

2023

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ  
АКАДЕМИЯ

---

Кафедра «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по изучению курса, выполнению контрольных  
и курсовых работ по дисциплине «Гидравлика и  
гидромашины» для студентов специальности  
Т.05.10 – «Двигатели внутреннего сгорания»

Минск 1999

**Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ  
АКАДЕМИЯ**

---

Кафедра «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по изучению курса, выполнению контрольных  
и курсовых работ по дисциплине «Гидравлика и  
гидромашины» для студентов специальности  
Т.05.10 – «Двигатели внутреннего сгорания»

Минск 1999

УДК 532.5

**М54**

В методических указаниях приведены рабочая программа курса, варианты контрольных и курсовых работ, общие методические указания к их выполнению.

Составил П.Р. Бартош

Рецензент М.С. Лебедев

Учебное издание

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по изучению курса, выполнению контрольных и курсовых работ по дисциплине «Гидравлика и гидромашинны» для студентов специальности Т.05.10 – «Двигатели внутреннего сгорания»

Составитель **БАРТОШ Петр Романович**

---

**Редактор Т.Н. Микулик**

Подписано в печать 19.02.99.

Формат 60x84 1/16. Бумага тип. №2. Офсет. печать.

Усл. печ. л. 3,3. Уч.-изд. л. 2,5. Тираж 100. Зак. 123.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусская государственная политехническая академия.

Лицензия ЛВ №155 от 30.01.98. 220027, Минск, пр. Ф.Скорины, 65.

© Бартош П.Р.,  
составление, 1999

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В результате изучения дисциплины «Гидравлика и гидромашин» студенты должны знать основные свойства, статику и кинематику жидкости, законы и уравнения для различных случаев ее течения, порядок построения статической характеристики гидроприводов.

Теоретической базой изучения дисциплины являются: высшая математика, физика, теоретическая механика, сопротивление материалов.

Данная дисциплина является общетеоретической, на которой базируется изучение специальных дисциплин.

Перед решением задач и выполнением курсовой работы необходимо последовательно проработать все разделы теоретического материала по программе дисциплины, внимательно изучить выводы основных формул и уравнений.

Контрольные и курсовая работы оформляются в соответствии с общими требованиями, предусмотренными для выполнения таких работ.

## 2. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА

2.1. Предмет гидравлики и гидромашин. Краткие исторические сведения о развитии гидравлики. Объект изучения, физическое строение жидкостей. Основные свойства жидкостей, их виды. Растворимость газов в жидкостях, кипение, кавитация.

2.2. Гидростатика. Силы, действующие в жидкостях. Давление. Уравнения Эйлера. Основное уравнение гидростатики. Определение сил давления покоящейся жидкости на плоские и криволинейные стенки.

2.3. Кинематика и динамика жидкости. Методы описания движения жидкостей и газов. Основные параметры потока. Расход элементарного потока и

расход через поверхность. Уравнение неразрывности (сплошности) потока.

Модель идеальной (невязкой) жидкости. Уравнения Бернулли для идеальной и реальной жидкостей, их использование в расчётах. Напряжения сил вязкости. Уравнения для относительного движения.

2.4. Гидравлические потери (общие сведения), их физическая природа и классификация. Формулы для вычисления потерь напора жидкости.

2.5. Режимы течения жидкостей. Ламинарный поток в трубе. Сопротивления по длине. Основная формула потерь. Гидравлический коэффициент трения.

Турбулентный поток в трубе. Физическая природа турбулентных течений.

Законы распределения скоростей и сопротивлений при ламинарном и турбулентном течениях в трубах.

Основные формулы для определения гидравлического коэффициента трения.

2.6. Местные гидравлические сопротивления. Формула для их расчёта. Зависимость местного сопротивления от числа Рейнольдса и геометрических параметров. Частные виды местных сопротивлений: вход в трубу, внезапное расширение и сужение, диффузоры и др.

2.7. Истечение жидкости через отверстия и насадки.

2.8. Гидравлический расчёт трубопроводных систем (простых и сложных трубопроводов).

2.9. Неустановившееся движение жидкости. Гидравлический удар.

2.10. Силовые взаимодействия потока на ограничивающие его стенки.

2.11. Гидравлические машины. Общие сведения об этих гидромашинах. Классификация гидронасосов и гидродвигателей. Принципы действия объёмных и динамических гидромашин.

Основные параметры гидромашин: подача (расход), напор, давление,

мощность, КПД. Баланс мощности в гидромашинах.

2.12. Объёмные насосы и моторы (двигатели). Общие сведения, принцип действия, основные свойства и классификация, области применения. Насосы возвратно-поступательного действия. Устройство и области применения поршневых, плунжерных и диафрагменных насосов. Графики подачи и способы её выравнивания.

2.13. Роторные объёмные насосы. Классификация, области их применения. Подача роторных насосов и её равномерность, регулирование подачи. Устройство и особенности работы роторных насосов и моторов различных типов: шестерённых, пластинчатых, роторно-поршневых, винтовых. Основы расчёта и проектирования шестерённых насосов.

2.14. Лопастные насосы, их классификация. Основы теории лопастных насосов. Центробежные насосы. Основное уравнение лопастных машин. Теоретический напор, влияние конструктивных параметров на напор. Полезный напор. Характеристики центробежных насосов. Виды движения жидкости в насосах. Планы скоростей.

Основы теории подобия и формулы перерасчёта параметров насоса.

Коэффициент быстроходности. Порядок расчёта центробежного насоса. Насосные установки.

Устойчивость работы насоса и сети. Кавитация в лопастных насосах, кавитационный запас. Формула С. С. Руднева.

Последовательное и параллельное соединение насосов.

2.15. Гидродинамические передачи. Назначение, принцип действия и области применения гидродинамических передач. Гидродинамические муфты, устройство, классификация и рабочий процесс гидромuft. Основные параметры, характеристики гидромuft. Расчёт гидромuft по подобию.

Гидродинамические трансформаторы. Физические процессы, происходящие в гидротрансформаторах в процессе их работы. Классификация, основ-

ные параметры и характеристики гидротрансформаторов.

2.16. Гидроаппаратура. Общая классификация гидроаппаратов и элементов гидросистем и гидроавтоматики.

Предохранительные устройства, назначение, классификация, принцип действия.

Дросселирующие устройства, назначение, классификация.

Распределительные устройства, назначение, принцип действия и характеристики. Классификация гидрораспределителей.

Гидроусилители, их общая классификация, назначение и принцип действия.

Фильтры, гидроаккумуляторы, мультипликаторы. Общие сведения о следящих гидроприводах.

Обозначения гидроаппаратов и элементов гидросистем по ЕСКД.

### **3. ВЫБОР ВАРИАНТОВ КОНТРОЛЬНЫХ И КУРСОВЫХ РАБОТ**

Каждый студент заочного отделения выполняет контрольную работу, которая состоит из четырёх задач (по одной задаче из разделов I, II, III, IV). Выбор вариантов задач и исходных данных производится по двум последним цифрам шифра зачётной книжки, то есть по последней цифре выбираются номера задач из разделов I, II, III, IV, а по предпоследней — варианты исходных данных для этих задач.

Например, если шифр оканчивается цифрой 32, то студент-заочник решает в контрольной работе задачи I-2, II-2, III-2, IV-2. Исходные данные к задачам принимаются по варианту 3.

Каждый студент очного отделения выполняет курсовую работу; номер задания и вариант исходных данных выбираются по последним цифрам номера зачётной книжки. По последней цифре выбирается номер задания, а по пред-

последней цифре — вариант исходных данных для этого задания. Например, если номер зачётки оканчивается цифрами 41, то студент очного отделения выполняет по курсовой работе задание 1 и использует вариант исходных данных 4.

Если в зачётке указан номер 5 (это аналогично 05), то выполняется задание 5 и исходные данные 0.

Пояснительная записка по курсовой работе выполняется на стандартных листах писчей бумаги (листы сшиваются или помещаются в скоросшиватель). Графическая часть выполняется на листах плотной бумаги или миллиметровой.

## 4. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ И КУРСОВЫХ РАБОТ

### 4.1. Гидростатика

При решении задач по гидростатике нужно хорошо усвоить понятия абсолютного, избыточного и вакуумметрического давлений, сил давления, тяжести и инерции. Твёрдо знать единицы измерения таких величин в Международной системе СИ. В частности, единицы измерения этих и других величин приведены в литературе [1],[2],[3].

Единица измерения давления в системе СИ —  $\text{Н/м}^2 = \text{Па}$  (паскаль).

Соотношение между часто применяемой единицей давления — технической атмосферой (*атм*) и другими единицами:

$$1 \text{ атм} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 10^4 \text{ кгс/м}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2 = 0,981 \text{ бар}.$$

Единица силы, веса в системе СИ —  $\text{Н}$  (ньютон),

массы —  $\text{кг}$  (килограмм).

$$\text{Н} \cdot \text{кгм} \cdot \text{с}^2 = 0,102 \text{ кг} \approx 0,1 \text{ кг}.$$

Необходимо знать связь между давлением, плотностью и высотой жидко-

сти, уравновешивающей данное давление (пьезометрической высотой):

$$h = p / \rho g, \quad (1)$$

$p$  — давление;  $\rho$  — плотность жидкости.

Значения плотности жидкости берут, как правило, по справочникам [1],[2],[3]. Она измеряется в  $\text{кг}/\text{м}^3$ . В ряде случаев при выборе  $\rho$  нужно учитывать, по известным формулам или таблицам, температуру  $T$  жидкости.

При решении задач, в условии которых использованы поршни, плунжеры и т.п., следует использовать уравнения равновесия действующих на них сил.

В задачах на относительный покой жидкости следует учитывать действие массовых сил.

При решении задач также используется основное уравнение гидростатики

$$p = p_0 \pm \rho g h, \quad (2)$$

где  $p$  — искомое давление;  $p_0$  — известное давление;  $h$  — глубина погружения искомой точки.

Если эта точка находится ниже заданной поверхности с давлением  $p_0$ , в уравнении следует принимать знак «+», если же выше поверхности с  $p_0$ , то знак «-».

При решении задач необходимо знать связь между силой  $F$ , давлением  $p$  и площадью  $S$ , на которую действует данное  $p$ :  $F = pS$ .

В задачах на плавание тел необходимо знать, что на всякое тело, полностью или частично погруженное в жидкость, действуют две силы:

$$\text{сила тяжести} \quad G = \rho_m g V_m;$$

$$\text{Архимедова сила} \quad G = \rho_{ж} g V_{ж},$$

где  $\rho_m$  и  $\rho_{ж}$  — соответственно плотности тела и жидкости;  $V_m$  и  $V_{ж}$  — соответственно объемы тела и жидкости, вытесненной телом.

## 4.2. Гидродинамика

### 4.2.1. Применение уравнения Бернулли

Уравнение Бернулли (основное уравнение энергии) широко используется при решении задач, в которых рассматривается установившийся поток жидкости. По уравнению можно установить связь между давлением и скоростью в потоке.

Для вязкой несжимаемой жидкости его можно записать в форме напоров или давлений:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \sum h_n, \quad (3)$$

или

$$\rho g Z_1 + p_1 + \alpha_1 \frac{\rho v_1^2}{2} = \rho g Z_2 + p_2 + \alpha_2 \frac{\rho v_2^2}{2} + \sum p_n, \quad (4)$$

где  $Z_1, Z_2$  — геометрические напоры (высоты), определяющие высоту положения частицы жидкости над какой-то поверхностью сравнения, м;  $p_1/\rho g$ ,  $p_2/\rho g$  — пьезометрические напоры (высоты), м;  $\alpha_1 v_1^2/2g$ ,  $\alpha_2 v_2^2/2g$  — динамические (скоростные) напоры (высоты), м;  $p_1, p_2$  — давления, Па;  $v_1, v_2$  — скорости в точках сечения, м/с;  $\sum h_n$  — гидравлические потери напора, м;  $\sum p_n$  — гидравлические потери давления, Па;  $\alpha_1, \alpha_2$  — коэффициенты Кориолиса.

Коэффициент Кориолиса обычно учитывают при ламинарном течении (при турбулентном  $\alpha \approx 1$ ), если рассматривается реальное течение жидкости.

Для идеальной жидкости, когда не учитываются гидравлические потери и неравномерность распределения скоростей,  $h_n = 0$ ;  $p_n = 0$ ;  $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ .

При решении задач важно правильно выбрать два сечения, для которых затем и записываются уравнения (3) или (4).

Рекомендуется в качестве этих сечений применять:

свободную поверхность жидкости в гидравлической ёмкости (баке, резервуаре), где  $\mathcal{U}=0$ ;

выход в атмосферу, где избыточное давление  $p_{изб}=0$  и абсолютное  $p_{абс}=p_{атм}$ ;

сечение, где присоединён прибор, показывающий величину давления; неподвижную жидкость вдали от входа в трубопровод;

чаще всего два сечения выбираются так: одно там, где надо определить  $v$  или  $p$ , другое — где эти величины известны;

нумерация сечений должна быть в направлении движения жидкости.

При подстановке численных значений в уравнение Бернулли нужно учитывать следующее:

а) если учитываются силы тяжести (первый член уравнения  $Z$ ), то удобнее провести плоскость сравнения через наименьшую отметку системы;

для горизонтальных участков трубопроводов за плоскость сравнения принимается ось наиболее низко расположенной трубы;

для резервуаров с жидкостью — уровень жидкости в наиболее низко расположенном резервуаре;

при незначительном влиянии сил тяжести членами  $Z_1$  и  $Z_2$  в уравнении можно пренебречь и выбор плоскости сравнения отпадает;

б) давления  $p$ , входящие в обе части уравнения, должны быть оба или абсолютными, или избыточными;

в) суммарные потери энергии (давления, напора) приписываются только к правой части уравнений со знаком «+»;

г) общие потери складываются из:

потерь на трение (потерь по длине), определяемые по формуле Дарси-Вейсбаха;

местных потерь, определяемых по формуле Вейсбаха или методом эквивалентных длин;

д) если в трубопроводе (канале) содержится внезапное расширение, то при турбулентном режиме надо учитывать потери по теореме Борда.

Формула Вейсбаха

$$h_m = \xi_m \frac{v^2}{2g}; \quad (5)$$

$$p_m = \xi_m \frac{\rho v^2}{2}, \quad (6)$$

где  $h_m$  и  $p_m$  — потери соответственно напора и давления в местных сопротивлениях;  $\xi_m$  — коэффициент местного сопротивления [2];  $v$  — скорость потока жидкости.

Формула Дарси–Вейсбаха:

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}; \quad (7)$$

$$p_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho v^2}{2}, \quad (8)$$

где  $h_l$  и  $p_l$  — потери соответственно напора и давления по длине трубопровода (на трение);  $\lambda$  — коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси);

$d$  — диаметр трубопровода;  $\rho$  — плотность жидкости [2].

Уравнения, описывающие теорему Борда при внезапном расширении трубопровода:

$$h_p = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}, \quad (9)$$

где  $v_1$  и  $v_2$  — скорости в сечениях до и после внезапного расширения трубопроводов.

$$h_p = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g} = \xi_m \frac{v_1^2}{2g}, \quad (10)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  — площади живых сечений трубопроводов до и после внезап-

внезапного расширения;

$$\xi_m = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2. \quad (11)$$

Коэффициент Дарси  $\lambda$  вычисляется в зависимости от режима течения жидкости (ламинарного или турбулентного), определяемого числом Рейнольдса  $Re$ :

$$Re = \frac{vd}{\nu}, \quad (12)$$

где  $v$  — скорость потока, м/с;  $d$  — диаметр трубы, м;  $\nu$  — кинематическая вязкость жидкости, м<sup>2</sup>/с [1],[3]:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \quad (13)$$

где  $\mu$  — динамическая вязкость жидкости, Па·с.

$$\lambda_l = \frac{64}{Re}. \quad (14)$$

$$\lambda_m = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (15)$$

Для круглого сечения критическое  $Re \approx 2300$ . При  $Re \leq R_{кр}$  — ламинарный режим и коэффициент Дарси  $\lambda_l$ .

При  $Re > R_{кр}$  — турбулентный режим и в приведенных ниже задачах  $\lambda$  можно определить по выражению (15).

При других числах  $Re$   $\lambda$  определяется по формулам, приведенным в литературе [1],[2],[3].

#### 4.2.2. Расход жидкости

Расход жидкости  $Q$  определяется по уравнению

$$Q = vS, \quad (16)$$

где  $S$  — площадь живого сечения.

Расход через дроссель (отверстие, короткий насадок и т.п.)

$$Q = \mu S \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \quad (17)$$

или

$$Q = \mu S \sqrt{2gH}, \quad (18)$$

где  $\mu$  — коэффициент расхода [1],[2],[3] (для коротких цилиндрических дросселей (насадков)  $\mu = 0,81 \dots 0,82$ );  $\Delta p$  — разность давлений на входе ( $p_{ax}$ ) и выходе ( $p_{вых}$ ) дросселя;  $H$  — расчетный напор.

Уравнение неразрывности (сплошности) потока при течении через два сечения трубопровода

$$Q_1 = Q_2 = v_1 S_1 = v_2 S_2. \quad (19)$$

### 4.3. Построение статической характеристики гидропривода

Характеристика гидропривода представляет собой зависимость давления в приводе от расхода жидкости, проходящей через его гидрочасти.

Более полно характеристика отражает процессы в гидроприводе, если будет показывать совместную работу насоса с потребителем и предохранительным клапаном.

При построении её вначале строится характеристика насоса  $p_H = f(Q_H)$ . Если последняя неизвестна или не задана, то она предварительно рассчитывается.

Порядок расчёта зависит от известных исходных данных. Если заданы частота вращения вала насоса  $n$  (об/с) и его рабочий объём  $V_H$  (м<sup>3</sup>/об), то подача насоса

$$Q_H = V_H n, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (20)$$

Если неизвестно необходимое давление  $p_H$  насоса, то его рассчитывают исходя из требуемого усилия или момента на исполнительном устройстве привода.

Необходимое давление в гидроцилиндре

$$p = \frac{F}{S}, \quad (21)$$

где  $F$  — усилие на штоке поршня;  $S$  — рабочая площадь поршня (при необходимости учитывается сечение штока).

Необходимое давление в гидромоторе

$$p_M = \frac{2\pi M}{V_M}, \quad (22)$$

где  $M$  — требуемый момент на валу гидромотора;

$V_M$  — рабочий объем гидромотора.

По известным давлению и подаче насоса подбирается последний, например, по справочнику [3]. Затем строится характеристика этого насоса — зависимость подачи  $Q_n$  насоса от его давления  $p_n$  при постоянной частоте вращения (рис. 1).

Для этого откладывается точка для номинальных значений давления  $p_n$  и подачи  $Q_n$ , а также точка идеальной подачи  $Q_{н.и}$  насоса.

Через эти две точки проводится прямая.

Действительная подача  $Q_n$  насоса отличается от идеальной  $Q_{н.и}$  на величину утечек  $q_n$  (объемных потерь), т.е.

$$Q_n = Q_{н.и} - q_n; \quad (23)$$

$$Q_{н.и} = Q_n / \eta_0, \quad (24)$$

где  $\eta_0$  — объемный КПД насоса.

Затем проводится линия  $p_{ст} = f(Q)$ , соответствующая давлению, которое надо иметь для реализации нагрузки на исполнительном устройстве. Она может определяться по уравнениям (21) или (22).

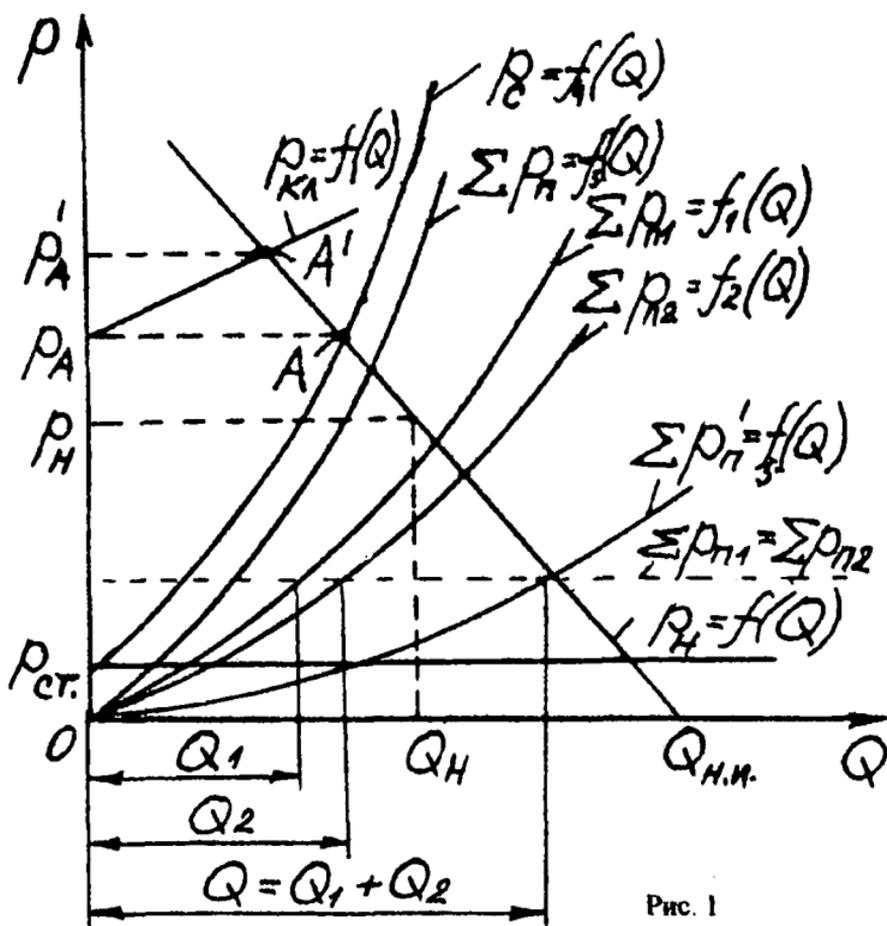


Рис. 1

После этого рассчитываются потери давления в гидрوليниях (её звеньях) и наносятся на график. Расчёт этих потерь осуществляется по приведенным выше уравнениям. Удобнее просуммировать местные  $p_m$  потери и потери  $p_l$  по длине и представить в виде

$$\sum p_n = p_{ст.} + p_m = \kappa Q^m, \quad (25)$$

где  $\kappa$  и  $m$  – постоянные коэффициенты;  $Q$  – подача (расход).

В этом случае, задаваясь значениями  $Q$ , легко в табличной форме опреде-

ляются  $\Sigma p_n$ , необходимые для построения графика.

Допустим, гидропривод содержит два звена (две линии), потери в которых  $\Sigma p_{n1}$  и  $\Sigma p_{n2}$ . Если эти звенья соединены последовательно, то суммарные потери  $\Sigma p_n = \Sigma p_{n1} + \Sigma p_{n2}$ , т.е. производится сложение по оси ординат (рис. 1).

Если эти звенья соединены параллельно, то сложение производится по оси абсцисс, так как  $Q = Q_1 + Q_2$  при  $\Sigma p_{n1} = \Sigma p_{n2} = \Sigma p'_n$ .

Если в систему включён регулирующий элемент, например дроссель, то аналогично описанному выше строится его характеристика.

Затем строится характеристика изменения давления в системе

$$p_c = p_{cm} + \Sigma p_n, \quad (26)$$

в результате чего получается рабочая точка А.

На полученное значение давления  $p_A$  в точке А можно настраивать предохранительный клапан. Однако часто учитывается запас по давлению, например,

$$p'_A = (1,1 \dots 1,15) p_A. \quad (27)$$

По полученному давлению  $p'_A$  определяется точка А', проводится линия (характеристика для предохранительного клапана  $p_{кр} = f(Q)$ ). Подбирается клапан по справочнику.

В расчётах в ряде случаев необходимо определять следующие параметры.

Диаметр  $d_{mp}$  трубопроводов:

$$d_{mp} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_{дон}}}, \quad (28)$$

где  $v_{дон}$  — допустимая скорость течения жидкости:

$v_{дон} = 0,5-1,5$  м/с — для всасывающих линий;

$v_{доп.} = 3-5$  м/с — для нагнетательных;

$v_{доп.} = 2$  м/с — для сливных.

Затем  $d_{пр.}$  округляется до ближайшего по ГОСТу размера, обеспечивающего необходимую величину  $Q$ .

Время  $t_n$  движения (перемещения) поршня (штока):

$$t_n = \frac{V_ч}{Q_ч}, \quad (29)$$

где  $V_ч$  — рабочий объём цилиндра.

Мощность

$$N = pQ, \quad (30)$$

где  $p$  и  $Q$  — соответственно давление и подача.

Выше, в разделе 2.3, показано графоаналитическое определение потерь давления в сложных трубопроводах. Однако их можно определить и расчётным путём.

Потери в трубопроводе слагаются из потерь  $p_l$  по длине (на трение) и потерь  $p_m$  в местных сопротивлениях:

$$\sum p_n = p_e + p_m = \left( \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{\rho v^2}{2}, \quad (31)$$

где  $\lambda$  — коэффициент сопротивления трению;

$l$  и  $d$  — соответственно длина и диаметр трубопровода;

$\xi$  — коэффициент местных потерь;

$v$  — скорость жидкости.

Если трубопровод содержит несколько участков с различными диаметрами, то для каждого из них надо определить скорость течения, режим течения (по числу Рейнольдса  $Re$ ), найти по соответствующей формуле коэффициент  $\lambda$  и по справочнику [3]  $\xi$  для всех местных сопротивлений. Удобнее вначале подсчитать  $Re$  для наибольшего и наименьшего диаметров трубопровода, и

если оба числа лежат в одной и той же зоне для определения  $\lambda$ , то использовать одну и ту же формулу для всех участков.

При последовательном соединении участков в трубопроводе суммарные потери

$$\sum p_n = \left[ \left( \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} + \sum \xi_1 \right) v_1^2 + \left( \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} + \sum \xi_2 \right) v_2^2 \dots + \left( \lambda_n \frac{l_n}{d_n} + \sum \xi_n \right) v_n^2 \right] \frac{\rho}{2}. \quad (32)$$

В расчётах часто за базовую принимают скорость  $v_m$ , соответствующую скорости в наименьшем по диаметру  $d_m$  трубопроводе, т.е. максимальную её величину. В этом случае остальные скорости на основании уравнения неразрывности равны

$$v_1 = v_m \left( \frac{d_m}{d_1} \right)^2, \dots, v_n = v_m \left( \frac{d_m}{d_n} \right)^2. \quad (33)$$

Скорость

$$v_m = 4Q / \pi d_m^2. \quad (34)$$

Подставив эти выражения в уравнение (32), получим

$$\sum p_n = \left[ \left( \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} + \sum \xi_1 \right) \frac{d_m^4}{d_1^4} + \dots + \left( \lambda_n \frac{l_n}{d_n} + \sum \xi_n \right) \frac{d_m^4}{d_n^4} \right] \frac{8\rho Q^2}{\pi^2 d_m^2} = kQ^2, \quad (35)$$

где  $k = \text{const}$ .

Другие рекомендации к решению задач см. в литературе [1], [2], [3].

## 5. ЗАДАЧИ ПО ГИДРОСТАТИКЕ

I-1. Канистра (цистерна), заполненная бензином и не содержащая воздуха, нагрелась на солнце до температуры  $T_2$  °C. На сколько повысилось бы давление бензина внутри канистры, если бы она была абсолютно жесткой? Начальная температура бензина  $T_1$  °C. Модуль объёмной упругости бензина

принять равным  $K=1300 \text{ МПа}$ , коэффициент температурного расширения  $\beta_T=8 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$  [1].

I-2. Определить избыточное давление воды в трубе  $B$ , если показания манометра  $p_m$ . Соединительная трубка заполнена водой и воздухом, как показано на схеме, причём известны высоты  $H_1$  и  $H_2$ .

Как изменится показание манометра, если при том же давлении в трубе всю соединительную трубку заполнить водой (воздух выпустить через кран)?

Известна высота  $H_1$ .

I-3. В цилиндрический бак диаметром  $D$  до уровня  $H$  налиты вода и бензин. Уровень воды в пьезометре ниже уровня бензина на величину  $h$ . Определить вес находящегося в баке бензина, если  $\rho_b=700 \text{ кг/м}^3$ .

I-4. При перекрытом кране  $K$  определить абсолютное давление в резервуаре, зарытом на глубине  $H=5 \text{ м}$ , если показание вакуумметра, установленного на высоте  $h$ , равно  $p_{\text{вак}}$ . Атмосферное давление  $h_a=740 \text{ мм рт.ст.}$ . Плотность бензина  $\rho_b=700 \text{ кг/м}^3$ .

I-5. Определить давление в гидросистеме и вес груза  $G$ , лежащего на поршне 2, если для подъёма к поршню 1 приложена сила  $F$ . Диаметры поршней  $D$  и  $d$ . Разностью высот пренебречь.

I-6. Определить максимальную высоту  $H_{\text{max}}$ , на которую можно подсасывать бензин поршневым насосом, если давление его насыщенных паров составляет  $h_{\text{н.п.}}$ , а атмосферное давление  $h_a$ . Чему равна при этом сила вдоль штока, если известны  $H_a$ ,  $\rho_b=700 \text{ кг/м}^3$ ;  $D$  – диаметр поршня?

I-7. Определить давление  $p_1$  жидкости, которую необходимо подвести к гидроцилиндру, чтобы преодолеть усилие  $F$ , направленное вдоль штока. Известны диаметры цилиндра  $D$  и штока  $d$ . Давление в бачке  $p_0$ . Известна высота  $H_0$ . Силу трения не учитывать. Плотность жидкости  $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$ .

I-8. Определить работу, затрачиваемую на перемещение поршня площадью  $S_n$  на расстояние  $l$  в трубопроводе, соединяющем два резервуара плота-

дями  $S_1$  и  $S_2$ , заполненные при начальном положении поршня до одной и той же высоты жидкостью плотности  $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$ . Трением поршня о стенки трубопровода пренебречь.

I-9. Определить силу прессования  $F$ , развиваемую гидравлическим прессом, у которого диаметр большого плунжера  $D$  и меньшего  $d$ . Плунжер диаметром  $D$  расположен выше второго плунжера на величину  $H$ . Усилие, приложенное к рукоятке,  $R$ . Плотность жидкости  $\rho=850 \text{ кг/м}^3$ . Жидкость считать несжимаемой,  $a=0,5 \text{ м}$ ;  $b=0,1 \text{ м}$ .

I-0. Определить диаметр  $D_1$  гидроцилиндра, необходимого для подъёма задвижки при избыточном давлении жидкости  $p$ , если диаметр трубопровода  $D_2$  и масса подвижных частей устройства  $m=204 \text{ кг}$ . Коэффициент трения задвижки в направляющих поверхностях  $f=0,3$ , сила трения в цилиндре равна 5% от веса подвижных частей. Давление за задвижкой равно атмосферному, влиянием площади штока пренебречь.

II-1. Определить силу давления жидкости плотностью  $\rho=870 \text{ кг/м}^3$  на крышку диаметром  $D$ , если известны показание ртутного манометра  $h$  и высота  $a$ , а также высота  $H$ .

II-2. Определить предварительное поджатие  $x$  пружины, нагружающей дифференциальный клапан, необходимое для того, чтобы клапан открывался при давлении  $p$ . Диаметры поршней  $D_1$  и  $D_2$ , а жесткость пружины  $C$ . Трением пренебречь.

II-3. Определить высоту  $h$ , на которую может поднять воду прямодействующий паровой поршневой насос, если известно давление  $p_m$ , диаметры  $d_1$  и  $d_2$ . Трением пренебречь.

II-4. Круглое отверстие в горизонтальном дне резервуара с жидкостью закрывается откидным клапаном диаметром  $d$ . Определить усилие  $Q$ , которое необходимо приложить для открывания клапана, находящегося на глубине  $h$ , пренебрегая его весом и трением в шарнире, если плотность жидкости  $\rho=800$

$\text{кг/м}^3$  и давление  $p=1,1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

II-5. Прямоугольный поворотный щит размером  $L \times B$  закрывает выпускное отверстие плотины. Уровни воды справа и слева от щита соответственно  $H_1$  и  $H_2$ . Определить начальную силу  $T$  натяжения тросов, необходимую для открытия щита. Трением пренебречь.

II-6. Резервуар посредством перегородки, содержащей сферическую поверхность, разделён на два отсека, в которых хранятся жидкости с плотностями  $\rho_1=1000 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_2=930 \text{ кг/м}^3$ . Определить величину и направление действия результирующей силы от давлений жидкостей на сферическую часть перегородки, если известны  $H_1, H_2, R$ .

II-7. Покоящийся на неподвижном поршне и открытый снизу и сверху сосуд массой  $m$  состоит из двух цилиндрических частей, внутренние диаметры которых  $D$  и  $d$ . Определить, какой минимальный объём  $V$  воды должен содержаться в верхней части сосуда, чтобы последний всплыл над поршнем. Трением пренебречь.

II-8. По данным условия задачи II-6 определить величину и направление усилия, действующего на сферическую часть перегородки в вертикальном направлении.

II-9. В закрытый сосуд плотно, но без трения входит цилиндрический стакан диаметром  $d$ . На стакан действует сила  $F$ . Определить разность уровней  $X$ , если прибор показывает давление  $p=0,01 \text{ МПа}$ . Массой стакана пренебречь.

II-0. Бензин плотностью  $\rho=750 \text{ кг/м}^3$  под избыточным давлением  $p$  подводится к поплавковой камере карбюратора по трубке диаметром  $d$ . Шаровой поплавок массой  $m_1$  и игла массой  $m_2$ , перекрывающая доступ бензина, укреплены на рычаге на расстояниях  $a$  и  $b$ . Рычаг может поворачиваться вокруг оси  $O$ . Определить радиус  $r$  поплавок из условия, что в момент открытия отверстия поплавков был погружен наполовину. Трением в шарнирах и массой ры

чага пренебречь.

## 6. ЗАДАЧИ ПО ГИДРОДИНАМИКЕ

III-1. Для определения потерь давления на фильтре установлены манометры, как показано на рисунке. При пропускании через фильтр жидкости, расход которой  $Q$ , давления имеют величины  $p_1$  и  $p_2$ . Определить, чему равна потеря давления в фильтре, если известны  $d_1$ ,  $d_2$  и  $\rho_{ж}=900 \text{ кг/м}^3$ .

III-2. Определить напор, создаваемый насосом системы охлаждения двигателя, при следующих данных: подача насоса  $Q$ ; коэффициенты сопротивления: блока цилиндров  $\xi_1$ ; термостата  $\xi_2$ ; радиатора  $\xi_3$ ; трубы (шланга) от радиатора до насоса  $\xi_4$ . Все эти коэффициенты отнесены к скорости в трубе диаметром  $d$ . Чему равно абсолютное давление перед входом в насос, если в верхней части радиатора возникает вакуум  $p_{вак}=1 \text{ кПа}$ , высота  $H$  известна? Атмосферное давление  $h_a=750 \text{ мм рт. ст.}$ ;  $\rho_{ж}=1000 \text{ кг/м}^3$ .

III-3. Воздух плотностью  $\rho=1,28 \text{ кг/м}^3$  засасывается двигателем из атмосферы, проходит через воздухоочиститель и затем по трубе диаметром  $d_1$  подается к карбюратору. Определить разрежение в горловине диффузора диаметром  $d_2$  (сечение 2-2) при расходе воздуха  $Q$ . Коэффициенты сопротивления: воздухоочистителя  $\xi_1$ ; колена  $\xi_2$ ; воздушной заслонки  $\xi_3$  ( $\xi_1, \xi_2, \xi_3$  отнесены к скорости в трубе); сопла  $\xi_4$  (отнесен к скорости в горловине диффузора).

III-4. Определить расход бензина через жиклёр  $J$  карбюратора диаметром  $d$ , если коэффициент расхода жиклёра  $\mu$ . Сопротивлением бензотрубки пренебречь. Давление в поплавковой камере атмосферное. Дано разрежение (вакуум) в горловине диффузора  $p_{вак}$ ;  $\rho_b=750 \text{ кг/м}^3$ .

III-5. На рисунке показан карбюратор двигателя. Поток воздуха, засасываемого в двигатель, сужается в том месте, где установлен распылитель бен-

зина (обрез трубки). Скорость воздуха в этом сечении возрастает, а давление падает. Найти соотношение между массовыми расходами воздуха и бензина  $Q_{\text{воз}}/Q_{\text{б}}$ , если известны диаметры  $D$  и  $d_{\text{ж}}$ ; коэффициент сопротивления воздушного канала до сечения 2-2  $\zeta_{\text{б}}=0,05$ ; коэффициент расхода жиклёра  $\mu=0,8$ . Плотности: воздуха  $\rho_{\text{воз}}=1,25 \text{ кг/м}^3$ ; бензина  $\rho_{\text{б}}=750 \text{ кг/м}^3$ . Сопротивлением бензотрубки пренебречь.

Указание: можно записать уравнение Бернулли для воздушного потока и уравнение истечения для бензина. При этом давление бензина и воздуха в сечении 2-2 одинаково.

III-6. К поршню ускорительного насоса карбюратора диаметром  $D$  приложена сила  $F$ . Известен диаметр  $d$  магистрали, в которой установлен клапан  $K$ . Диаметр жиклёра, через который топливо вытекает в воздушный поток  $d_{\text{ж}}$ . Определить расход бензина, приняв коэффициент сопротивления клапана  $\zeta_{\text{к}}$  (отнесен к  $d$ ); коэффициент расхода жиклёра  $\mu_{\text{ж}}=0,8$  (отнесён к  $d_{\text{ж}}$ ). Давление воздуха над поршнем и в воздушном потоке одинаково. Сопротивление магистрали диаметром  $d$  не учитывать;  $\rho_{\text{б}}=750 \text{ кг/м}^3$ .

III-7. Разрежение в горловине диффузора карбюратора  $p_{\text{вак}}$ . Диаметры жиклёров: экономического  $d_{\text{ж1}}$ , главного  $d_{\text{ж2}}$ . Определить расход бензина через главную дозирующую систему, считая коэффициенты расхода жиклёров одинаковыми:  $\mu=0,8$ ;  $\rho_{\text{б}}=700 \text{ кг/м}^3$ ;  $\Delta h=0$ .

III-8. Представленная схема карбюратора обеспечивает обеднение смеси при большом разрежении в диффузоре 1, т.к. в распылитель 2 поступает и воздух через трубку 3. Определить максимальный расход топлива  $Q$  без подсоса воздуха в распылитель, если высота жидкости в поплавковой камере  $h$ ; диаметр жиклера  $4d_{\text{ж}}$ ; коэффициент расхода  $\mu=0,8$ .

III-9. Определить скорость  $v$  перемещения поршня гидравлического амортизатора диаметром  $D$ , нагруженного силой  $F$ . Перетекание жидкости из одной полости в другую происходит через два отверстия в поршне, которые

имеют диаметры  $d$  и коэффициент расхода  $\mu=0,8$ . Плотность жидкости  $\rho_{ж}=870 \text{ кг/м}^3$ . Коэффициент трения в манжете поршня шириной  $b$  равен  $f=0,15$ . Толщину поршня не учитывать.

III-0. Рабочая камера гидроцилиндра с диаметром поршня  $D$  заполнена жидкостью с плотностью  $\rho=850 \text{ кг/м}^3$  и соединена с верхней камерой через два дросселя в виде отверстий диаметром  $d$ . Определить скорость  $V_n$  поршня. Толщина поршня  $a$ . На поршень действует сила  $F$ . Трением поршня и уплотнений в цилиндре пренебречь. Схему принять по условию задачи III-9.

IV-1. Определить перепад давления на линейном дросселе  $\Delta p = p_1 - p_2$ , если жидкость проходит через  $n$  завитков однозаходного винта прямоугольного профиля. При расчёте принять диаметры: винта  $D$ , впадины винта  $d$ , их толщину  $b=2 \text{ мм}$ , шаг  $\ell=4 \text{ мм}$ , расход жидкости  $Q$ , плотность жидкости  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$ ; её вязкость  $\nu=0,5 \text{ Ст}$ .

Указание: длину витка можно подсчитать по упрощённой формуле (по среднему диаметру)  $l_b = \pi D_{cp}$ . При ламинарном течении в трубке квадратного сечения можно принимать  $\lambda_{\tau} = 57/Re$ .

IV-2. Гидропривод с дроссельным регулированием и последовательным включением дросселя. Привод содержит насос 1, гидроцилиндр 2, регулируемый дроссель 3, переливной клапан 4 (распределитель на схеме не показан). Под каким давлением  $p_1$  нужно подвести жидкость ( $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$ ) к левой полости гидроцилиндра для перемещения поршня вправо со скоростью  $V_n$  и преодоления нагрузки  $F$ , если коэффициент местного сопротивления дросселя  $\xi_{др}$ ? Другими местными сопротивлениями и потерей на трение в трубопроводе пренебречь. Диаметры: поршня  $D_n$ , штока  $d_m$ ; трубопровода  $d_m$ .

IV-3. Рабочая жидкость (масло) подаётся к подшипнику из магистрали по трубке длиной  $l_0$  и диаметром  $d_0$  через кольцевую канавку шириной  $b$ , выполненную в средней части подшипника. Длина подшипника  $l$ , диаметр вала  $d$ ; радиальный зазор  $b_0=0,1 \text{ мм}$ . Избыточное давление масла в магистрали  $p$ ,

динамическая вязкость масла  $\mu=1,4 \text{ П}$ .

Принимая режим течения масла в трубке и зазоре ламинарным и пренебрегая влиянием вращения вала, определить количество масла, вытекающего в оба торца, если вал и подшипник расположены соосно.

IV-4. Масляный радиатор состоит из четырёх параллельных трубок эллиптического поперечного сечения. Определить потерю напора  $h_n$  в радиаторе при расходе масла  $Q$ , если известны  $a$  и  $b$ , длина каждой трубки  $l$  и вязкость масла  $\nu=1,5 \text{ Ст}$ .

Потерями напора на входе в трубку и выходе из неё, а также влиянием начального участка пренебречь, размеры коллектора считать значительно большими по сравнению с сечением трубки.

IV-5. Определить избыточное давление на входе в шестерёнчатый насос системы смазки, подающей  $Q$  масла при температуре  $t=20 \text{ }^\circ\text{C}$  (кинематическая вязкость масла  $\nu=2 \text{ Ст}$ , плотность  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$ ). Длина стального всасывающего трубопровода  $l$ , диаметр  $d$ , шероховатость  $\Delta=0,1 \text{ мм}$ . Входное сечение насоса расположено на расстоянии  $h$  ниже свободной поверхности в масляном баке. Местные потери в трубопроводе составляют 10% потерь на трение по длине.

IV-6. Смазочное масло ( $\rho=800 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu=6 \text{ сСт}$ ) подводится к подшипникам коленвала по системе трубок, состоящей из пяти одинаковых участков, каждый длиной  $l$  и диаметром  $d$ .

Сколько смазки нужно подать к узлу  $A$  системы, чтобы каждый подшипник получил её не менее  $Q_n$ ? Давление на выходе трубок в подшипники считать одинаковым, местными потерями и скоростными напорами пренебречь.

IV-7. Объёмный гидропровод поступательного движения с дроссельным регулированием скорости выходного звена (штока) содержит насос 1, регулируемый дроссель 2, гидроцилиндр 3, шток которого нагружен силой  $F$ , предохранительный клапан 4 (закрыт).

Определить давление на выходе насоса и скорость перемещения  $U_n$  поршня диаметром  $D$  со штоком при таком открытии дросселя, когда его можно рассматривать как отверстие площадью  $S_D$  с коэффициентом расхода  $\mu=0,65$ . Подача насоса  $Q$ , Плотность жидкости  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$ . Потерями в трубопроводах пренебречь.

IV-8. Рабочая жидкость с вязкостью  $\nu=0,2 \text{ См}$  и плотностью  $\rho=800 \text{ кг/м}^3$  подаётся в цилиндр пресса грузовым гидроаккумулятором по трубопроводу длиной  $l$  и диаметром  $d$ . Вес  $G$ ; диаметр поршня  $D_1$ . Определить скорость движения плунжера, если усилие прессования  $F$ , а диаметр плунжера  $D_2$ . Режим течения принять ламинарным. Весом плунжера пренебречь.

IV-9. Определить давление насоса и его подачу, если сила на штоке  $F$ , а скорость перемещения поршня  $U_n=0,1 \text{ м/с}$ . Учесть потерю давления на трение в трубопроводе длиной  $l$  и диаметром  $d$ . Каждый канал распределителя по сопротивлению эквивалентен длине трубопровода  $l_1=100d$ . Диаметр поршня  $D$ , площадь штока принять равной нулю. Параметры масла  $\nu=1 \text{ См}$ ,  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$ .

IV-0. Для подъёма груза  $G$  со скоростью  $U$  используются два гидроцилиндра диаметром  $D$ . Груз смещён относительно оси платформы так, что нагрузка на штоке 1-го цилиндра  $F_1$ , а на штоке второго цилиндра  $F_2$ . Каким должен быть коэффициент сопротивления дросселя  $\xi_g$ , чтобы платформа поднималась без перекашивания? Диаметр трубопровода  $d$ ; плотность жидкости  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$ . Потерями на трение по длине трубы пренебречь.

### Исходные данные по контрольной работе

| Задачи | Параметры,<br>размерность            | Варианты исходных данных |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|--------------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |                                      | 1                        | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 0     |
| I      | 2                                    | 3                        | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    |
| I-1    | $T_1, ^\circ\text{C}$                | 20                       | 19    | 18    | 17    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    |
|        | $T_2, ^\circ\text{C}$                | 55                       | 50    | 45    | 40    | 45    | 40    | 30    | 35    | 40    | 45    |
| I-2    | $p_m, \text{МПа}$                    | 0,03                     | 0,025 | 0,02  | 0,03  | 0,025 | 0,024 | 0,023 | 0,02  | 0,03  | 0,02  |
|        | $H_1, \text{м}$                      | 1,0                      | 0,95  | 0,9   | 0,85  | 0,8   | 0,7   | 0,75  | 0,7   | 0,6   | 0,5   |
|        | $H_2, \text{м}$                      | 4,0                      | 4,5   | 3,0   | 3,5   | 3,0   | 4,0   | 4,5   | 4,0   | 2,5   | 3,2   |
|        | $H_3, \text{м}$                      | 5,0                      | 5,1   | 5,2   | 5,3   | 5,4   | 5,5   | 5,4   | 5,3   | 5,2   | 5,1   |
| I-3    | $H, \text{м}$                        | 2,0                      | 2,2   | 2,1   | 2,0   | 1,9   | 1,8   | 1,7   | 1,6   | 1,5   | 1,4   |
|        | $h, \text{м}$                        | 0,5                      | 0,4   | 0,35  | 0,3   | 0,25  | 0,3   | 0,4   | 0,45  | 0,38  | 0,45  |
|        | $D, \text{м}$                        | 3,0                      | 2,9   | 2,8   | 2,7   | 2,6   | 2,5   | 2,4   | 2,3   | 2,2   | 2,1   |
| I-4    | $H, \text{м}$                        | 6,0                      | 6,1   | 5,9   | 5,8   | 5,7   | 5,6   | 5,5   | 5,4   | 5,3   | 5,1   |
|        | $h, \text{м}$                        | 2,0                      | 2,1   | 1,95  | 1,9   | 1,85  | 1,8   | 1,75  | 1,7   | 1,6   | 1,9   |
|        | $p_{\text{рак}}, \text{МПа}$         | 0,03                     | 0,029 | 0,028 | 0,027 | 0,026 | 0,025 | 0,024 | 0,023 | 0,022 | 0,021 |
| I-5    | $F, \text{кН}$                       | 1,0                      | 1,1   | 1,2   | 1,3   | 1,2   | 1,1   | 1,0   | 1,4   | 1,5   | 1,0   |
|        | $D, \text{мм}$                       | 300                      | 310   | 320   | 340   | 350   | 350   | 340   | 350   | 380   | 320   |
|        | $d, \text{мм}$                       | 100                      | 110   | 120   | 130   | 140   | 130   | 120   | 125   | 135   | 145   |
| I-6    | $h_{\text{нп}}, \text{мм}$<br>рт.ст. | 200                      | 210   | 220   | 230   | 240   | 250   | 260   | 270   | 280   | 250   |
|        | $h_a, \text{мм}$<br>рт.ст.           | 700                      | 710   | 720   | 730   | 740   | 735   | 725   | 715   | 700   | 710   |
|        | $H_0, \text{м}$                      | 1,0                      | 1,1   | 1,2   | 1,3   | 1,4   | 1,35  | 1,25  | 1,15  | 1,05  | 1,0   |
|        | $D, \text{мм}$                       | 60                       | 65    | 50    | 55    | 45    | 40    | 60    | 65    | 50    | 55    |

| 1    | 2                                | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10   | 11    | 12    |
|------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| I-7  | F, кН                            | 1,0   | 1,1   | 1,2   | 1,3   | 1,4   | 1,5   | 1,6   | 1,5  | 1,4   | 1,3   |
|      | D, мм                            | 50    | 52    | 54    | 55    | 51    | 55    | 60    | 65   | 55    | 60    |
|      | d, мм                            | 25    | 22    | 25    | 20    | 25    | 20    | 25    | 20   | 25    | 20    |
|      | p <sub>0</sub> , кПа             | 50    | 52    | 53    | 55    | 57    | 59    | 60    | 55   | 50    | 45    |
|      | H <sub>0</sub> , м               | 5,0   | 4,8   | 4,7   | 4,5   | 4,4   | 4,2   | 4,0   | 4,4  | 4,6   | 4,8   |
| I-8  | S <sub>1</sub> , м <sup>2</sup>  | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,006 | 0,007 | 0,008 | 0,009 | 0,01 | 0,005 | 0,006 |
|      | S <sub>2</sub> , м <sup>2</sup>  | 0,006 | 0,008 | 0,01  | 0,012 | 0,014 | 0,016 | 0,018 | 0,02 | 0,01  | 0,012 |
|      | S <sub>п</sub> , мм <sup>3</sup> | 100   | 110   | 115   | 120   | 125   | 130   | 135   | 140  | 145   | 150   |
| I-9  | D, мм                            | 300   | 390   | 380   | 370   | 360   | 350   | 340   | 330  | 320   | 310   |
|      | d, мм                            | 30    | 25    | 20    | 15    | 20    | 25    | 30    | 25   | 20    | 15    |
|      | H, м                             | 0,2   | 0,19  | 0,18  | 0,17  | 0,16  | 0,15  | 0,14  | 0,13 | 0,12  | 0,11  |
|      | R, м                             | 50    | 60    | 70    | 80    | 90    | 100   | 120   | 140  | 160   | 200   |
| I-0  | p, МПа                           | 1,0   | 1,1   | 1,2   | 1,3   | 1,4   | 1,5   | 1,6   | 1,7  | 1,8   | 1,9   |
|      | D <sub>2</sub> , м               | 1,0   | 1,1   | 1,2   | 1,3   | 1,4   | 1,5   | 1,6   | 1,8  | 1,7   | 1,6   |
| II-1 | D, м                             | 1,0   | 0,9   | 0,8   | 0,7   | 0,6   | 0,5   | 0,6   | 0,7  | 0,8   | 0,9   |
|      | h, мм                            | 150   | 140   | 130   | 120   | 110   | 100   | 90    | 80   | 70    | 60    |
|      | a, м                             | 0,20  | 0,19  | 0,18  | 0,17  | 0,16  | 0,15  | 0,14  | 0,13 | 0,12  | 0,11  |
|      | H, м                             | 2,0   | 1,9   | 1,8   | 1,7   | 1,6   | 1,5   | 1,4   | 1,3  | 1,2   | 1,1   |
| II-2 | p, МПа                           | 0,1   | 0,2   | 0,15  | 0,12  | 0,13  | 0,16  | 0,17  | 0,18 | 0,14  | 0,2   |
|      | D <sub>1</sub> , мм              | 30    | 25    | 20    | 22    | 30    | 25    | 20    | 24   | 23    | 22    |
|      | D <sub>2</sub> , мм              | 25    | 20    | 15    | 19    | 25    | 18    | 18    | 21   | 20    | 17    |
|      | C, Н/мм                          | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 14    | 13   | 12    | 11    |
| II-3 | p <sub>н</sub> , МПа             | 0,5   | 0,45  | 0,4   | 0,35  | 0,3   | 0,25  | 0,2   | 0,15 | 0,24  | 0,1   |
|      | d <sub>1</sub> , мм              | 60    | 70    | 80    | 90    | 100   | 110   | 120   | 130  | 100   | 150   |
|      | d <sub>2</sub> , мм              | 120   | 140   | 150   | 190   | 200   | 230   | 250   | 260  | 200   | 300   |
| II-4 | d, мм                            | 900   | 850   | 800   | 750   | 700   | 650   | 600   | 550  | 520   | 500   |
|      | h, м                             | 2,0   | 2,1   | 2,2   | 2,3   | 2,4   | 2,5   | 2,6   | 2,7  | 2,5   | 2,8   |

| I     | 2                    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| II-5  | L, м                 | 1,0  | 2,0  | 3,0  | 4,0  | 5,0  | 6,0  | 7,0  | 8,0  | 10   | 9,0  |
|       | B, м                 | 0,5  | 1,0  | 1,5  | 2,0  | 2,5  | 2,0  | 1,5  | 2,5  | 1,0  | 0,5  |
|       | H <sub>1</sub> , м   | 0,5  | 1,0  | 1,5  | 2,0  | 2,5  | 2,0  | 5,5  | 7,5  | 8,5  | 8,3  |
|       | H <sub>2</sub> , м   | 1,5  | 2,5  | 3,5  | 5,0  | 6,0  | 6,5  | 7,5  | 8,5  | 10,5 | 9,5  |
| II-6  | R, м                 | 1,0  | 0,9  | 0,8  | 0,7  | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,2  | 0,1  | 0,3  |
|       | H <sub>1</sub> , м   | 2,0  | 1,9  | 1,8  | 1,7  | 1,6  | 1,5  | 1,4  | 1,3  | 1,2  | 1,1  |
|       | H <sub>2</sub> , м   | 1,0  | 0,8  | 0,7  | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,3  | 0,2  | 0,1  | 0,7  |
| II-7  | m, кг                | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   |
|       | D, м                 | 0,5  | 0,55 | 0,6  | 0,65 | 0,7  | 0,75 | 0,8  | 0,85 | 0,7  | 0,6  |
|       | d, м                 | 0,3  | 0,35 | 0,4  | 0,45 | 0,5  | 0,55 | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,3  |
| II-8  | R, м                 | 1,0  | 0,9  | 0,8  | 0,7  | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,2  | 0,1  | 0,3  |
|       | H <sub>1</sub> , м   | 2,0  | 1,9  | 1,8  | 1,7  | 1,6  | 1,5  | 1,4  | 1,3  | 1,2  | 1,1  |
|       | H <sub>2</sub> , м   | 1,0  | 0,8  | 0,7  | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,3  | 0,2  | 0,1  | 0,7  |
| II-9  | d, мм                | 0,4  | 0,42 | 0,43 | 0,45 | 0,47 | 0,49 | 0,5  | 0,38 | 0,37 | 0,36 |
|       | F, кН                | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 1,3  | 1,2  | 1,1  | 1,0  |
| II-0  | p, кПа               | 30   | 31   | 32   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   | 38   | 39   |
|       | d, мм                | 4,0  | 4,1  | 4,2  | 4,3  | 4,4  | 4,5  | 4,6  | 4,7  | 4,8  | 4,9  |
|       | m <sub>1</sub> , г   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   | 31   | 32   | 33   | 34   |
|       | m <sub>2</sub> , г   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   |
|       | a, мм                | 40   | 41   | 42   | 43   | 44   | 45   | 46   | 47   | 48   | 49   |
|       | b, мм                | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   |
| III-1 | Q, л/с               | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  |
|       | p <sub>1</sub> , МПа | 0,1  | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,19 |
|       | p <sub>2</sub> , МПа | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,21 |
|       | d <sub>1</sub> , мм  | 5,0  | 6,0  | 8,0  | 5,0  | 6,0  | 8,0  | 5,0  | 8,0  | 5,0  | 5,0  |
|       | d <sub>2</sub> , мм  | 8,0  | 10   | 10   | 8,0  | 10   | 10   | 10   | 10   | 10   | 8,0  |

| 1     | 2                          | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| III-2 | Q, л/с                     | 3,9  | 4,0  | 4,1  | 4,2  | 4,3  | 4,4  | 4,5  | 4,6  | 4,7  | 4,8  |
|       | $\xi_1$                    | 3,5  | 3,6  | 3,7  | 3,8  | 3,9  | 4,0  | 3,9  | 3,8  | 3,7  | 3,6  |
|       | $\xi_2$                    | 2,5  | 2,6  | 2,7  | 2,8  | 2,9  | 3,0  | 2,9  | 2,8  | 2,7  | 2,6  |
|       | $\xi_3$                    | 4,0  | 4,1  | 4,2  | 4,3  | 4,4  | 4,5  | 4,4  | 4,3  | 4,2  | 4,1  |
|       | $\xi_4$                    | 2,0  | 2,1  | 2,2  | 2,3  | 2,4  | 2,5  | 2,6  | 2,7  | 2,8  | 2,9  |
|       | d, мм                      | 40   | 45   | 50   | 40   | 45   | 50   | 40   | 45   | 50   | 40   |
|       | H, м                       | 0,4  | 0,45 | 0,4  | 0,45 | 0,4  | 0,5  | 0,55 | 0,4  | 0,5  | 0,45 |
| III-3 | d <sub>1</sub> , мм        | 50   | 51   | 52   | 53   | 54   | 55   | 54   | 53   | 52   | 51   |
|       | d', мм                     | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   | 29   | 28   | 27   | 26   |
|       | Q, м <sup>3</sup> /с       | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,07 |
|       | $\xi_1$                    | 5,0  | 5,1  | 5,2  | 5,3  | 5,4  | 5,5  | 5,4  | 5,3  | 5,2  | 5,1  |
|       | $\xi_2$                    | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,5  | 1,4  | 1,3  |
|       | $\xi_3$                    | 0,5  | 0,51 | 0,52 | 0,53 | 0,54 | 0,55 | 0,56 | 0,57 | 0,58 | 0,59 |
|       | $\xi_4$                    | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,04 |
| III-4 | d, мм                      | 1,2  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,3  | 1,2  | 1,1  | 1,2  | 1,3  |
|       | $\mu$                      | 0,8  | 0,75 | 0,8  | 0,75 | 0,8  | 0,75 | 0,8  | 0,75 | 0,8  | 0,75 |
|       | $\rho_{\text{рак}}$ , кг/л | 18   | 20   | 19   | 20   | 19   | 18   | 19   | 20   | 19   | 18   |
| III-5 | D, мм                      | 30   | 32   | 33   | 34   | 33   | 32   | 31   | 33   | 34   | 35   |
|       | d <sub>ж</sub> , мм        | 1,8  | 1,9  | 2,0  | 2,0  | 1,8  | 2,0  | 2,1  | 1,9  | 2,1  | 2,3  |
| III-6 | D, мм                      | 16   | 15   | 17   | 18   | 19   | 20   | 18   | 17   | 16   | 15   |
|       | F, Н                       | 5,0  | 6,0  | 7,0  | 8,0  | 9,0  | 10   | 10   | 9,0  | 8,0  | 7,0  |
|       | d, мм                      | 2,0  | 1,9  | 1,8  | 1,7  | 1,7  | 1,8  | 1,9  | 1,9  | 2,0  | 2,0  |
|       | d <sub>ж</sub> , мм        | 0,8  | 0,85 | 0,9  | 0,95 | 1,0  | 1,1  | 1,0  | 0,9  | 0,8  | 0,7  |
|       | $\xi_{\text{ж}}$           | 10   | 10   | 9,0  | 9,0  | 8,0  | 8,0  | 9,0  | 9,0  | 10   | 10   |
| III-7 | $\rho_{\text{рак}}$ , кг/л | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   |
|       | d <sub>ж1</sub> , мм       | 1,0  | 1,05 | 1,1  | 1,15 | 1,2  | 1,25 | 1,3  | 1,2  | 1,1  | 1,0  |
|       | d <sub>ж2</sub> , мм       | 0,8  | 0,85 | 0,9  | 0,95 | 1,0  | 1,0  | 1,1  | 1,0  | 0,9  | 0,8  |

|       |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1     | 2                    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| III-8 | h, мм                | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   |
|       | d <sub>ж</sub> , мм  | 3,0  | 2,9  | 2,8  | 2,7  | 2,6  | 2,5  | 2,4  | 2,5  | 2,6  | 2,7  |
| III-9 | D, мм                | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   | 75   | 80   | 75   | 60   | 55   |
|       | F, кН                | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 19   | 20   | 20   |
| III-0 | d, мм                | 2,0  | 2,1  | 2,2  | 2,3  | 2,4  | 2,5  | 2,6  | 2,45 | 2,1  | 2,0  |
|       | b, мм                | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 4,0  | 4,0  | 4,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 4,0  |
|       | a, мм                | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 15   | 14   | 13   |
| IV-1  | h                    | 2    | 2,1  | 2,2  | 2,3  | 2,4  | 2,5  | 2,6  | 2,7  | 2,8  | 2,9  |
|       | D, мм                | 20   | 22   | 24   | 25   | 28   | 30   | 32   | 34   | 35   | 38   |
|       | d, мм                | 16   | 18   | 20   | 21   | 27   | 27   | 28   | 29   | 30   | 36   |
|       | Q, л/с               | 0,2  | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 |
| IV-2  | U <sub>н</sub> , м/с | 0,1  | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,19 |
|       | F, Н                 | 1000 | 1050 | 1100 | 1150 | 1200 | 1250 | 1300 | 1350 | 1400 | 1450 |
|       | ξ <sub>Ф</sub>       | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   |
|       | D <sub>н</sub> , мм  | 60   | 62   | 64   | 65   | 57   | 70   | 70   | 65   | 64   | 60   |
|       | d <sub>ш</sub> , мм  | 30   | 31   | 32   | 32   | 33   | 35   | 35   | 32   | 34   | 30   |
|       | d <sub>г</sub> , мм  | 6    | 6    | 6    | 8    | 8    | 8    | 10   | 10   | 5    | 5    |
| IV-3  | b <sub>г</sub> , мм  | 0,8  | 0,85 | 0,9  | 0,95 | 1,0  | 1,05 | 1,1  | 1,15 | 1,2  | 1,25 |
|       | d <sub>г</sub> , мм  | 6    | 5    | 6    | 5    | 6    | 5    | 6    | 5    | 6    | 5    |
|       | h, мм                | 10   | 9    | 8    | 7    | 7    | 6    | 8    | 9    | 9    | 10   |
|       | ℓ <sub>ш</sub> , мм  | 120  | 125  | 130  | 135  | 140  | 145  | 150  | 140  | 130  | 120  |
|       | d, мм                | 60   | 55   | 50   | 45   | 45   | 50   | 50   | 55   | 60   | 55   |
|       | p, кПа               | 160  | 150  | 155  | 165  | 140  | 145  | 160  | 165  | 150  | 140  |
| IV-4  | Q, л/с               | 0,2  | 0,25 | 0,3  | 0,35 | 0,4  | 0,4  | 0,35 | 0,3  | 0,25 | 0,2  |
|       | a, мм                | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   |
|       | b, мм                | 4    | 4    | 3,9  | 3,8  | 3,7  | 3,6  | 3,5  | 3,4  | 3,3  | 3,2  |
|       | ℓ <sub>ш</sub>       | 0,3  | 0,25 | 0,3  | 0,25 | 0,3  | 0,25 | 0,3  | 0,25 | 0,3  | 0,4  |

| 1    | 2                                   | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| IV-5 | Q, л/мин                            | 60   | 61   | 62   | 63   | 63   | 64   | 65   | 66   | 67   | 68   |
|      | l, м                                | 5    | 5,1  | 5,2  | 5,3  | 5,4  | 5,5  | 5,4  | 5,3  | 5,2  | 5,1  |
|      | d, мм                               | 30   | 31   | 32   | 33   | 34   | 35   | 34   | 33   | 32   | 31   |
|      | h, м                                | 2    | 2,1  | 2,2  | 2,3  | 2,4  | 2,5  | 2,4  | 2,4  | 2,5  | 2,5  |
| IV-6 | l, м                                | 0,5  | 0,55 | 0,6  | 0,65 | 0,7  | 0,75 | 0,8  | 0,85 | 0,9  | 0,95 |
|      | d, мм                               | 4    | 4    | 4,5  | 4,5  | 5,0  | 5,0  | 4,5  | 4,5  | 4    | 4    |
|      | Q <sub>н</sub> , см <sup>3</sup> /с | 8    | 8,5  | 9,0  | 9,5  | 10   | 9,5  | 9    | 8,5  | 8    | 7,5  |
| IV-7 | F, Н                                | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 | 1700 | 1800 | 1900 | 2000 | 2100 |
|      | D, мм                               | 40   | 42   | 44   | 45   | 45   | 42   | 44   | 40   | 40   | 45   |
|      | Q, л/с                              | 0,50 | 0,51 | 0,52 | 0,53 | 0,54 | 0,55 | 0,56 | 0,57 | 0,58 | 0,59 |
| IV-8 | l, м                                | 100  | 95   | 90   | 85   | 80   | 75   | 70   | 65   | 60   | 55   |
|      | d, мм                               | 30   | 20   | 30   | 20   | 15   | 30   | 35   | 25   | 30   | 30   |
|      | G, кН                               | 380  | 370  | 360  | 350  | 340  | 330  | 320  | 310  | 300  | 370  |
|      | D <sub>1</sub> , мм                 | 220  | 210  | 215  | 220  | 200  | 200  | 210  | 210  | 200  | 200  |
|      | F, кН                               | 650  | 650  | 640  | 640  | 630  | 630  | 620  | 620  | 610  | 610  |
|      | D <sub>2</sub> , мм                 | 300  | 290  | 280  | 270  | 260  | 265  | 260  | 270  | 290  | 300  |
| IV-9 | F, кН                               | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   |
|      | l, м                                | 8    | 8,5  | 8,7  | 9    | 8    | 10   | 8    | 9    | 10   | 9    |
|      | d, мм                               | 14   | 13   | 14   | 11   | 10   | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   |
|      | D, мм                               | 100  | 100  | 90   | 90   | 95   | 95   | 80   | 80   | 100  | 100  |
| IV-0 | l, м/с                              | 0,15 | 0,14 | 0,13 | 0,12 | 0,11 | 0,1  | 0,09 | 0,08 | 0,1  | 0,16 |
|      | D, мм                               | 100  | 95   | 90   | 85   | 80   | 75   | 70   | 100  | 95   | 90   |
|      | F <sub>1</sub> , кН                 | 6    | 6,2  | 6,4  | 6,6  | 6,8  | 7,0  | 7,1  | 7,2  | 7,3  | 7,5  |
|      | F <sub>2</sub> , кН                 | 5    | 5,1  | 6,2  | 5,3  | 5,4  | 5,5  | 5,6  | 5,7  | 5,8  | 5,9  |
|      | d, мм                               | 10   | 9,5  | 9,0  | 8,5  | 8    | 8    | 7,5  | 8    | 9    | 10   |

## 7. ЗАДАНИЯ ПО КУРСОВОЙ РАБОТЕ

**Задание 1.** Для вращения вентиляторов двигателя внутреннего сгорания большой мощности используется объемный гидропривод, состоящий из порторного гидронасоса 1 и гидромотора 2, регулируемого дросселя 3, предохранительного клапана 4. Компенсация утечек рабочей жидкости в гидроприводе с замкнутым штоком (насос 1 — гидролиния 5 — мотор 2 — гидролиния 6 — насос 1) обеспечивается дополнительной гидросистемой подпитки, в которую входят подпиточный насос 7, переливной клапан 8, поддерживающий постоянное давление подпитки  $p_n=0,4 \text{ МПа}$  в линии 9, обратный клапан 10, фильтр 11.

Определить необходимое давление гидронасоса, частоту вращения его вала, мощность, затрачиваемую на привод насоса, частоту вращения вала двигателя при нагрузке на валу гидромотора  $M_n$ , если плотность рабочей жидкости  $\rho=850 \text{ кг/м}^3$ , кинематическая вязкость  $\nu=1,24 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ . Гидролинии 5 и 6 одинакового диаметра имеют по  $m$  крутых поворотов (под углом  $90^\circ$ ). Клапан 4 закрыт, а дроссель 3 открыт и имеет площадь проходного сечения  $S_d$ . Коэффициент расхода дросселя  $\mu_d$ .

Длина каждой гидролинии 5 и 6  $l$ . Построить характеристику гидропривода, подобрав гидронасос, гидромотор и предохранительный клапан.

**Задание 2.** В процессе сборки двигателя внутреннего сгорания используется гидравлический подъемник, рабочий орган 1 которого поднимается или опускается с помощью двух гидроцилиндров 2 и 3, входящих в состав гидропривода, состоящего из гидронасоса 4, предохранительного клапана 5, дросселирующего распределителя 6, фильтра 7 с предохранительным клапаном 8, гидрозамка 9.

Определить время подъема рабочего органа весом  $G$ , жестко соединенно-

го со штоками гидроцилиндров 2 и 3, если гидролинии имеют длины и диаметры соответственно  $l_1, l_2$  и  $d_1, d_2$ . Размеры гидроцилиндров:  $D$  — диаметр поршня,  $d_m$  — диаметр штока,  $h$  — ход поршня. Плотность рабочей жидкости  $\rho=870 \text{ кг/м}^3$ . Коэффициенты местных сопротивлений: распределителя  $\xi_p$ , гидрозамка  $\xi_z$ , фильтра  $\xi_\phi$ . Трение в гидроцилиндрах и утечки не учитывать.

Построить характеристику гидропривода, подобрать насос 4, распределитель 6, предохранительный клапан 5.

**Задание 3.** При ремонте двигателя внутреннего сгорания используется гидропривод, в котором регулируемый дроссель 1 установлен параллельно гидроцилиндру 2. Гидропривод содержит также гидронасос 3, предохранительный клапан 4, гидрораспределитель 5, фильтр 6 с предохранительным клапаном 7.

Определить необходимые подачу  $Q_n$  и давление  $p_n$  насоса 3. Выбрать насос при подаче жидкости плотностью  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$ . Длины гидролиний 8, 9, 10 и 11 соответственно  $l_1, l_2, l_3$  и  $l_4$ .

Потеря давления в гидрораспределителе (для каждой линии)  $0,10 \text{ МПа}$ . Гидроцилиндр имеет диаметры поршня  $D$  и штока  $d_m$ . Реализуемое усилие  $F$  при скорости штока  $U_m$ . Дроссель 1 открыт и имеет проходное сечение  $S_d$ , коэффициент расхода  $\mu_d$ . Клапан 7 закрыт. Каналы фильтра 6 заменить эквивалентной длиной  $l_\phi=200 d_4$ , где  $d_4$  — диаметр гидролинии 11. Трение в гидроцилиндре не учитывать.

Построить характеристику гидропривода, выбрать предохранительный клапан 4. Диаметр  $d_2$  определить из учёта скорости  $U_m$  ( $d_1=d_2=d_3=d_4$ ).

**Задание 4.** В установке для восстановления деталей двигателя используется гидропривод, содержащий гидронасос 1, предохранительный клапан 2, регулируемый дроссель 3, направляющий распределитель 4, фильтр 5 с предохранительным клапаном 6, гидравлический преобразователь давления 7, исполнительные механизмы (гидроцилиндры) 8 и 9.

Построить характеристику привода. Подобрать насос и предохранительный клапан. Определить скорости  $v_1$  и  $v_2$  гидроцилиндров 8 и 9, если известны силы  $F_1$  и  $F_2$ , плотность рабочей жидкости  $\rho=880 \text{ кг/м}^3$ , диаметры  $D_1, D_2, D_3, D_4$ , длины гидропроводов  $l, l_1, l_2$  и их диаметры  $d, d_1, d_2$ , коэффициенты сопротивления дросселя и распределителя соответственно  $\xi_d$  и  $\xi_p$ . Заменить фильтр эквивалентной длиной  $l_f=180 d$

Сопротивление в сливной линии и трение в гидроцилиндрах не учитывать.

Задание 5. При штамповке деталей двигателя используется гидропривод, содержащий два одинаковых насоса 1 и 2, фильтр 3 с предохранительным клапаном, обратные клапаны 4 и 5, клапаны 6 и 7, настроенные на высокое и низкое давления, гидрораспределитель 8, гидроцилиндр 9, напорную (10) и сливную (11) гидролинии, теплообменник 12.

Построить характеристику гидропривода, подобрать насосы, найти давления настройки клапанов 6 и 7, если известны диаметры поршня  $D$  и штока  $d_{ш}$ , длины нагнетательной и сливной гидролиний, обозначенные соответственно  $l_1$  и  $l_2$ , плотность рабочей жидкости  $\rho=875 \text{ кг/м}^3$ . Местными потерями в гидроаппаратах пренебречь.

Поршень гидроцилиндра 9 вначале передвигается быстро до достижения усилия на штоке  $F_1$ , так как в этом случае жидкость в магистраль 10 подают оба насоса. Затем клапан 7 открывается и жидкость поступает в магистраль 10 только от насоса 1. Усилие на штоке увеличивается до  $F_2$ . Изменение усилия от  $F_1$  до  $F_2$  происходит за время  $t$ , поршень при этом проходит расстояние  $L$ . Начальное усилие  $F_1=20 \text{ кН}$ . Полный ход поршня 350 мм. Построить нагрузочный график  $F_1=f(L)$ .

Задание 6. В гидросистеме охлаждения V-образного двигателя внутреннего сгорания центробежный насос 1, имеющий один вход и два выхода, нагнетает жидкость в охлаждающие рубашки блоков цилиндров 2 и 3 по трубо-

проводам 4 и 5 длиной  $l_1$  и диаметром  $d_1$ . Из блоков цилиндров 2 и 3 жидкость движется по трубопроводам 6 и 7 длиной  $l_2$  и диаметром  $d_2$  в теплообменник (радиатор) 8, а затем из последнего — снова в насос 1 по трубопроводу 9 длиной  $l_3$  и диаметром  $d_3$ . Частота вращения рабочего колеса насоса  $\omega_1$ ;  $d_3=1,5d_1$ ;  $l_3=l_1$ .

Решая задачу графоаналитически и принимая режим течения жидкости турбулентным (коэффициент Дарси  $\lambda_m=0,035$ ), построить характеристику гидросистемы (включая характеристику насоса), если коэффициенты сопротивления каждого блока цилиндров 4 и 5  $\xi_{4,1}$ , а радиатора 8  $\xi_p$ . Каждый трубопровод 4, 5, 6, 7, 9 имеет изгиб в виде колена с коэффициентом сопротивления  $\xi_k$ . Характеристика насоса при частоте вращения рабочего колеса  $\omega_1=157 \text{ с}^{-1}$ :

|            |      |      |      |      |     |     |      |     |      |
|------------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|------|
| Q, л/с     | 0    | 1    | 2    | 3    | 4   | 5   | 6    | 7   | 8    |
| H, м       | 6,25 | 6,35 | 6,27 | 6,10 | 5,9 | 5,5 | 5,16 | 4,6 | 3,75 |
| $\eta$ , % | 0    | 24   | 35,0 | 39,5 | 40  | 37  | 30   | 20  | 7    |

Определить расход воды в гидросистеме, напор насоса, КПД насоса и потребляемую мощность (способ пересчёта характеристики насоса изложен в главе 5 [1]). Q, H,  $\eta$  — подача, напор, давление и КПД насоса.

**Задание 7.** Газотурбинный двигатель большой мощности удерживается на заданном режиме центробежным регулятором 1, который пропускает через себя в бак часть подачи насоса 2 по трубопроводам 3 и 4, имеющим длины  $l_1$  и  $l_2$ , диаметрами  $d_1$  и  $d_2$ . Топливо с плотностью  $\rho=800 \text{ кг/м}^3$  подаётся в камеру сгорания 5, в которой давление  $p_0=0,5 \text{ МПа}$ , из бака 6 по трубопроводам 7, 8 и 9, через коллектор 10 (кольцевую трубу) и шесть форсунок 11 с отверстиями  $d_f=1 \text{ мм}$  и коэффициентами расхода  $\mu_f=0,25$ . Длины и диаметры трубопроводов 8 и 9 соответственно  $l_3$ ,  $d_3$  и  $l_4$ ,  $d_4$ . Определить весовой расход топлива двигателем и мощность, потребляемую насосом, приняв режим течения тур-

булентным, а коэффициент Дарси  $\lambda_m=0,04$ . Рабочий объем насоса  $V$ , частота вращения  $\omega$ , полный КПД насоса  $\eta=0,8$  при давлении  $p_n$  (объемный КПД  $\eta_v=0,86$ ).

Центробежный регулятор рассматривать как дроссель 12 с отверстием площадью  $S$  и коэффициентом расхода  $\mu$ .

Задачу лучше решать графоаналитически. Построить характеристику гидросистемы.

**Задание 8.** В двигателе внутреннего сгорания подача масла для смазки коренных подшипников коленчатого вала производится насосом 1 по трубопроводу 2 длиной  $l_1$  и диаметром  $d_1$  через фильтр 3 и распределительный канал 4, от которого отходят три отводных канала 5, 6 и 7 длиной  $l_2$  и диаметром  $d_2$  к середине подшипников 8, 9, 10. Часть подачи насоса по трубопроводу 11 длиной  $l_1$  и диаметром  $d_1$  подается в радиатор 12, из которого по такому же трубопроводу 13 сливается в картер 14.

Определить давление насоса 1 и расход масла через подшипники и радиатор (диаметр шейки коленвала  $d_\phi$ , длина подшипника  $S$ ).

Зазоры в подшипниках считать концентрическими и равными  $\delta$ . Влиянием вращения вала пренебречь. Сопротивление фильтра и радиатора принять эквивалентным сопротивлению трубок длиной  $l_\phi=100 d_1$ ,  $l_p=1300 d_1$ . Масло имеет плотность  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$  и кинематическую вязкость  $0,3 \text{ Ст}$ . Давление в распределительном канале 4 считать постоянным по длине. Режим течения считать ламинарным. Трубопроводы 2, 11 и 13 имеют по два прямоугольных поворота (колена), а каналы 5, 6 и 7 — по одному колену.

Характеристика насоса:

|             |     |      |      |
|-------------|-----|------|------|
| Q, л/с      | 0   | 0,10 | 0,12 |
| $p_n$ , МПа | 0,7 | 0,60 | 0    |

Построить характеристику системы смазки.

**Задание 9.** Гидросистема смазки двигателя предназначена для непрерыв-

ного подвала смазочного материала (масла) в зоны трения под определённым давлением, очистки смазочного материала от продуктов изнашивания и поддержания температуры в заданных пределах. Гидросистема состоит из насоса 1, полноточного масляного фильтра 2, центральной напорной магистрали 3 с каналами 4, 5, 6, 7, 8, редукционного (9) и перепускного (10) клапанов. Насос приводится в действие от распредвала. Из напорной магистрали 3 по каналам 4 и 5 масло подаётся к коренным подшипникам 11 и 12, а через каналы 6 и 7 — к шатунным подшипникам 13, 14. Кроме того, масло поступает через канал 8 к опорным шейкам распредвала, которые изображены в виде одного подшипника 15. Часть масла очищается фильтром 16, параллельно которому подключён предохранительный клапан 17. Давление масла контролируется манометром 18.

Определить давление насоса, давление настройки редукционного клапана. Построить характеристику гидросистемы.

Известны:  $D_1, b_1$  и  $\delta_1$  — диаметр, длина и зазор подшипника коренных шеек 11 и 12;  $D_2, b_2$  и  $\delta_2$  — диаметр, длина и зазор подшипника шатунных шеек 13 и 14;  $D_3, b_3$  и  $\delta_3$  — диаметр, длина и зазор подшипника 15 распредвала;  $p_c$  — показание (давление) манометра 18,  $l_0, l_1, \dots, l_7$  и  $d_0, d_1, \dots, d_7$  — длины и диаметры каналов,  $b_n$  — ширины проточки на середине всех подшипников скольжения,  $Q$  — подача насоса,  $h_\phi = 5 \text{ м}$  — потери напора в фильтре 2. Плотность масла  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ , динамическая вязкость масла  $\nu = 0,006 \text{ Па}\cdot\text{с}$ . Расход масла через фильтр 16 равен  $Q_\phi = 0,1 Q$ . Потери на сливе равны нулю.

**Задание 0.** Воздух засасывается двигателем из атмосферы, проходит через воздушный фильтр 1 (с коэффициентом сопротивления  $\xi_1$ ) и затем по трубе 2 диаметром  $d_1$ , минуя дроссельную заслонку 3 (с коэффициентом  $\xi_2$ ), подаётся в диффузор 4, солено 5 которого имеет коэффициент сопротивления  $\xi_3$ . В узком сечении II-II диффузора расположено выходное отверстие распылителя 6

Бензин засасывается из бака 7 через сетчатый фильтр 8 с коэффициентом сопротивления  $\xi_\phi$  на высоту  $H$  по всасывающему трубопроводу 9 диаметром  $d_m$  и длиной  $l_m$  насосом 10 и по трубопроводу 11 длиной  $l=1,5$  м и диаметром  $d_m$  подаётся в поплавковую камеру карбюратора 12 через игольчатый клапан с коэффициентом сопротивления  $\xi_{ик}=0,74$ .

Все колена (повороты) в трубопроводах 9 и 11 считать одинаковыми, с коэффициентами сопротивления  $\xi_k=0,75$ .

Бензин проходит через жиклёр 13 с коэффициентом расхода  $\mu$  и вытекает в воздушный поток через распылитель 6.

Определить абсолютное давление бензина перед входом в насос, на выходе из него и диаметр жиклёра 13. Следует учесть: коэффициент избытка воздуха  $\alpha=Q_6/14,8Q_6$ ; коэффициенты  $\xi_1$  и  $\xi_2$  отнести к диаметру  $d_1$ ,  $\xi_3$  — к  $d_2$ ; а  $\xi_k$ ,  $\xi_{ик}$  и  $\xi_\phi$  — к  $d_m$ ; сопротивлением трубки распылителя пренебречь. Принять  $h=0$ ,  $h_1=h_2=80$  мм, а также, что сечения  $II-II'$  и  $V-V'$  расположены на одной и той же горизонтальной плоскости.

Указание: Плотность бензина  $\rho_6=750$  кг/м<sup>3</sup>, вязкость  $\nu_6=0,01$  см<sup>2</sup>/с. Плотность воздуха  $\rho_a=1,28$  кг/м<sup>3</sup>,  $\alpha=1$ . Подача насоса  $Q_n=5Q_6$ , где  $Q_6$  — расход бензина через жиклёр 13. Для определения диаметра жиклёра необходимо составить уравнение Бернулли для потока воздуха и уравнение истечения бензина через жиклёр 13.

### Исходные данные к курсовой работе

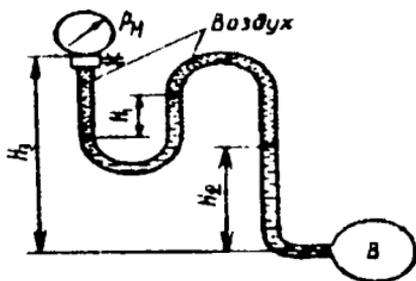
| Задание | Параметры, размерность | Варианты исходных данных |     |      |      |     |      |     |      |     |      |
|---------|------------------------|--------------------------|-----|------|------|-----|------|-----|------|-----|------|
|         |                        | 1                        | 2   | 3    | 4    | 5   | 6    | 7   | 8    | 9   | 0    |
| 1       | 2                      | 3                        | 4   | 5    | 6    | 7   | 8    | 9   | 10   | 11  | 12   |
| 1       | $\omega_n, c^{-1}$     | 110                      | 120 | 115  | 130  | 100 | 105  | 108 | 109  | 125 | 135  |
|         | $M_M, НМ$              | 25                       | 24  | 23   | 22   | 21  | 22   | 23  | 24   | 25  | 24   |
|         | $m$                    | 6,0                      | 5,0 | 6,0  | 5,0  | 6,0 | 5,0  | 6,0 | 5,0  | 6,0 | 5,0  |
|         | $S_{\Delta}, мм^2$     | 4,0                      | 3,0 | 2,0  | 4,0  | 3,0 | 2,0  | 4,0 | 5,0  | 3,0 | 4,5  |
|         | $\mu_{\Delta}$         | 0,75                     | 0,7 | 0,8  | 0,75 | 0,8 | 0,7  | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,82 |
|         | $\xi_m$                | 4,5                      | 5,0 | 4,5  | 5,0  | 4,5 | 5,0  | 4,5 | 5,0  | 5,0 | 4,0  |
| 2       | $G, кН$                | 10                       | 9,5 | 9,0  | 8,5  | 8,0 | 7,0  | 7,5 | 6,9  | 7,9 | 8,8  |
|         | $l_1, м$               | 3,0                      | 3,1 | 3,2  | 3,3  | 3,4 | 3,5  | 3,6 | 2,9  | 2,8 | 2,7  |
|         | $l_2, м$               | 2,0                      | 2,1 | 2,2  | 2,3  | 2,4 | 2,4  | 2,5 | 2,6  | 2,7 | 2,8  |
|         | $d_1, мм$              | 10                       | 8   | 10   | 8    | 15  | 10   | 8   | 5    | 8   | 10   |
|         | $d_2, мм$              | 8                        | 6   | 6    | 5    | 10  | 8    | 6   | 4    | 8   | 5    |
|         | $D, мм$                | 300                      | 250 | 250  | 300  | 280 | 270  | 200 | 180  | 150 | 120  |
|         | $d, мм$                | 120                      | 100 | 80   | 150  | 140 | 120  | 100 | 90   | 80  | 70   |
|         | $h, м$                 | 0,7                      | 0,6 | 0,65 | 0,75 | 0,5 | 0,55 | 0,4 | 0,8  | 0,7 | 0,6  |
|         | $\xi_p$                | 5,0                      | 5,0 | 4,5  | 4,5  | 4,0 | 4,0  | 5,1 | 5,2  | 5,3 | 5,4  |
|         | $\xi_1$                | 1,0                      | 2,0 | 2,0  | 1,0  | 1,5 | 2,0  | 1,7 | 1,1  | 1,3 | 1,5  |
| $\xi_0$ | 2,0                    | 3,0                      | 2,0 | 3,0  | 2,5  | 2,2 | 2,1  | 2,3 | 2,0  | 2,4 |      |

| 1                 | 2                      | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-------------------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3                 | $l_1, \text{ м}$       | 1,0  | 2,0  | 1,9  | 1,8  | 1,7  | 1,6  | 1,5  | 1,4  | 1,3  | 1,2  |
|                   | $l_2, \text{ м}$       | 2,0  | 1,25 | 1,35 | 1,45 | 1,55 | 1,95 | 1,85 | 1,75 | 1,65 | 1,55 |
|                   | $l_3, \text{ м}$       | 2,2  | 1,6  | 2,0  | 2,0  | 1,1  | 1,4  | 2,0  | 2,0  | 1,2  | 1,3  |
|                   | $l_4, \text{ м}$       | 2,0  | 1,5  | 1,5  | 1,8  | 2,0  | 1,9  | 1,8  | 1,7  | 1,6  | 1,5  |
|                   | $D, \text{ мм}$        | 150  | 145  | 140  | 135  | 130  | 130  | 125  | 135  | 135  | 120  |
|                   | $d_{III}, \text{ мм}$  | 80   | 80   | 85   | 70   | 75   | 70   | 80   | 80   | 75   | 65   |
|                   | $F, \text{ кН}$        | 15,0 | 14,0 | 13,0 | 12,0 | 11,0 | 11,0 | 11,0 | 11,3 | 12,3 | 11,2 |
|                   | $U_{III}, \text{ м/с}$ | 0,1  | 0,11 | 0,12 | 0,1  | 0,13 | 0,14 | 0,1  | 0,14 | 0,15 | 0,11 |
|                   | $S_{20}, \text{ мм}^2$ | 1,5  | 2,0  | 1,95 | 1,9  | 1,8  | 1,85 | 1,7  | 1,75 | 1,6  | 1,65 |
| $\mu_A$           | 0,7                    | 0,71 | 0,72 | 0,73 | 0,74 | 0,75 | 0,71 | 0,72 | 0,73 | 0,74 |      |
| 4                 | $D_1=D_2, \text{ мм}$  | 200  | 190  | 180  | 160  | 130  | 100  | 80   | 180  | 130  | 110  |
|                   | $D_3, \text{ мм}$      | 500  | 450  | 400  | 350  | 300  | 250  | 200  | 450  | 300  | 350  |
|                   | $D_4, \text{ мм}$      | 250  | 220  | 200  | 180  | 150  | 120  | 100  | 200  | 150  | 120  |
|                   | $l_1=l_2, \text{ мм}$  | 3,5  | 3,6  | 3,7  | 3,8  | 3,9  | 4,0  | 4,1  | 4,15 | 4,2  | 4,0  |
|                   | $l, \text{ мм}$        | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,05 | 1,15 | 1,5  | 1,4  | 1,3  | 1,2  | 1,0  |
|                   | $d_1=d_2, \text{ мм}$  | 5,0  | 5,5  | 5,5  | 5,5  | 5,0  | 5,0  | 5,0  | 5,5  | 6,0  | 6,0  |
|                   | $d, \text{ мм}$        | 6,0  | 5,0  | 6,0  | 5,0  | 6,0  | 5,0  | 6,0  | 5,0  | 6,0  | 5,0  |
|                   | $\xi_p$                | 5,0  | 4,9  | 4,8  | 4,7  | 4,6  | 4,5  | 4,4  | 4,3  | 4,2  | 4,0  |
|                   | $\xi_{II}$             | 10   | 9,5  | 8,5  | 8,0  | 7,5  | 7,0  | 6,5  | 6,0  | 5,5  | 9,0  |
|                   | $F_2, \text{ кН}$      | 8    | 5    | 9    | 10   | 11   | 15   | 12   | 8    | 10   | 6    |
| $F_1, \text{ кН}$ | 5                      | 8    | 10   | 12   | 15   | 11   | 8    | 9    | 6    | 8    |      |

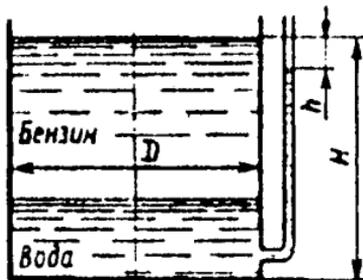
| 1              | 2                                   | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|----------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 5              | D, мм                               | 340  | 350  | 360  | 370  | 380  | 390  | 400  | 395  | 385  | 375  |
|                | d <sub>III</sub> , мм               | 200  | 205  | 210  | 215  | 215  | 215  | 220  | 210  | 205  | 205  |
|                | ℓ=ℓ <sub>1</sub> , м                | 3,5  | 4,0  | 4,0  | 3,0  | 3,0  | 4,0  | 4,0  | 3,0  | 3,5  | 4,5  |
|                | F <sub>1</sub> , кН                 | 50   | 51   | 51   | 52   | 52   | 53   | 53   | 53   | 52   | 51   |
|                | F <sub>2</sub> , кН                 | 200  | 201  | 202  | 203  | 204  | 205  | 204  | 203  | 202  | 201  |
|                | t, с                                | 5,0  | 5,1  | 5,2  | 5,3  | 5,15 | 5,25 | 5,35 | 5,3  | 5,2  | 5,1  |
|                | L, мм                               | 85,0 | 85,5 | 86,0 | 85,5 | 86,0 | 85,0 | 86,0 | 86,5 | 85,5 | 86,0 |
| 6              | ℓ, м                                | 0,8  | 0,85 | 0,9  | 0,95 | 1,0  | 1,0  | 0,95 | 0,9  | 0,85 | 0,8  |
|                | d <sub>1</sub> , мм                 | 30   | 35   | 30   | 35   | 30   | 35   | 30   | 35   | 30   | 35   |
|                | ℓ <sub>2</sub> , м                  | 1,8  | 1,7  | 1,85 | 1,75 | 1,65 | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,85 | 1,75 |
|                | d <sub>2</sub> , мм                 | 30   | 35   | 30   | 35   | 30   | 35   | 30   | 35   | 30   | 35   |
|                | ω <sub>1</sub> , с <sup>-1</sup>    | 250  | 260  | 270  | 275  | 265  | 280  | 285  | 270  | 260  | 270  |
|                | ξ <sub>Л</sub>                      | 4,0  | 4,1  | 4,2  | 4,3  | 4,4  | 4,5  | 4,5  | 4,4  | 4,3  | 4,15 |
|                | ξ <sub>Р</sub>                      | 7,0  | 7,1  | 7,2  | 7,15 | 7,25 | 7,25 | 7,3  | 7,2  | 7,25 | 7,15 |
| ξ <sub>К</sub> | 0,3                                 | 0,31 | 0,32 | 0,33 | 0,3  | 0,3  | 0,32 | 0,33 | 0,31 | 0,32 |      |
| 7              | ℓ=ℓ <sub>2</sub> , м                | 2,0  | 2,5  | 2,6  | 2,7  | 2,4  | 2,3  | 2,1  | 2,2  | 2,5  | 2,6  |
|                | ℓ=ℓ <sub>1</sub> , м                | 4,0  | 4,1  | 4,2  | 4,3  | 4,4  | 4,5  | 4,4  | 4,3  | 4,2  | 4,1  |
|                | d <sub>1</sub> =d <sub>2</sub> , мм | 5,0  | 5,0  | 4,5  | 4,5  | 4,5  | 5,0  | 5,0  | 5,0  | 4,5  | 4,5  |
|                | d <sub>3</sub> =d <sub>4</sub> , мм | 4,0  | 4,5  | 4,5  | 4,5  | 5,0  | 5,0  | 4,0  | 4,0  | 4,0  | 4,5  |
|                | V, см <sup>3</sup>                  | 5,0  | 6,0  | 5,0  | 6,0  | 5,0  | 6,0  | 5,0  | 6,0  | 5,0  | 5,0  |
|                | ω <sub>1</sub> , с <sup>-1</sup>    | 800  | 700  | 600  | 750  | 650  | 800  | 750  | 700  | 650  | 650  |
|                | S, мм <sup>2</sup>                  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,3  | 1,2  | 1,1  | 1,1  | 1,0  | 1,2  |
|                | μ                                   | 0,7  | 0,72 | 0,73 | 0,74 | 0,75 | 0,74 | 0,73 | 0,72 | 0,7  | 0,71 |
|                | ρ <sub>II</sub> , МПа               | 1,2  | 1,1  | 1,0  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,25 | 1,3  | 1,0  |

| 1             | 2                | 3    | 4    | 5    | 6    | 7     | 8     | 9     | 10    | 11   | 12    |
|---------------|------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 8             | $l_1=l_2$ , м    | 1,0  | 0,9  | 0,95 | 0,8  | 0,85  | 0,7   | 0,75  | 0,8   | 0,9  | 1,0   |
|               | $d_1=d_3$ , мм   | 10   | 9,5  | 9,0  | 8,5  | 8,0   | 8,0   | 8,5   | 9,0   | 9,5  | 8,5   |
|               | $l_3$ , м        | 0,25 | 0,3  | 0,35 | 0,4  | 0,4   | 0,25  | 0,3   | 0,5   | 0,4  | 0,32  |
|               | $d_2$ , мм       | 4,0  | 4,0  | 3,5  | 3,5  | 3,7   | 3,7   | 3,6   | 3,6   | 3,5  | 3,5   |
|               | $d_0$ , мм       | 50   | 55   | 60   | 55   | 60    | 55    | 60    | 50    | 60   | 55    |
|               | $S$ , мм         | 60   | 65   | 64   | 63   | 62    | 61    | 60    | 59    | 58   | 65    |
|               | $\delta$ , мм    | 0,1  | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,08  | 0,085 | 0,09  | 0,095 | 0,1  | 0,09  |
| 9             | $D_1$ , мм       | 60   | 60   | 55   | 50   | 60    | 45    | 50    | 40    | 45   | 50    |
|               | $b_1$ , мм       | 25   | 28   | 22   | 25   | 30    | 20    | 30    | 25    | 30   | 33    |
|               | $\delta_1$ , мм  | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,055 | 0,05  | 0,05  | 0,04  | 0,05 | 0,045 |
|               | $D_2$ , мм       | 52   | 50   | 48   | 55   | 52    | 40    | 52    | 38    | 51   | 55    |
|               | $b_2$ , мм       | 21   | 20   | 21   | 24   | 25    | 18    | 20    | 22    | 30   | 25    |
|               | $\delta_2$ , мм  | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,05  | 0,03  | 0,04  | 0,035 | 0,04 | 0,045 |
|               | $D_3$ , мм       | 35   | 30   | 32   | 34   | 35    | 30    | 31    | 30    | 30   | 32    |
|               | $b_3$ , мм       | 30   | 32   | 30   | 33   | 35    | 28    | 34    | 25    | 33   | 34    |
|               | $\delta_3$ , мм  | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,03  | 0,02  | 0,025 | 0,02  | 0,03 | 0,031 |
|               | $p_c$ , МПа      | 0,4  | 0,45 | 0,42 | 0,4  | 0,45  | 0,38  | 0,4   | 0,3   | 0,4  | 0,45  |
|               | $l_0$ , м        | 1,0  | 0,9  | 0,8  | 1,0  | 0,8   | 0,7   | 0,8   | 0,7   | 0,9  | 1,0   |
|               | $d_0$ , мм       | 4,0  | 4,5  | 4,0  | 4,0  | 3,8   | 3,5   | 3,7   | 3,5   | 4,0  | 4,1   |
|               | $l_4=l_5$ , м    | 0,25 | 0,3  | 0,25 | 0,28 | 0,3   | 0,3   | 0,28  | 0,25  | 0,3  | 0,31  |
|               | $d_1=d_4$ , мм   | 4,0  | 4,1  | 4,0  | 4,2  | 4,0   | 3,5   | 3,9   | 3,5   | 3,8  | 4,0   |
|               | $l_6=l_7$ , м    | 0,25 | 0,3  | 0,3  | 0,28 | 0,3   | 0,4   | 0,37  | 0,25  | 0,25 | 0,3   |
|               | $d_2=d_3$ , мм   | 3,0  | 3,1  | 3,2  | 3,8  | 3,0   | 2,5   | 3,1   | 3,0   | 3,5  | 3,0   |
|               | $l_8$ , м        | 0,35 | 0,4  | 0,41 | 0,4  | 0,42  | 0,35  | 0,45  | 0,3   | 0,3  | 0,45  |
|               | $d_5$ , мм       | 3,0  | 3,1  | 3,2  | 3,7  | 3,0   | 2,5   | 2,8   | 3,0   | 2,8  | 3,0   |
|               | $l_9=l_{10}$ , м | 0,24 | 0,25 | 0,3  | 0,25 | 0,22  | 0,3   | 0,35  | 0,28  | 0,25 | 0,3   |
|               | $d_7=d_6$ , мм   | 3,0  | 3,1  | 3,2  | 3,7  | 2,8   | 2,5   | 2,4   | 2,9   | 3,0  | 3,0   |
| $b_{11}$ , мм | 3,0              | 3,1  | 3,2  | 3,7  | 2,8  | 2,5   | 2,5   | 3,0   | 3,1   | 3,1  |       |
| $Q$ , л/с     | 0,35             | 0,4  | 0,36 | 0,35 | 0,3  | 0,31  | 0,4   | 0,3   | 0,4   | 0,37 |       |

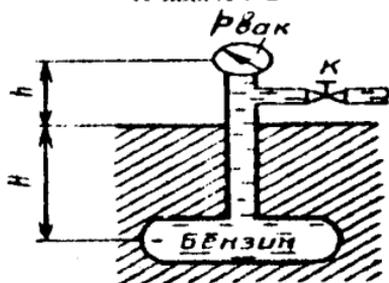
| 1 | 2             | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|---|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | $\xi_1$       | 3,0  | 3,1  | 3,2  | 3,3  | 3,4  | 3,5  | 3,3  | 3,2  | 3,1  | 3,0  |
|   | $\xi_2$       | 1,0  | 1,5  | 1,6  | 1,4  | 1,3  | 1,2  | 1,1  | 1,3  | 1,2  | 1,1  |
|   | $\xi_3$       | 0,1  | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 1,15 |
|   | $d_1$ , мм    | 50   | 60   | 55   | 54   | 53   | 52   | 51   | 50   | 58   | 60   |
|   | $d_2$ , мм    | 35   | 40   | 45   | 44   | 43   | 42   | 41   | 37   | 48   | 35   |
|   | $B$ , м       | 5,0  | 5,1  | 5,2  | 5,3  | 5,4  | 5,5  | 5,6  | 5,7  | 5,8  | 6,0  |
|   | $d_T$ , мм    | 5,0  | 4,5  | 4,5  | 5,0  | 5,0  | 4,5  | 4,5  | 5,0  | 5,0  | 4,5  |
|   | $H$ , м       | 4,5  | 4,0  | 4,1  | 4,2  | 4,3  | 4,4  | 4,5  | 4,6  | 4,7  | 4,8  |
|   | $\mu$         | 0,75 | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,7  | 0,7  | 0,7  |
|   | $Q_n$ , Н/час | I30  | I35  | I40  | I46  | I50  | I30  | I35  | I40  | I45  | I50  |



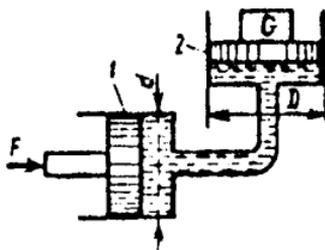
К задаче 1 2



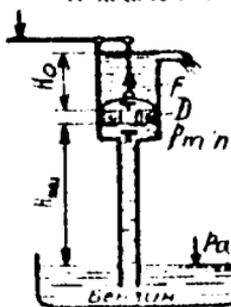
К задаче 1 3



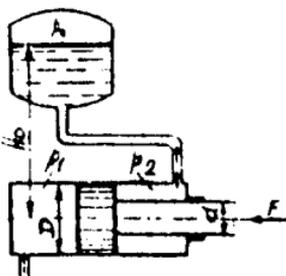
К задаче 1 4



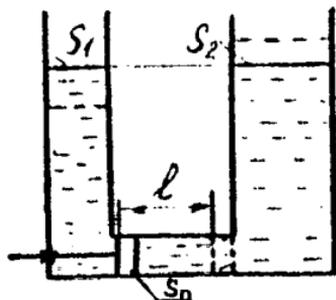
К задаче 1 5



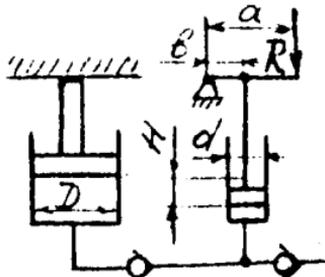
К задаче 1 6



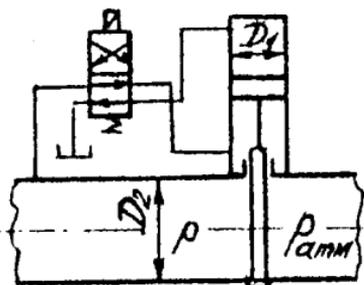
К задаче 1 7



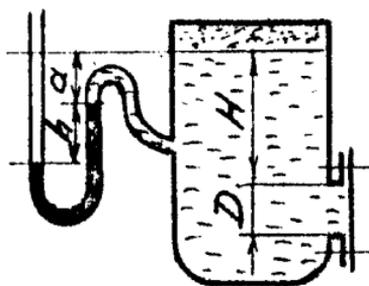
К задаче 1 8



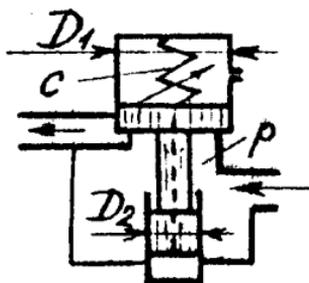
К задаче 1 9



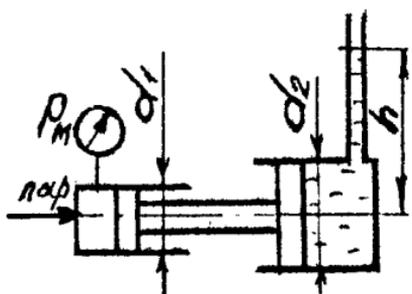
К задаче I-0



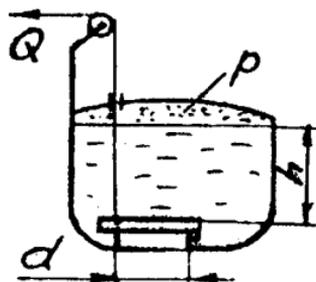
К задаче II-1



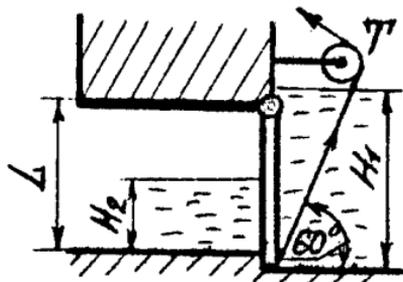
К задаче II-2



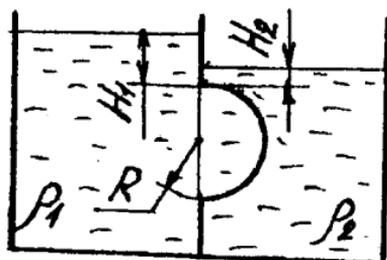
К задаче II-3



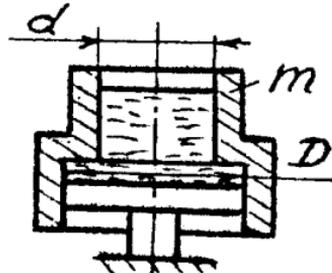
К задаче II-4



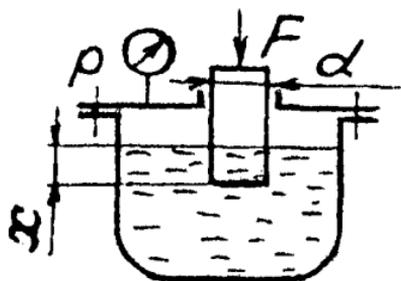
К задаче II-5



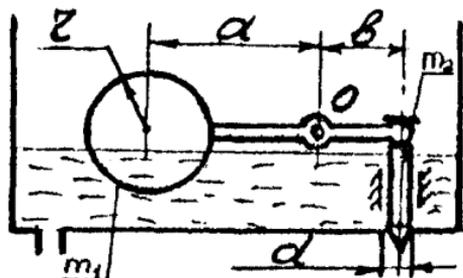
К задаче II-6



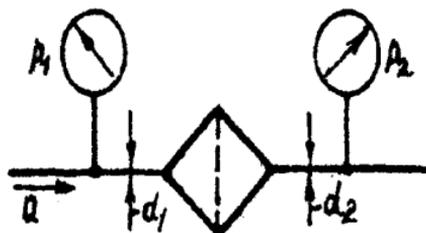
К задаче II-7



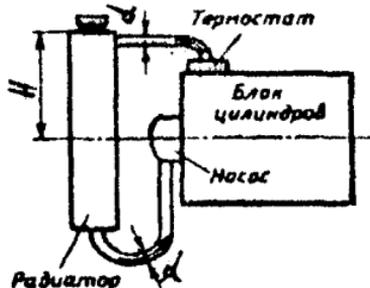
К задаче II-9



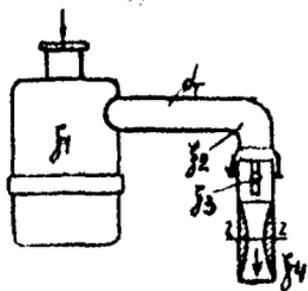
К задаче II-10



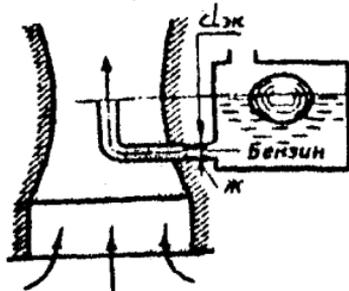
К задаче III-1



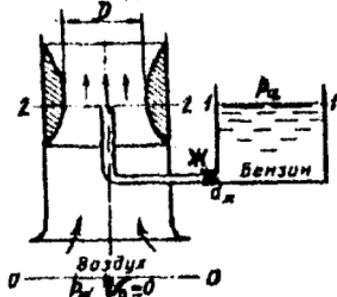
К задаче III-2



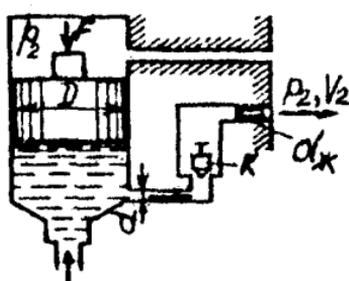
К задаче III-3



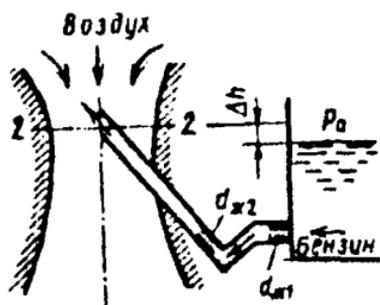
К задаче III-4



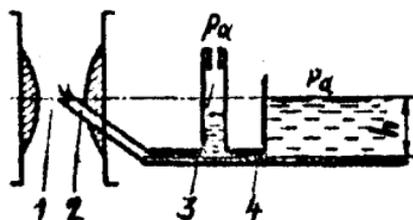
К задаче III-5



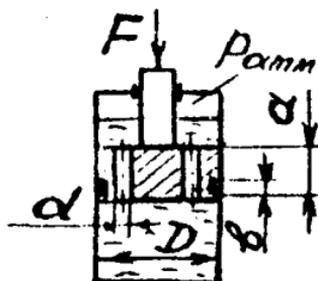
К задаче III-6



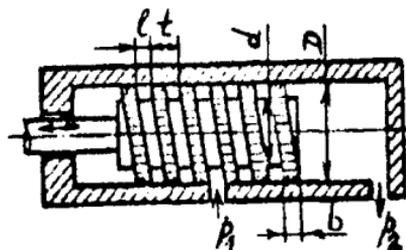
К задаче III 7



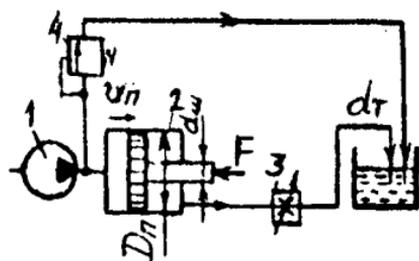
К задаче III 8



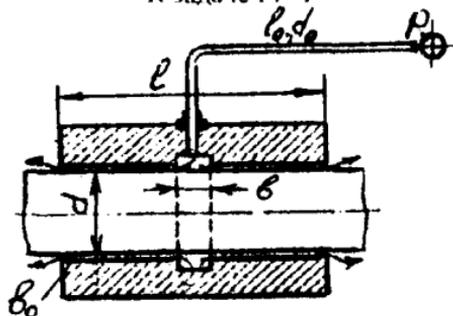
К задаче III 9



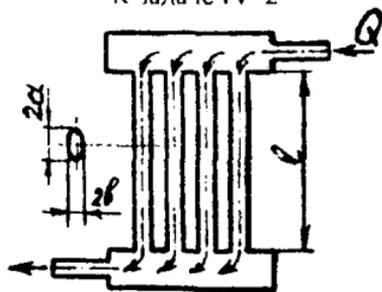
К задаче IV 1



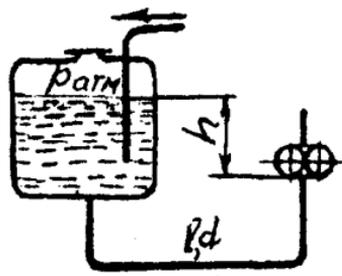
К задаче IV 2



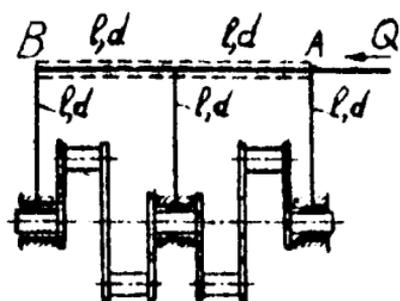
К задаче IV 3



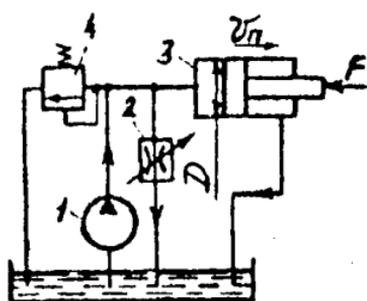
К задаче IV 4



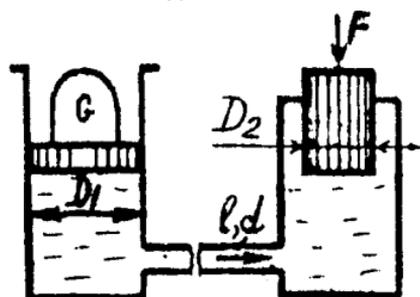
К задаче IV 5



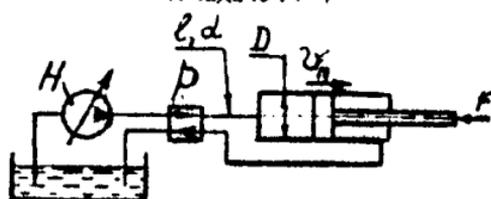
К задаче IV-6



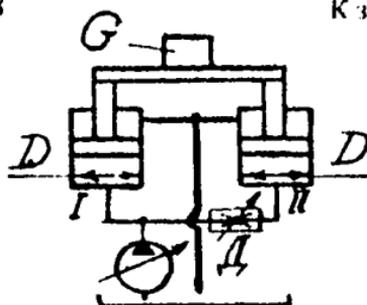
К задаче IV-7



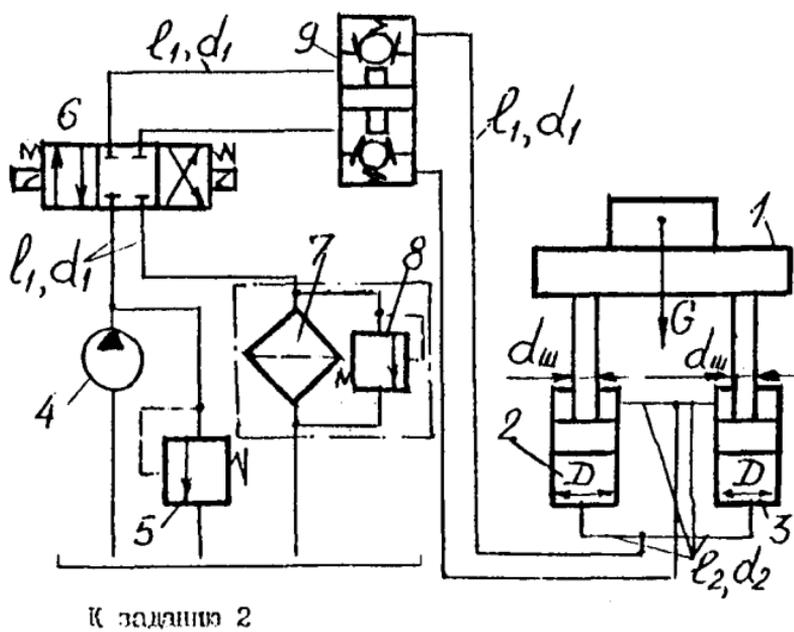
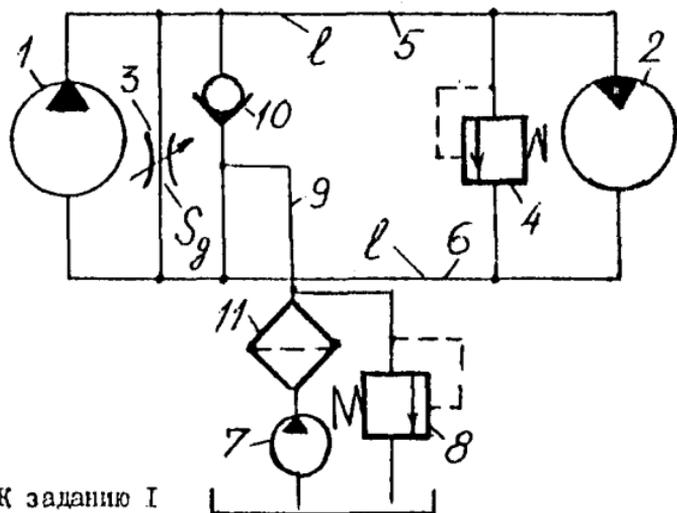
К задаче IV-8

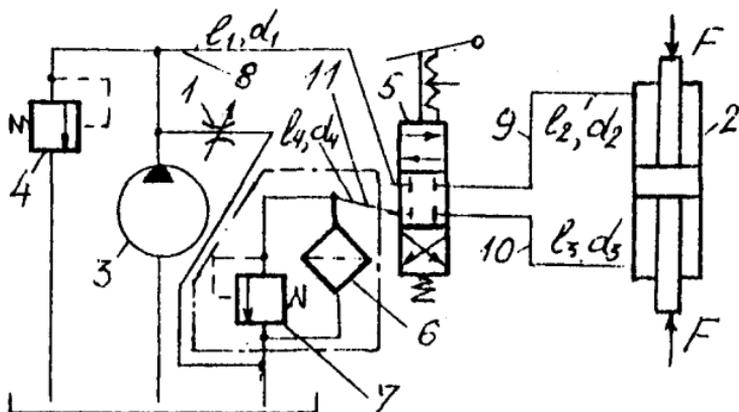


К задаче IV-9

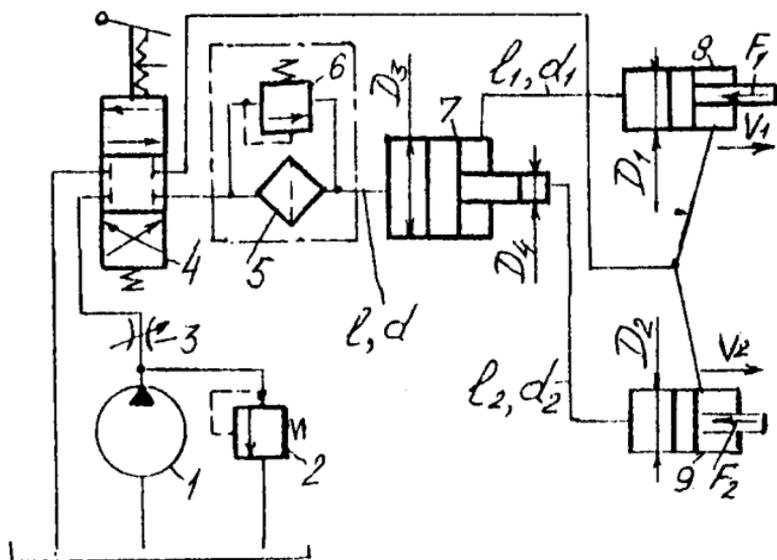


К задаче IV-0

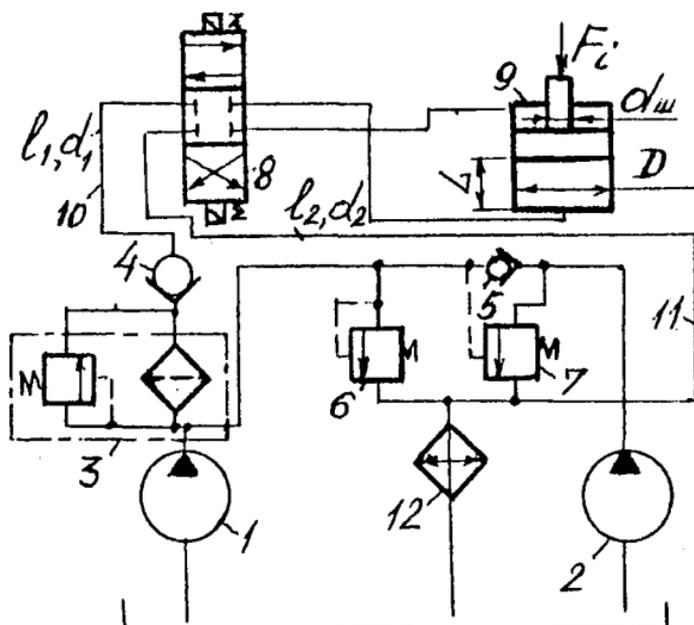




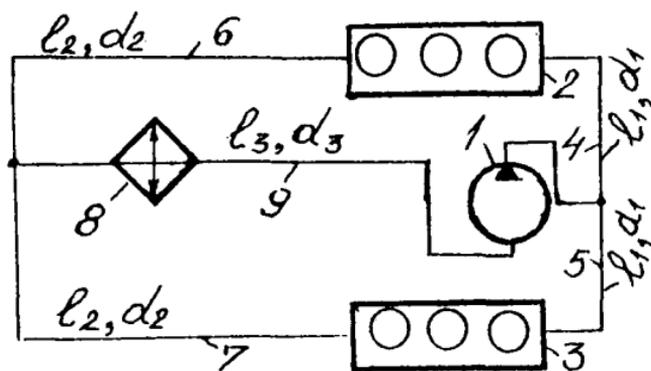
К заданию 3



К заданию 1

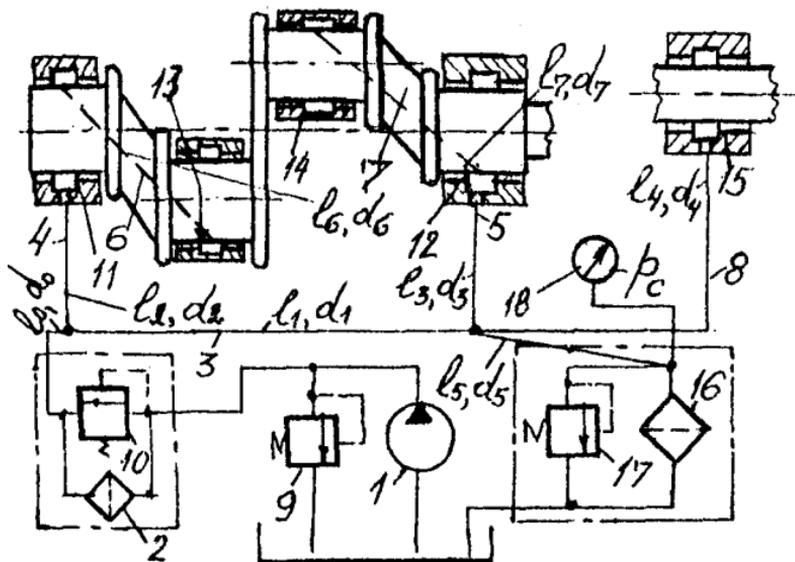


К заданию 5

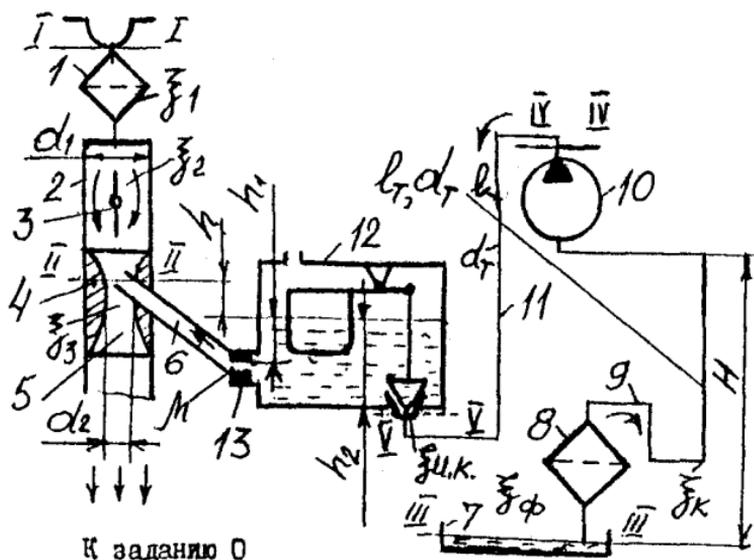


К заданию 6





К заданию 9



К заданию 0

## Литература

1. Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу: Учеб. пособие / Под ред. Б.Б. Некрасова. – М.: Высш. школа, 1989. – 192 с.
2. Сборник задач по машиностроительной гидравлике: Учеб. пособие для машиностроительных вузов / Под ред. И.И. Куклевского и Л.Г. Подвидзе. – М.: Машиностроение, 1981. – 464 с.
3. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Под общей ред. Б.Б. Некрасова. – Мн.: Выш. школа, 1985. – 381 с.
4. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.
5. Чупранов Ю.И. Гидропривод и средства гидроавтоматики. – М.: Машиностроение, 1979. – 231 с.
6. Хомин К.М., Никитин О.Ф. Основы гидравлики и объемные гидроприводы. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....   | 3  |
| 2 РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА.....  | 3  |
| 3. ВЫБОР ВАРИАНТОВ КОНТРОЛЬНЫХ И КУРСОВЫХ РАБОТ.....                          | 6  |
| 4. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ И КУРСОВЫХ РАБОТ..... | 7  |
| 4.1. Гидростатика.....  | 7  |
| 4.2. Гидродинамика.....   | 9  |
| 4.3 Построение статической характеристики гидропривода.....                   | 13 |
| 5. ЗАДАЧИ ПО ГИДРОСТАТИКЕ.....  | 18 |
| 6. ЗАДАЧИ ПО ГИДРОДИНАМИКЕ.....   | 22 |
| 7. ЗАДАНИЯ ПО КУРСОВОЙ РАБОТЕ.....  | 33 |