6 \cdot 1} = 6,02 \text{ кВт}.$$

Из табл. П.4 приложения находим, что заданной подаче и полученному напору лучше соответствует центробежный насос марки Х45/31, для которого при

оптимальных условиях работы $Q = 1,25 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$, $H = 31 \text{ м}$, $\eta_n = 0,6$.

Насос обеспечен электродвигателем ВАО-52-2 номинальной мощностью $N = 13 \text{ кВт}$, $\eta_{дв.} = 0,87$; частота вращения вала $n = 48,3 \text{ с}^{-1}$.

4. Определение предельной высоты всасывания

Запас напора на кавитацию

$$h_3 = 0,3 (Qn^2)^{2/3} = 0,3(0,012 \cdot 48,3^2)^{2/3} = 2,77 \text{ м}.$$

По табл. П.2 приложения находим, что для воды при $t = 20^\circ \text{ С}$ давление насыщенного пара $p_{н.п.} = 2,35 \cdot 10^3 \text{ Па}$.

Высота всасывания (предельная высота расположения насоса) не должна превышать значения

$$\begin{aligned} H_{вс.} < H_{пред.} &= \frac{p_1}{\rho g} - \left(\frac{p_{н.п.}}{\rho g} + \frac{V_{вс.}^2}{2g} + h_{вс.} + h_3 \right) = \\ &= \frac{101325}{998 \cdot 9,81} - \left(\frac{2,35 \cdot 10^3}{998 \cdot 9,81} + \frac{2,02^2}{2 \cdot 9,81} + 0,99 + 2,77 \right) = 6,0 \text{ м}. \end{aligned}$$

3. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Таблица 6

Варианты заданий к задаче 1

| Варианты | $Q, л/с$ | m | $L_1, м$ | $d_1, м$ | $L_2, м$ | $d_2, м$ |
|----------|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0,32 | 160 | 1,01 | 0,01 | 2,01 | 0,007 |
| 2 | 0,32 | 170 | 1,02 | 0,01 | 2,02 | 0,007 |
| 3 | 0,32 | 180 | 1,03 | 0,01 | 2,03 | 0,007 |
| 4 | 0,32 | 190 | 1,04 | 0,01 | 2,04 | 0,007 |
| 5 | 0,32 | 200 | 1,05 | 0,01 | 2,05 | 0,007 |
| 6 | 0,32 | 210 | 1,06 | 0,01 | 2,06 | 0,008 |
| 7 | 0,32 | 220 | 1,07 | 0,01 | 2,07 | 0,008 |
| 8 | 0,32 | 230 | 1,08 | 0,01 | 2,08 | 0,009 |
| 9 | 0,32 | 240 | 1,09 | 0,01 | 2,09 | 0,009 |
| 10 | 0,32 | 250 | 1,10 | 0,01 | 2,10 | 0,009 |
| 11 | 0,30 | 170 | 1,01 | 0,012 | 2,01 | 0,007 |
| 12 | 0,30 | 180 | 1,02 | 0,011 | 2,02 | 0,007 |
| 13 | 0,30 | 190 | 1,03 | 0,012 | 2,03 | 0,007 |
| 14 | 0,30 | 200 | 1,04 | 0,011 | 2,04 | 0,008 |
| 15 | 0,30 | 210 | 1,05 | 0,012 | 2,05 | 0,008 |
| 16 | 0,30 | 220 | 1,06 | 0,011 | 2,06 | 0,008 |
| 17 | 0,30 | 230 | 1,07 | 0,012 | 2,07 | 0,009 |
| 18 | 0,30 | 240 | 1,08 | 0,011 | 2,08 | 0,009 |
| 19 | 0,30 | 250 | 1,09 | 0,012 | 2,09 | 0,009 |
| 20 | 0,30 | 260 | 1,10 | 0,011 | 2,10 | 0,009 |
| 21 | 0,33 | 160 | 1,01 | 0,012 | 2,01 | 0,007 |
| 22 | 0,33 | 170 | 1,02 | 0,012 | 2,02 | 0,007 |
| 23 | 0,33 | 180 | 1,03 | 0,012 | 2,03 | 0,007 |
| 24 | 0,33 | 190 | 1,04 | 0,012 | 2,04 | 0,008 |
| 25 | 0,34 | 200 | 1,05 | 0,012 | 2,05 | 0,008 |

Варианты заданий к задаче 2

| Варианты | $L_1,$ <i>м</i> | $L_2,$ <i>м</i> | $L,$ <i>м</i> | $d_1,$ <i>мм</i> | $d_2,$ <i>мм</i> | $d_3,$ <i>мм</i> | $M,$ <i>кгс/см²</i> | ζ_3 |
|----------|--------------------|--------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------|
| 1 | 40 | 80 | 80 | 90 | 57 | 57 | 5 | 3 |
| 2 | 40 | 70 | 70 | 89 | 45 | 45 | 4,8 | 2,5 |
| 3 | 50 | 60 | 60 | 70 | 57 | 56 | 5,5 | 1,5 |
| 4 | 50 | 60 | 60 | 70 | 70 | 70 | 6 | 3 |
| 5 | 100 | 80 | 80 | 70 | 70 | 70 | 13,5 | 5 |
| 6 | 60 | 30 | 30 | 90 | 60 | 60 | 8 | 4 |
| 7 | 55 | 40 | 40 | 56 | 48 | 48 | 7 | 2 |
| 8 | 70 | 70 | 70 | 70 | 57 | 56 | 8,5 | 5 |
| 9 | 30 | 20 | 20 | 56 | 48 | 48 | 4,5 | 3,5 |
| 10 | 60 | 40 | 50 | 70 | 57 | 45 | 7,5 | 2 |
| 11 | 40 | 80 | 80 | 90 | 57 | 57 | 5,2 | 2,9 |
| 12 | 40 | 70 | 70 | 89 | 45 | 45 | 4,6 | 2,6 |
| 13 | 50 | 60 | 60 | 70 | 57 | 56 | 5,8 | 1,3 |
| 14 | 50 | 60 | 60 | 70 | 70 | 70 | 6,2 | 3,3 |
| 15 | 100 | 80 | 80 | 70 | 70 | 70 | 11,5 | 5,3 |
| 16 | 60 | 30 | 30 | 90 | 60 | 60 | 8,2 | 4,2 |
| 17 | 55 | 40 | 40 | 56 | 48 | 48 | 7,2 | 1,8 |
| 18 | 70 | 70 | 70 | 70 | 57 | 56 | 8,3 | 5,2 |
| 19 | 30 | 20 | 20 | 56 | 48 | 48 | 4,7 | 3,7 |
| 20 | 60 | 40 | 50 | 70 | 57 | 45 | 7,3 | 2,5 |
| 21 | 60 | 40 | 50 | 70 | 57 | 45 | 7,6 | 2,1 |
| 22 | 40 | 80 | 80 | 90 | 57 | 57 | 5,3 | 3,1 |
| 23 | 40 | 70 | 70 | 89 | 45 | 45 | 4,4 | 2,6 |
| 24 | 50 | 60 | 60 | 70 | 57 | 56 | 5,6 | 1,4 |
| 25 | 50 | 60 | 60 | 70 | 70 | 70 | 6,1 | 3,1 |

Варианты заданий к задаче 3

| Варианты | $H_p,$ <i>м</i> | $L_1,$ <i>м</i> | $d_1,$ <i>мм</i> | $\sum \zeta_1$ | λ_1 | $L_2,$ <i>м</i> | $d_2,$ <i>мм</i> | $\sum \zeta_2$ | λ_2 | $M,$ <i>кгс/см²</i> |
|----------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------|-------------|--------------------|---------------------|----------------|-------------|-----------------------------------|
| 1 | 10 | 10 | 100 | 2 | 0,025 | 30 | 75 | 12 | 0,027 | 0,1 |
| 2 | 5 | 12 | 75 | 3 | 0,02 | 25 | 50 | 5 | 0,03 | 0,6 |
| 3 | 6 | 15 | 100 | 25 | 0,027 | 35 | 80 | 10 | 0,02 | 0,5 |
| 4 | 9 | 10 | 110 | 15 | 0,02 | 40 | 75 | 3 | 0,0175 | 0,2 |
| 5 | 8 | 14 | 80 | 20 | 0,03 | 45 | 60 | 4 | 0,025 | 0,3 |
| 6 | 7 | 9 | 90 | 3 | 0,026 | 30 | 70 | 6 | 0,014 | 0,4 |
| 7 | 4 | 11 | 105 | 4 | 0,02 | 20 | 80 | 5 | 0,015 | 0,7 |
| 8 | 9 | 15 | 80 | 2 | 0,03 | 20 | 75 | 5 | 0,017 | 0,15 |
| 9 | 5 | 10 | 120 | 15 | 0,02 | 40 | 50 | 10 | 0,03 | 0,45 |
| 10 | 7 | 12 | 90 | 25 | 0,025 | 25 | 80 | 4 | 0,018 | 0,4 |
| 11 | 4 | 15 | 100 | 3 | 0,03 | 35 | 60 | 6 | 0,025 | 0,7 |
| 12 | 10 | 9 | 105 | 2 | 0,026 | 20 | 55 | 5 | 0,015 | 0,15 |
| 13 | 8 | 11 | 110 | 15 | 0,02 | 35 | 80 | 4 | 0,016 | 0,35 |
| 14 | 6 | 9 | 90 | 4 | 0,027 | 45 | 70 | 8 | 0,02 | 0,55 |
| 15 | 5 | 12 | 100 | 2 | 0,03 | 30 | 50 | 3 | 0,018 | 0,6 |
| 16 | 9 | 10 | 110 | 25 | 0,025 | 40 | 80 | 6 | 0,015 | 0,2 |
| 17 | 4 | 11 | 75 | 4 | 0,02 | 25 | 60 | 10 | 0,03 | 0,65 |
| 18 | 6 | 12 | 100 | 3 | 0,03 | 20 | 80 | 7 | 0,025 | 0,45 |
| 19 | 7 | 9 | 80 | 2 | 0,027 | 30 | 60 | 4 | 0,015 | 0,3 |
| 20 | 8 | 12 | 90 | 25 | 0,02 | 40 | 75 | 3 | 0,03 | 0,2 |
| 21 | 7 | 10 | 100 | 2 | 0,026 | 25 | 60 | 4 | 0,018 | 0,4 |
| 22 | 10 | 12 | 90 | 15 | 0,03 | 20 | 70 | 3 | 0,02 | 0,25 |
| 23 | 6 | 15 | 75 | 3 | 0,02 | 30 | 50 | 7 | 0,03 | 0,5 |
| 24 | 8 | 9 | 110 | 25 | 0,027 | 35 | 80 | 5 | 0,015 | 0,2 |
| 25 | 5 | 11 | 80 | 4 | 0,02 | 45 | 75 | 6 | 0,03 | 0,6 |

Варианты заданий к задаче 4

| Варианты | $H_G,$ | $L_{BC},$ | $L_{НАГН},$ | Варианты | $H_G,$ | $L_{BC},$ | $L_{НАГН},$ |
|----------|----------|-----------|-------------|----------|----------|-----------|-------------|
| | <i>м</i> | <i>м</i> | <i>м</i> | | <i>м</i> | <i>м</i> | <i>м</i> |
| 1 | 10 | 5 | 45 | 14 | 57 | 57 | 5 |
| 2 | 11 | 6 | 44 | 15 | 45 | 45 | 4,8 |
| 3 | 12 | 7 | 43 | 16 | 57 | 56 | 5,5 |
| 4 | 13 | 8 | 42 | 17 | 70 | 70 | 6 |
| 5 | 14 | 9 | 41 | 18 | 70 | 70 | 13,5 |
| 6 | 15 | 12 | 43 | 19 | 60 | 60 | 8 |
| 7 | 16 | 11 | 39 | 20 | 48 | 48 | 7 |
| 8 | 17 | 12 | 38 | 21 | 57 | 56 | 8,5 |
| 9 | 18 | 13 | 37 | 22 | 48 | 48 | 4,5 |
| 10 | 19 | 14 | 36 | 23 | 57 | 45 | 7,5 |
| 11 | 20 | 15 | 35 | 24 | 57 | 57 | 5,2 |
| 12 | 10 | 5 | 45 | 25 | 45 | 45 | 4,6 |
| 13 | 11 | 6 | 44 | 26 | 57 | 56 | 5,8 |

4. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Ниже приведены вопросы для самопроверки, соответствующие программе курса. Экзаменационные билеты содержат 5 вопросов:

- 1, 2 - физико-механические свойства жидкостей и гидростатика;
- 3, 4 - гидродинамика;
- 5- гидромашины и гидропривод.

4.1. Физико-механические свойства жидкостей

1. Плотность, удельный вес. Единицы измерения указанных параметров. Сжимаемость жидкостей.

2. Температурное расширение жидкости. Парообразование в жидкости. Упругость паров. Растворение газов в жидкости. Поверхностное натяжение. Капиллярность.

3. Вязкость. Закон Ньютона-Петрова. Динамический и кинематический коэффициенты вязкости, единицы измерения. Зависимость вязкости от температуры.

4. Силы, действующие в жидкостях. Массовые и поверхностные силы. Понятие об идеальной жидкости.

4.2. Гидростатика

1. Силы, действующие на покоящуюся жидкость. Гидростатическое давление и его свойства.

2. Давление абсолютное, избыточное, вакууметрическое. Единицы измерения давления.

3. Приборы для измерения давления жидкости.

4. Основное уравнение гидростатики.

5. Закон Паскаля. Использование закона Паскаля в технических устройствах (мультипликатор, гидравлический пресс).

6. Эпюры гидростатического давления и их построение. Эпюры давления на плоские и криволинейные стенки.

7. Определение силы давления на плоскую стенку произвольной формы.

8. Определение центра давления на плоскую стенку произвольной формы.

9. Определение силы давления жидкости на криволинейную стенку произвольной формы.

10. Закон Архимеда. Плавание тела.
11. Давление на плоское дно сосуда.
12. Относительный покой жидкости. Прямолинейное равнопеременное движение сосуда с жидкостью.
13. Относительный покой жидкости. Равномерное вращение сосуда с жидкостью вокруг вертикальной оси.
14. Относительный покой жидкости. Равномерное вращение сосуда с жидкостью вокруг горизонтальной оси.

4.3. Гидродинамика

1. Основные кинематические понятия (линия тока, трубка тока, элементарная струйка).
2. Скорость движения местная, осредненная. Живое сечение потока, расход жидкости. Понятие о гидравлическом радиусе.
3. Уравнение неразрывности потока.
4. Уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости.
5. Геометрический и физический (энергетический) смысл уравнения Бернулли.
6. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Коэффициент кинетической энергии.
7. Использование уравнения Бернулли в практических способах измерений скорости и расхода жидкости (трубка Пито-Прандтля, водомерные устройства дроссельного типа).
8. Понятие о гидравлическом, пьезометрическом и геодезическом (геометрическом) уклонах.
9. Два режима движения жидкости. Число Рейнольдса.
10. Закон распределения скоростей по сечению круглой трубы при ламинарном движении.

11. Расход, средняя и максимальная скорость жидкости при ламинарном движении.
12. Потери напора на трении по длине трубы при ламинарном движении.
13. Турбулентное движение жидкости. Полуэмпирическая теория турбулентного движения Прандтля. Распределение осредненных скоростей по сечению круглой трубы.
14. Потери энергии по длине трубопровода. Формула Дарси-Вейсбаха.
15. Области гидравлического сопротивления. График Мурина.
16. Коэффициент гидравлического трения в различных областях гидравлического сопротивления.
17. Местные гидравлические сопротивления. Простейшие виды местных сопротивлений. Формула для определения местных потерь напора.
18. Взаимное влияние местных сопротивлений. Понятие об эквивалентной длине трубы.
19. Классификация трубопроводов. Основные задачи при расчёте трубопроводов.
20. Характеристика трубопроводов.
21. Расчёт сифонного трубопровода.
22. Расчёт последовательно соединенных трубопроводов.
23. Расчёт параллельно соединенных трубопроводов.
24. Расчёт разветвлённого трубопровода.
26. Гидравлический удар в трубах. Формула Н.Е. Жуковского.
27. Способы борьбы с гидравлическим ударом.

4.4. Гидравлические и пневматические машины

1. Высота всасывания, высота нагнетания, напор, подача, затраченная и полезная мощность насоса.
2. КПД насоса.

3. Центробежный насос. Принцип действия. Устройство насоса.
4. Характеристики центробежных насосов.
5. Работа центробежного насоса на сеть.
6. Способы регулирования насосов.
7. Схемы насосной подачи (замкнутая и разомкнутая).
8. Последовательная работа насосов. Построение суммарной характеристики при последовательной работе насосов.
9. Параллельная работа насосов. Построение суммарной характеристики при параллельной работе насосов.
10. Явление кавитации.
11. Принцип действия объёмных гидромашин.
12. Поршневые насосы. Принцип действия. Области применения.
13. Способы улучшения равномерности подачи насосов.
14. Объёмные насосы роторного типа.
15. Роторно-поршневой насос радиально-плунжерного типа.
16. Роторно-поршневой насос аксиально-плунжерного типа.
17. Вихревые насосы.
18. Пластинчатые насосы.
19. Шестерённые насосы.

4.5. Гидравлические приводы

1. Принцип действия объёмного гидропривода.
2. Регулирование крутящего момента и частоты вращения гидропривода.
3. Линейный, поворотный, моторный гидроприводы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башта Т. М., Руднев С. С., Некрасов Б. Б. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. –М.: Машиностроение, 1982, -423 с.
2. Бредихин И.В., Грига А.Д., Синьков А.В., Потапова Г.Б , Худяков К.В. Насосы и компрессоры: Учебное пособие. -Волгоград Волг ГТУ, 2005. -80 с.
3. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод: Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений. Под ред. С.П. Стесина./Т.В. Артемьева, Т.Н. Лысенко, А.Н. Румянцева, С.П. Стесин/ – 3-е изд., стер. –М.: Издательский центр «Академия», 2007. -336 с.
4. Грига А. Д., Староверов В. В. и др. Расчет сложного трубопровода и насосной подачи жидкости: Учебное пособие. -Волгоград Волг ГТУ,1996. -80 с.
5. Грига А. Д., Староверов В. В. Термодинамические основы тепловой обработки влажного воздуха и кондиционирование: Учебное пособие. – Волгоград Волг ГТУ, 1995. -109 с.
6. Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу. Под ред. Б. Б.Некрасова. –М.: Высш. шк., 1982. -192 с.
7. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. Под ред. Ю. И. Дытнерского. - 2-е изд. -М.: Химия, 1991. -494 с.
8. Сборник задач по машиностроительной гидравлике. Под ред. И. И. Куколевского и Л. Г. Подвидза. - 4-е изд. –М.: Машиностроение, 1981, -456 с.
9. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. Под ред. Б. Б.Некрасова. - 2-е изд. -Минск.: Высш. шк., 1985. -382 с.
10. Угинчус А. А. Гидравлика и гидравлические машины. –Харьков ХГУ, 1970, -395 с.
11. Черкасский В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. -М: Энергия, 1977, -424 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица П.1

Плотность и кинематическая вязкость жидкостей

при давлении $p = 0,1 \text{ МПа}$

| Жидкость | Температура, °С | Плотность, кг/м ³ | Вязкость, 10 ⁻⁴ м ² /с |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------------|---|
| Бензин: | | | |
| Авиационный | 20 | 710÷780 | 0,004÷0,005 |
| Автомобильный | 20 | 690÷760 | 0,0055÷0,0075 |
| Бензол | 20 | 870÷880 | 0,0007 |
| Вода | | | |
| | 4 | 1000 | 0,0157 |
| | 20 | 998 | 0,01 |
| | 80 | 972 | 0,0037 |
| Глицерин (безводный) | 20 | 1260 | 8,7 |
| Дизельное топливо | 20 | 830÷860 | 0,02÷0,06 |
| Керосин | 20 | 790÷860 | 0,025 |
| Мазут | 80 | 880÷940 | 0,43÷1,2 |
| Масло авиационное: | | | |
| МС-14 | 100 | 860 | 0,14 |
| МС-20 | 100 | 870 | 0,205 |
| МК-22 | 100 | 880 | 0,22 |
| МС-20С | 100 | 870 | 0,20 |
| Масло автомобильное: | | | |
| АС-6 | 100 | 860 | 0,06 |
| АС-8 | 100 | 870 | 0,08 |
| АС-10 | 100 | 870 | 0,10 |
| ДС-8 | 100 | 860 | 0,08 |
| ДС-11 | 100 | 880 | 0,11 |

| Жидкость | Температура, °С | Плотность, кг/м ³ | Вязкость, 10 ⁻⁴ м ² /с |
|----------------------------|--------------------|---------------------------------|---|
| Масло моторное: | | | |
| МТ-14п | 100 | 870 | 0,135÷0,145 |
| МТ-16п | 100 | 870 | 0,16÷0,175 |
| МН-7.5 | 100 | 870 | 0,075 |
| МС-6 | 50 | 850 | 0,06 |
| М-20Г | 100 | | 0,20 |
| Масло индустриальное: | | | |
| И-5А | 50 | 890 | 0,04÷0,05 |
| И-8А | 50 | 900 | 0,06÷0,08 |
| И-12А | 50 | 880 | 0,10÷0,14 |
| И-25А | 50 | 890 | 0,24÷0,27 |
| И-30А | 50 | 890 | 0,28÷0,33 |
| И-40А | 50 | 895 | 0,35÷0,45 |
| И-70А | 50 | 920 | 0,65÷0,75 |
| И-100А | 50 | 920 | 0,90-1,18 |
| Масло АМГ-10 | 50 | 850 | 0,13 |
| Масло веретенное АУ | 100 | 890÷900 | 0,036 |
| Масло турбинное ТП-22 | 50 | 900 | 0,20÷0,24 |
| Масло турбинное ТП-30 | 50 | 900 | 0,28÷0,32 |
| Масло турбинное ТП-46 | 50 | 900 | 0,44÷0,48 |
| Масло трансформаторное | 50 | 880÷890 | 0,09 |
| Нефть | 18 | 760÷900 | 0,25-1,4 |
| Ртуть | 15 | 13560 | 0,0011 |
| Скипидар | 16 | 870 | 0,0183 |
| Спирт этиловый (безводный) | 20 | 790 | 0,0151 |
| Чугун | 1300 | 7000 | 0,011 |

Таблица П.2

Давление насыщенных паров жидкостей, кПа

| Жидкость | 20°С | 40°С | 60°С | 80°С | 100°С | 120°С | 140°С | 160°С | 180°С |
|-------------------|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Бензин | 16,3 | 33,2 | 55,8 | 103,3 | | | | | |
| Б-70 | | | | | | | | | |
| Вода | 2,35 | 7,5 | 20,2 | 48,2 | 103,3 | 195 | 334 | | |
| Керосин Т-1 | 3,9 | 5,8 | 7,5 | 12,1 | 20,3 | 35,0 | 57,0 | 90,5 | 138,5 |
| Масла: | | | | | | | | | |
| АМГ-10 | | | 0,4 | 0,8 | 1,8 | 3,1 | 5,8 | 11,8 | 23,8 |
| Индустриальное-20 | | | 0,14 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,9 | 2,0 | 3,8 |
| Индустриальное-50 | | | | | 0,14 | 0,3 | 0,7 | 1,6 | 3,0 |
| Нефть (легкая) | 7,8 | 13,7 | 37,2 | 85,3 | | | | | |
| Ртуть | 0,0002 | | | | | | | | |
| Спирт | 8,0 | 20,0 | 49,3 | | | | | | |

Таблица П.3

Размеры стальных труб, применяемых в трубопроводах
(символ «у» относится к углеродистой стали, «н» - к нержавеющей)

| Наружный | Толщина | Материал | Наружный | Толщина | Материал |
|----------|---------|----------|----------|---------|----------|
|----------|---------|----------|----------|---------|----------|

| диаметр, мм | стенки, мм | | диаметр, мм | стенки, мм | |
|----------------|---------------|------|----------------|---------------|------|
| 14 | 2 | у, н | 89 | 4 | у |
| 14 | 2,5 | н | 89 | 4,5 | н |
| 14 | 3 | у | 89 | 6 | у |
| 16 | 2 | у | 90 | 4 | у, н |
| 18 | 2 | у, н | 90 | 5 | у, н |
| 18 | 3 | у, н | 95 | 4 | у, н |
| 20 | 2 | н | 95 | 5 | у |
| 20 | 2,5 | у | 108 | 4 | у |
| 22 | 2 | у, н | 108 | 5 | у |
| 22 | 3 | у | 108 | 6 | н |
| 25 | 2 | у, н | 133 | 4 | у |
| 25 | 3 | у | 133 | 6 | н |
| 32 | 3 | н | 133 | 7 | у |
| 32 | 3,5 | у | 159 | 4,5 | у |
| 38 | 2 | у, н | 159 | 5 | у |
| 38 | 3 | н | 159 | 6 | н |
| 38 | 4 | у | 159 | 7 | у |
| 45 | 3,5 | н | 194 | 6 | у |
| 45 | 4 | у | 194 | 10 | у |
| 48 | 3 | н | 219 | 6 | у |
| 48 | 4 | у | 219 | 8 | у |
| 56 | 3,5 | н | 245 | 7 | у |
| 57 | 3,5 | у | 273 | 10 | у |
| 57 | 4 | у | 325 | 10 | у |
| 70 | 3 | н | 325 | 12 | у |
| 70 | 3,5 | у | 377 | 10 | у |
| 76 | 4 | у | 426 | 11 | у |

Технические характеристики центробежных насосов

| Марка | $Q, м^3/с$ | $H_n, м ст. жидкости$ | $n, с^{-1}$ | η_n | Электродвигатель | | |
|-----------|----------------------|-----------------------|-------------|----------|------------------|------------|-------------|
| | | | | | Тип | $N_n, кВт$ | $\eta_{дв}$ |
| X2/25 | $4,2 \cdot 10^{-4}$ | 25 | 50 | --- | АОЛ-12-2 | 1,1 | --- |
| X8/18 | $2,4 \cdot 10^{-3}$ | 11,3 | 48,3 | 40 | АО2-31-2 | 3 | --- |
| | | 14,8 | | | --- | --- | --- |
| | | 18 | | | ВАО-31-2 | 3 | 0,82 |
| X8/30 | $2,4 \cdot 10^{-3}$ | 17,7 | 48,3 | 50 | АО2-32-2 | 4 | --- |
| | | 24 | | | --- | --- | --- |
| | | 30 | | | ВАО-32-2 | 4 | 0,83 |
| X20/18 | $5,5 \cdot 10^{-3}$ | 10,5 | 48,3 | 60 | АО2-31-2 | 3 | --- |
| | | 13,8 | | | --- | --- | --- |
| | | 18 | | | ВАО-31-2 | 3 | 0,82 |
| X20/31 | $5,5 \cdot 10^{-3}$ | 18 | 48,3 | 55 | АО2-41-2 | 5,5 | 0,87 |
| | | 25 | | | --- | --- | --- |
| | | 31 | | | ВАО-41-2 | 5,5 | 0,84 |
| X20/53 | $5,5 \cdot 10^{-3}$ | 34,4 | 48,3 | 50 | АО2-52-2 | 13 | 0,89 |
| | | 44 | | | --- | --- | --- |
| | | 53 | | | ВАО-52-2 | 13 | 0,87 |
| X45/21 | $1,25 \cdot 10^{-2}$ | 13,5 | 48,3 | 60 | АО2-51-2 | 10 | 0,88 |
| | | 17,3 | | | --- | --- | --- |
| | | 21 | | | ВАО-51-2 | 10 | 0,87 |
| X45/31 | $1,25 \cdot 10^{-2}$ | 19,8 | 48,3 | 60 | АО2-52-2 | 13 | 0,89 |
| | | 25 | | | --- | --- | --- |
| | | 31 | | | ВАО-52-2 | 13 | 0,87 |
| X45/54 | $1,25 \cdot 10^{-2}$ | 32,6 | 48,3 | 60 | АО2-62-2 | 17 | 0,88 |
| | | 42 | | | АО2-71-2 | 22 | 0,88 |
| | | 54 | | | АО2-72-2 | 30 | 0,89 |
| X90/19 | $2,5 \cdot 10^{-2}$ | 13 | 48,3 | 70 | АО2-51-2 | 10 | 0,88 |
| | | 16 | | | АО2-52-2 | 13 | 0,89 |
| | | 19 | | | АО2-62-2 | 17 | 0,88 |
| X90/33 | $2,5 \cdot 10^{-2}$ | 25 | 48,3 | 70 | АО2-62-2 | 17 | 0,88 |
| | | 29,2 | | | АО2-71-2 | 22 | 0,90 |
| | | 33 | | | АО2-72-2 | 30 | 0,90 |
| X90/49 | $2,5 \cdot 10^{-2}$ | 31,4 | 48,3 | 70 | АО2-71-2 | 22 | 0,88 |
| | | 40 | | | АО2-72-2 | 30 | 0,89 |
| | | 49 | | | АО2-81-2 | 40 | --- |
| X90/85 | $2,5 \cdot 10^{-2}$ | 56 | 48,3 | 65 | АО2-81-2 | 40 | --- |
| | | 70 | | | АО2-82-2 | 55 | --- |
| | | 85 | | | АО2-91-2 | 75 | 0,89 |
| X160/29/2 | $4,5 \cdot 10^{-2}$ | 20 | 48,3 | 65 | ВАО-72-2 | 30 | 0,89 |
| | | 24 | | | АО2-72-2 | 30 | 0,89 |
| | | 29 | | | АО2-81-2 | 40 | --- |
| X160/49/2 | $4,5 \cdot 10^{-2}$ | 33 | 48,3 | 75 | АО2-81-2 | 40 | --- |
| | | 40,6 | | | АО2-82-2 | 55 | --- |
| | | 49 | | | АО2-91-2 | 75 | 0,89 |

Продолжение табл. П.4

| Марка | $Q, м^3/с$ | $H_n, м ст. жидкости$ | $n, с^{-1}$ | η_n | Электродвигатель | | |
|---------|---------------------|-----------------------|-------------|----------|------------------|------------|-------------|
| | | | | | Тип | $N_n, кВт$ | $\eta_{дв}$ |
| X160/29 | $4,5 \cdot 10^{-2}$ | 29 | 24,15 | 60 | АО2-81-4 | 40 | --- |
| X280/29 | $8 \cdot 10^{-2}$ | 21 | 24,15 | 78 | АО2-81-4 | 40 | --- |
| | | 25 | | | АО2-82-4 | 55 | --- |
| | | 29 | | | АО2-91-4 | 75 | 0,92 |
| X280/42 | $8 \cdot 10^{-2}$ | 29,6 | 24,15 | 70 | АО2-91-4 | 75 | 0,92 |
| | | 35 | | | --- | --- | --- |
| | | 42 | | | АО2-92-4 | 100 | 0,93 |
| X280/72 | $8 \cdot 10^{-2}$ | 51 | 24,15 | 70 | АО-101-4 | 125 | 0,91 |
| | | 62 | | | АО-102-4 | 160 | 0,92 |
| | | 72 | | | АО-103-4 | 200 | 0,93 |
| X500/25 | $1,5 \cdot 10^{-1}$ | 19 | 16 | 80 | АО2-92-6 | 55 | 0,92 |
| | | 22 | | | --- | --- | --- |
| | | 25 | | | АО2-92-6 | 75 | --- |
| X500/37 | $1,5 \cdot 10^{-1}$ | 25 | 16 | 70 | АО-102-6 | 125 | 0,92 |
| | | 31,2 | | | --- | --- | --- |
| | | 37 | | | АО-103-6 | 160 | 0,93 |

Примечания.

1. Насосы предназначены для химически активных и нейтральных жидкостей, не имеющих включений или же с твердыми включениями, составляющими до 0,2%, при размере частиц до 0,2 мм.

2. Каждый насос может быть изготовлен с тремя различными диаметрами рабочего колеса, что соответствует трем значениям напора в области оптимального η_n .

Таблица П.5

Абсолютная эквивалентная шероховатость труб

| Трубы | $\Delta, мм$ |
|---|--------------|
| Стальные новые | 0,06÷0,1 |
| Стальные, бывшие в эксплуатации, с незначительной коррозией | 0,1÷0,2 |
| Стальные старые, загрязненные | 0,5÷2,0 |
| Чугунные новые, керамические | 0,35÷1,0 |
| Чугунные водопроводные, бывшие в эксплуатации | 1,4 |
| Алюминиевые гладкие | 0,015÷0,06 |
| Трубы из латуни, меди и свинца чистые цельнотянутые, стеклянные | 0,015÷0,01 |
| Для насыщенного пара | 0,2 |
| Воздухопроводы от поршневых компрессоров и турбокомпрессоров | 0,8 |

СОДЕРЖАНИЕ

| | Лист |
|--|------|
| 1. ПРОГРАММА КУРСА | 3 |
| 1.1. Жидкость и ее свойства | |
| 1.2. Гидростатика | |
| 1.3. Гидродинамика | |
| 1.4. Источники энергии в гидроприводе и гидродвигатели | |
| 1.5. Объемный гидропривод и его использование | |
| 2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ | 4 |
| 2.1. Общие указания | |
| 2.2. Задача 1 | |
| 2.3. Задача 2 | |
| 2.3.1. Аналитическое решение задачи | |
| 2.3.2. Расчет | |
| 2.3.3. Графическое решение задачи | |
| 2.4. Задача 3 | |
| 2.5. Задача 4 | |
| 3. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ | 24 |
| 4. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ | |
| 4.1. Физико-механические свойства жидкостей | |
| 4.2. Гидростатика | |
| 4.3. Гидродинамика | |
| 4.4. Гидравлические и пневматические машины | |
| 4.5. Гидравлические приводы | |
| ЛИТЕРАТУРА | 32 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ | 33 |

Анатолий Данилович Грига
Галина Борисовна Потапова

Основы гидравлики и гидропривода (для заочной формы обучения)
Учебное пособие

Редактор Чеботарева О.П.

Темплан 2008 г., поз. № 1
Лицензия ИД № 04790 от 18.05.01

Подписано в печать _____. Формат 60×84 1/16.
Бумага газетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,33.
Уч.-изд. л. 2,4. Тираж 200 экз. Заказ № _____.

Волгоградский государственный технический университет.
400131 Волгоград, просп. им. В.И. Ленина, 28.

РПК «Политехник» Волгоградского государственного технического
университета.
400131 Волгоград, ул. Советская, 35