

*Проект «Инженерные кадры Зауралья»*

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Курганский государственный университет»

Кафедра «Энергетика и технология металлов»

## **Гидравлика и гидропневмопривод**

Методические указания

к выполнению самостоятельной работы

для бакалавров направления 190600.62 (23.03.03)

Курган 2015

Кафедра : «Автомобильный транспорт и автосервис»

Кафедра : « Энергетика и технология металлов»

Дисциплина: «Гидравлика и гидропневмопривод»

направление 190600.62 (23.03.03).

Составил: канд. техн. наук, доц. В.А. Савельев.

Утверждены на заседании кафедры « 4 »декабря 2014г.

Рекомендованы методическим советом университета в рамках

проекта «Инженерные кадры Зауралья»« 20 » декабря 2014 г.

## Введение

Дисциплина «Гидравлика и гидропневмопривод» относится к базовой части профессионального цикла и является общетехнической дисциплиной, которая занимает одно из важных мест в инженерной подготовке специалистов. Это связано с тем, что гидравлические и пневматические приводы используются во многих технических устройствах и технологических процессах современной техники. Гидравлические машины, гидравлические и пневматические приводы широко используются, как основное средство механизации и управления при эксплуатации, обслуживании и ремонте автомобильной техники. Специалист по эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов должен уметь правильно формулировать и решать разнообразные прикладные задачи с использованием основных законов гидравлики.

## Общие положения

дисциплина «*Гидравлика и гидропневмопривод*» состоит из следующих основных разделов: *Гидравлики* – раздел, в котором изучаются общие законы равновесия и движения жидкостей и газов. Она является основой теории гидравлических машин и гидропневмоприводов. *Гидромашин и гидропривода* – в этом разделе изучаются законы передачи и обмена энергии жидкости и газа и механической энергии, а также машины, устройства и аппараты, в которых осуществляется такое преобразование энергии.

Студенту предлагается самостоятельно проработать материал, указанный в предлагаемом перечне разделов и тем изучаемой дисциплины, а затем решить задачи по следующим темам курса: расчёт простейшей гидравлической машины, расчёт равновесия жидкости в движущихся сосудах и расчёт гидропривода.

Разделы и темы, изучаемые в курсе «Гидравлика и гидропневмопривод»:

| ШИФР<br>РАЗДЕЛА<br>ТЕМЫ | НАИМЕНОВАНИЕ РАЗДЕЛА, ТЕМЫ ДИСЦИПЛИНЫ  |
|-------------------------|--|
| 1                       | <b>Предмет гидравлики.</b> Основные понятия и методы исследования. Силы, действующие в жидкости; свойства жидкостей и газов.   |
| 2                       | <b>Законы гидростатики.</b> Свойства гидростатического давления; способы измерения давления. Силы давления жидкости на плоские и криволинейные стенки. Плавание тел, относительный покой жидкости. |
| 3                       | <b>Законы кинематики и динамики жидкости.</b> Основные понятия и   |

|   |   |
|---|---|
|   | определения. Расход жидкости, уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости.  |
| 4 | <b>Основы гидродинамического подобия и режимы течения жидкости, кавитация.</b>  |
| 5 | <b>Потери напора в гидравлических сопротивлениях.</b> Потери напора при ламинарном и турбулентном течении жидкости в трубах; местные гидравлические сопротивления.          |
| 6 | <b>Истечение жидкости из отверстий и насадков;</b> через проходные гидротехнические устройства.   |
| 7 | <b>Гидравлический расчёт трубопроводов:</b> расчёт простого трубопровода, соединений простых трубопроводов, трубопроводов с насосной подачей. Гидравлический удар в трубах. |
| 8 | <b>Гидро и пневмоприводы механизмов и машин,</b> области применения. Общая классификация, состав и схемы работы, машины и аппараты гидро и пневмоприводов.                  |

### **Расчёт простейшей гидравлической машины.**

К простейшим гидромашинам относятся устройства, работающие на основе закона Паскаля. Согласно закона Паскаля внешнее давление в жидкости передаётся по всем направлениям одинаково. Схема такого устройства приведена на рисунке 1. Внешнее давление создаётся рычагом, давящем на поршень с усилием  $F_1$  и под поршнем в сосуде, заполненном жидкостью, образуется давление  $p$ .

$$p = \frac{F_1}{S_1}$$

Это давление передаётся под правый поршень, который развивает силу  $F_2$ .

$$F_2 = p \cdot S_2$$

Тогда сила  $F_2$  во столько раз превысит силу  $F_1$  во сколько площадь поршня диаметром  $D$  равная  $S_2$  больше площади поршня диаметром  $d$  равная  $S_1$ .

$$F_2 = F_1 \times \frac{S_2}{S_1}$$

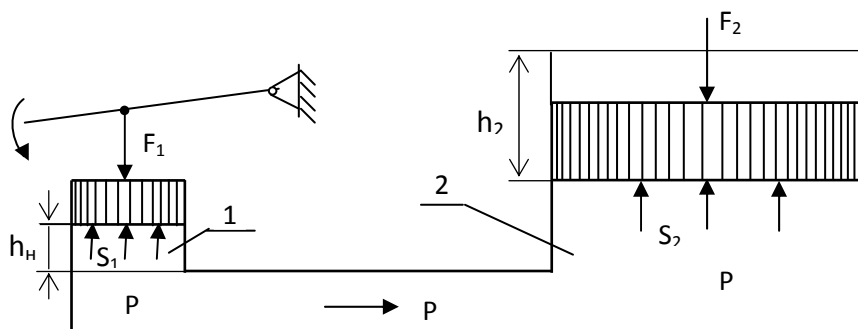


Рисунок 1. Схема простейшего объемного гидропривода

**Пример расчёта.**

Давление в цилиндре гидравлического пресса повышается в результате нагнетания в него жидкости ручным насосом и сжатия её в цилиндре. Определить число двойных ходов  $n$  поршня ручного насоса, необходимое для увеличения силы прессования детали  $A$  от 0 до 0,8МН, если диаметры поршней:  $D = 500\text{мм}$ ,  $d = 10\text{мм}$ ; ход поршня ручного насоса  $l = 30\text{мм}$ ; объёмный модуль упругости жидкости  $K = 1300\text{МПа}$ ; объём жидкости в прессе  $V = 60\text{ л}$ . Чему равно максимальное усилие  $F$  на рукоятке насоса при ходе нагнетания, если  $b/a = 10$ .

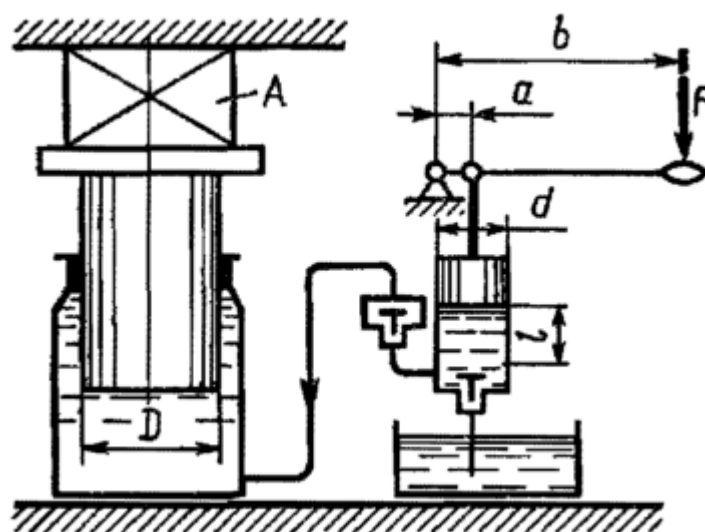


Рисунок 2 Схема гидропресса

Дано:

$D = 500\text{мм.}; d = 10\text{мм.};$  сила  $A=0.8\text{ МН}; l = 30\text{ мм.}$

$K = 1300\text{МПа}; V=60\text{ л.}; b/a = 10.$

*Решение:*

Усилие прессования определяется по формуле:

$$F = P \cdot S_2 = \frac{\pi D^2}{4} P$$

где  $P$  - давление жидкости;

$\frac{\pi D^2}{4}$  - площадь большого поршня;

$F = A$  – усилие прессования.

$$P = \frac{F}{S_2}$$

Определим давление под поршнем  $D$ .

$$P = \frac{4 \cdot 0,8 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 0,5^2} = 4,076\text{ МПа.}$$

Определим уменьшение объёма при упругом сжатии жидкости.

$$\Delta V = V_0(1 - \Delta P \cdot \beta_P), \text{ где}$$

$\Delta V$  – уменьшение объёма при сжатии;

$V_0$  - начальный объём;

$\beta_P$  - объёмный коэффициент сжатия равный  $1/K$ ;

$\Delta P$  - увеличение давления.

$$\Delta V = 60 \cdot 10^{-3} \left(1 - 4,076 \cdot \frac{1}{1300}\right) = 0,059814\text{ м}^3.$$

Определим на сколько уменьшился объём жидкости в прессе после упругого сжатия.

$$V_0 - \Delta V = 60 \cdot 10^{-3} - 0,059814 = 0,000186\text{ м}^3$$

Определим объём жидкости в малом цилиндре за один ход поршня ручного насоса.

$$V = S_2 \cdot \ell = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \ell = \frac{0.03 \cdot 3.14 \cdot 0.01^2}{4} = 0.0023 \cdot 10^{-3}$$

Определим число двойных ходов  $n$  поршня ручного насоса

$$n = \frac{V_0 - \Delta V}{V} = \frac{0.000186}{0.0023} \cdot 1000 \approx 81$$

Определим силу давления на поршень ручного насоса

$$F_2 = p \cdot S_2 = p \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 4.071 \cdot \frac{3.14 \cdot 0.01^2}{4} = 319 \text{Н.}$$

Определим усилие  $F$  на рукоятку ручного насоса пресса

$$F \cdot b = F_2 \cdot a = F_2 \cdot \frac{a}{b} = 319 \cdot 0.1 \approx 32 \text{Н.}$$

### Расчёт равновесия жидкости в движущихся сосудах.

При движении сосуда в горизонтальном направлении с постоянным ускорением (замедлением) на жидкость, находящуюся в нём, действует сила тяжести и сила инерции. Свободная поверхность представляет собой наклонную плоскость, уравнение которой имеет вид

$$Z = -\frac{a}{g} \cdot x + C,$$

где  $C$  – постоянная величина;  $a$  – ускорение сосуда.

Гидростатическое давление в любой точке жидкости

$$p = p_0 + \rho g h,$$

где  $h$  – расстояние по вертикали от точки до свободной поверхности.

Сила давления на плоскую стенку в этом случае

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

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

### Пример расчёта.

В кузов автомобиля – самосвала до уровня  $h_1 = 0.4\text{ м}$  налит цементный раствор, плотностью  $\rho = 2200\text{ кг/м}^3$ . Определить наименьший допустимый путь торможения самосвала от скорости  $v = 36\text{ км/ч}$  до остановки исходя из условия, чтобы раствор не выплеснулся из кузова. Определить силу давления раствора на передний борт при торможении. Для упрощения принять, что кузов самосвала имеет форму прямоугольной коробки размерами  $\ell = 2,5\text{ м}$ ;  $h = 0,8\text{ м}$ ; ширина кузова  $b = 1,8\text{ м}$ , а движение автомобиля прямолинейное, равнозамедленное.

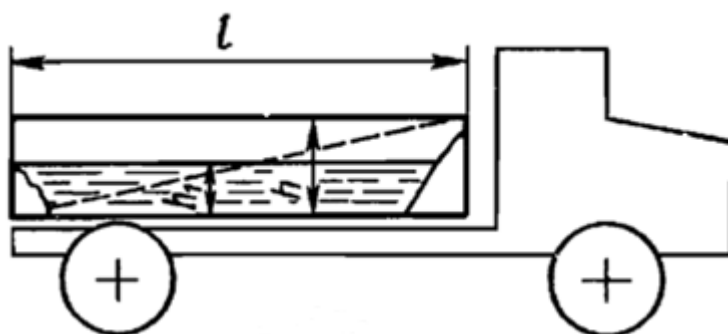


Рисунок 3 Схема смещения груза при торможении.

Дано:

$$v = 36\text{ км/ч}; \ell = 2,5\text{ м}; h = 0,8\text{ м}; b = 1,8\text{ м};$$

$$h_1 = 0.4\text{ м}; \rho = 2200\text{ кг/м}^3.$$

Решение:

На раствор в кузове действуют две силы: тяжести  $G$ , направленная вниз и инерции  $F = m \cdot \alpha$ , направленная вправо при торможении автомобиля. Решая дифференциальное уравнение поверхности уровня получаем, при  $X = \alpha$ ,  $Y = 0$ ,

$$Z = -g.$$

$$Z = -\frac{\alpha}{g}x + C,$$

Где  $\frac{\alpha}{g} = \tan \varphi$  – тангенс угла наклона свободной поверхности жидкости к горизонту, значение которого в условиях данной задачи равно

$$\tan \varphi = \frac{\Delta h}{0.5\ell} = \frac{0.4}{0.5 \cdot 2.6} = 0.31$$



Следовательно замедление автомобиля  $\alpha = \tan \varphi \cdot g$

$$\alpha = 9.81 \cdot 0.31 = 3.02 \text{ м/с}^2.$$

Длину торможения автомобиля найдём из уравнений равнозамедленного движения

$$l = \frac{\alpha t^2}{2}, \quad \text{где } v = \alpha t.$$

$$l = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{(36000/3600)^2}{2 \cdot 3.02} \cong 16,5 \text{ м.}$$

Определим силу давления раствора на передний борт автомобиля

$$F = \rho g h_c \cdot S;$$

$$F = 2200 \cdot 9.81 \cdot \frac{0.8}{2} \cdot 1.8 \cdot 0.8 = 1.24 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

### **Расчёт гидропривода.**

Совокупность гидромашин, гидроаппаратов и вспомогательных устройств, предназначенная для передачи энергии и преобразования движения посредством жидкости, называется гидроприводом.

Гидромашинами называют машины, предназначенные для передачи энергии жидкости, они называются насосами, а машины, преобразующие энергию жидкости в другие виды энергии, называются гидродвигателями или турбинами.

Гидроаппаратами называются устройства, управляющие потоками жидкости в гидроприводе. К ним относятся: гидродроссели и гидроклапаны, предназначенные для управления расходом и давлением в потоке жидкости; гидрораспределители, используемые для изменения направления потока жидкости.

Вспомогательные устройства поддерживают работоспособность гидропривода в процессе эксплуатации (фильтры, теплообменные аппараты, сапуны) или показывают параметры работы привода (контрольно – измерительные приборы: манометры, расходомеры, термометры, датчики). К вспомогательным устройствам относятся также шланги, трубопроводы, соединительная арматура.

Гидроприводы делят на два типа: гидродинамические (лопастные), их называют гидropередачи и объёмные гидроприводы. В транспортно – технологическом комплексе используют, главным образом, объёмные гидроприводы.

По характеру движения выходного звена гидроприводы делят на поступательные, вращательные и поворотные. В зависимости от этого для движения используют гидроцилиндры, гидромоторы и гидроповоротники.

Гидроприводом можно управлять в процессе работы: изменять скорость движения выходного звена . Такие приводы называются регулируемыми. Если параметры работы не меняются, то привод будет нерегулируемый.

Различают два способа регулирования гидропривода: дроссельное и объёмное.

Дроссельное регулирование заключается в том, что часть подачи насоса отводится через дроссель или клапан на слив минуя гидродвигатель. При этом возможно два варианта включения дросселя: последовательно с гидродвигателем и параллельно ему. При последовательном включении дросселя для привода поступательного движения скорость выходного звена определится по уравнению

$$v = \mu \frac{S_{др.}}{S_{п.}} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \left( p_H - \frac{F}{S_{п.}} \right),$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода через дроссель;  $S_{др.}$  – площадь проходного сечения дросселя;  $S_{п.}$  – площадь поршня со стороны нагнетания;  $F$  – нагрузка на выходном звене;  $P_H$  – давление на выходе из насоса. При параллельном включении дросселя скорость выходного звена определяется по уравнению

$$v = \frac{1}{S_{п.}} \left( Q_H - \mu S_{др.} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \frac{F}{S_{п.}} \right),$$

где  $Q_H$  – подача насоса.

Объёмное или машинное регулирование осуществляется за счёт изменения рабочего объёма насоса или гидродвигателя либо того и другого вместе. Такое регулирование возможно только в гидроприводах вращения. Частота вращения вала гидромотора определяется уравнением

$$n_M = n_H \frac{e_H V_H}{e_M V_M} \eta_0,$$

где  $n_n$  – частота вращения насоса;  $V_n$  и  $V_m$  – соответственно максимальный рабочий объём насоса и гидромотора;  $e_n$  и  $e_m$  – безразмерный параметр регулирования насоса и гидромотора, равный отношению текущего значения рабочего объёма к максимального (изменяется от 0 до 1);  $\eta_0$  – объёмный к.п.д. гидропривода, равный произведению объёмных к.п.д. насоса и гидромотора.

Коэффициент полезного действия гидропривода  $\eta$  равен отношению мощности на выходном звене к мощности, потребляемой насосом. Для поступательного гидропривода

$$\eta = \frac{F \cdot v}{M_n \cdot \omega_n}.$$

Для вращательного гидропривода

$$\eta = \frac{M_m \omega_m}{M_n \omega_n},$$

здесь  $M_n$  и  $M_m$  соответственно момент на валу насоса и гидродвигателя;

$F$  – усилие на штоке гидроцилиндра;  $\omega_n$  и  $\omega_m$  – угловая скорость вращения вала насоса гидромотора.

К.п.д. гидропривода с машинным управлением учитывает объёмные, механические потери в гидромашинах и гидравлические потери давления в гидролиниях (трубопроводах, фильтрах, распределителях)

$$\eta = \eta_0 \eta_m \eta_g,$$

где  $\eta_m$  – механический к.п.д. гидропривода, равный произведению механических к.п.д. насоса и гидродвигателя;  $\eta_g$  – гидравлический к.п.д., равный отношению потерь давления в гидролиниях к давлению на выходе из насоса.  $\eta_0$  – объёмный к.п.д. гидропривода.

К.п.д. гидропривода с дроссельным управлением помимо перечисленных потерь учитывает и к.п.д. системы управления, который равен отношению мощности потока жидкости, подведённого к гидродвигателю, к мощности потока жидкости на выходе из насоса без учёта потерь в гидролиниях.

При последовательном включении дросселя

$$\eta = 0,385 \frac{S_{др}}{S_{др max}},$$

при параллельном включении дросселя

$$\eta = 1 - \frac{S_{др}}{Q_n},$$

здесь  $S_{др}$  и  $S_{др \max}$  – соответственно текущая и максимальная величина площади проходного сечения дросселя;  $Q_{др}$  – расход через дроссель.

Гидроприводы при расчётах можно рассматривать как сложные трубопроводы с насосной подачей, а гидродвигатели – как особые местные сопротивления, вызывающие потерю давления  $\Delta p$ . Эта величина считается независимой от расхода жидкости (скорости перемещения выходного звена поршня). Для гидроцилиндров величина  $\Delta p$  приближённо определяется как частное от деления нагрузки вдоль штока на площадь поршня со стороны нагнетания. При расчёте указанных схем следует учитывать то, что расход жидкости на входе в гидроцилиндр с односторонним штоком отличен от расхода на выходе, так как площади поршня различны.

В основе расчёта трубопроводов лежат формула Дарси для определения потерь напора на трение по длине потока и формула Вейсбаха для расчёта местных потерь.

При ламинарном режиме ( $Re < 2300$ ) удобнее пользоваться формулой Пуазейля

$$p_{тр} = \frac{128 \nu \ell Q}{\pi d^4},$$

где  $p_{тр}$  – потеря давления на трение в трубопроводе;  $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости;  $\ell$  – длина трубопровода;  $Q$  – расход жидкости в трубопроводе;  $d$  – внутренний диаметр трубопровода.

При турбулентном режиме ( $Re > 2300$ ) используют формулу Дарси. Скорость течения жидкости обычно выражают через расход

$$p_{тр} = \lambda_t \frac{\ell}{d} \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4} \rho,$$

где  $\lambda_t$  – коэффициент сопротивления трения;  $Q$  – расход жидкости;  $d$  – диаметр трубопровода;  $\rho$  – плотность жидкости.

Коэффициент сопротивления трения  $\lambda_t$ , при турбулентном режиме, в общем случае зависит от числа Рейнольдса  $Re$  и относительной шероховатости  $\Delta / d$ . Если для так называемых гидравлически гладких труб

шероховатость на сопротивление не влияет, то коэффициент  $\lambda_T$ , однозначно определяется числом  $Re$ . Наиболее употребительной для этого случая является формула Блазиуса

$$\lambda_T = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}.$$

Универсальной формулой, учитывающей одновременно оба фактора, является формула Альтшуля

$$\lambda_T = 0,11 \left( \frac{68}{Re} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0.25}.$$

При малых значениях  $Re$  и  $\Delta / d$  вторым слагаемым в этой формуле можно пренебречь. Наоборот, при больших  $Re$  и  $\Delta / d$  первое слагаемое становится ничтожно малым и она принимает вид формулы Шифринсона

$$\lambda_T = 0,11 \sqrt[4]{\frac{\Delta}{d}}.$$

Суммарная потеря давления  $\Sigma \Delta p$  в трубопроводе гидропривода складывается из потерь на трение по длине и местных потерь:

$$\Sigma \Delta p = p_{тр} + \Sigma p_m = \left( \lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4}.$$

### ***Пример расчёта.***

В гидротормозной системе автомобиля передача усилия  $F$  от ножной педали к тормозам колёс производится посредством жидкости, вытесняемой поршнем 1 из главного тормозного цилиндра 2 по трубопроводам в рабочие тормозные цилиндры передних 3 и задних 4 колёс. На первом этапе торможения за счёт хода поршней рабочих цилиндров выбирается зазор между тормозными колодками и барабанами. На втором этапе торможения происходит сжатие всего объёма жидкости  $V$  в системе, выравнивание давления и прижатие колодок к барабанам. Диаметры всех цилиндров одинаковы. Определить : 1) скорости перемещения поршней колёсных тормозных цилиндров для передних ( $v_n$ ) и задних ( $v_z$ ); 2) ход педали, необходимый для упругого сжатия тормозной жидкости в системе. Плотность жидкости  $\rho$ , модуль объёмной упругости  $1/\beta_p$ , жидкость – минеральное масло, вязкостью  $\nu$ .

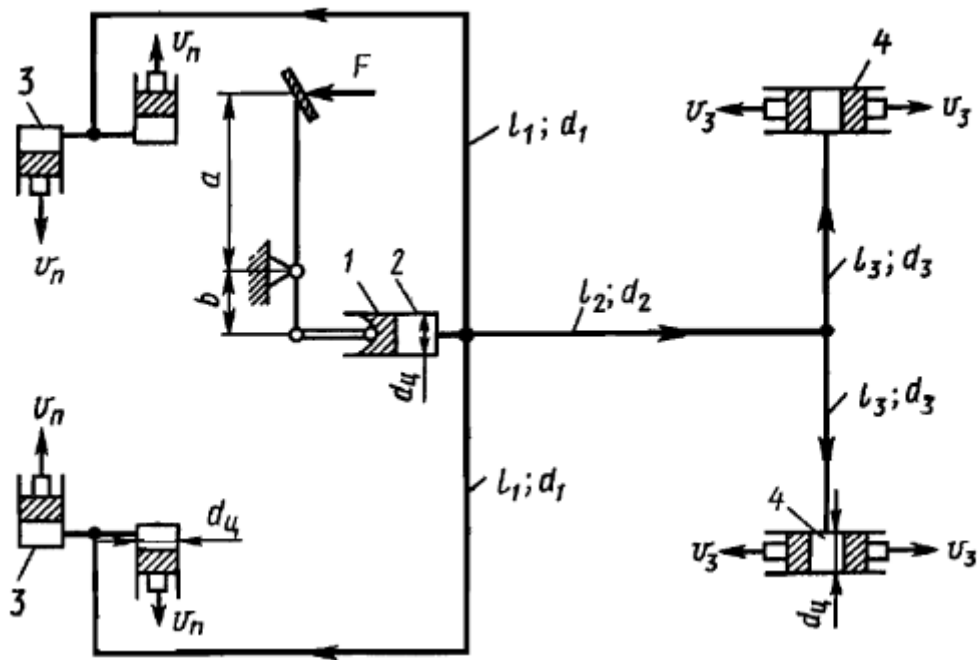


Рисунок 4. Схема тормозной системы автомобиля

Дано:  $F = 500 \text{ Н}$ ;  $d_4 = 22 \text{ мм}$ ;  $a/b = 5$ ;  $\ell_1 = 2 \text{ м}$ ;  $\ell_2 = 3 \text{ м}$ ;  $\ell_3 = 1 \text{ м}$ ;

$d_1 = 4 \text{ мм}$ ;  $d_2 = 5 \text{ мм}$ ;  $d_3 = 4 \text{ мм}$ ;  $V = 0,5 \text{ л}$ ;  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $\nu = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ ;

$1/\beta_p = 10^3 \text{ МПа}$ .

Решение:

Для решения используем формулу сжимаемости жидкости

$$V = V_0(1 - \beta_p \Delta p),$$

где  $V$  – конечный объём жидкости,  $V_0$  – начальный объём жидкости,

$\Delta p$  – увеличение давления,  $\beta_p$  – коэффициент объёмного сжатия.

Задаёмся режимом течения, основываясь на роде жидкости – значении вязкости (вода, бензин, керосин – режим обычно турбулентный; масла – ламинарный). Потери напора в гидрелиниях при ламинарном режиме определяют по закону Пуазейля

$$\Delta p = \frac{128 \nu \rho \ell Q}{\pi d^4}.$$

1. Определим силу давления  $F_2$  на шток поршня главного тормозного цилиндра. Составим уравнение момента относительно оси поворота педали.

$$F\alpha = F_2 b \Rightarrow F_2 = F \frac{\alpha}{b} = 500 \cdot 5 = 2500 \text{ Н}.$$

2. Определим давление в главном тормозном цилиндре по формуле

$$\Delta p = \frac{F_2}{S_{\text{п}}} = \frac{F_2 \cdot 4}{\pi d^2} = \frac{2500 \cdot 4}{3.14 \cdot 0.022^2} = 6579986.3 \text{ Па}.$$

Это давление передаётся во все гидролинии.

3. Определим расход в гидролиниях передних колёс, используя формулу Пуазейля

$$Q_{\text{пк}} = \frac{\Delta p \pi d^4}{128 \nu \ell \rho} = \frac{6579986.3 \cdot 3.14 \cdot 0.022^4}{128 \cdot 0.0001 \cdot 1000 \cdot 2} = 0.0002066 \text{ м}^3/\text{с}$$

4. Определим расход в тормозном цилиндре передних колёс разделив общий расход пополам

$$Q_{\text{цпк}} = \frac{0.0002066}{2} = 0.0001033 \text{ м}^3/\text{с}.$$

5. Определим скорость перемещения поршня в тормозном цилиндре передних колёс

$$v = \frac{4Q_{\text{цпк}}}{\pi d_w^2} = \frac{4 \cdot 0.0001033}{3.14 \cdot 0.022^2} = 0.27 \text{ м/с}.$$

6. Определим расход  $Q_2$  в общей линии задних колёс, используя формулу Пуазейля

$$\Delta p = \frac{128 \nu \ell_2 \rho Q_2}{\pi d_2^4} + \frac{128 \nu \ell_3 \rho Q_2}{\pi d_3^4 \cdot 2} \Rightarrow Q_2 = \frac{\Delta p \cdot \pi}{128 \nu \rho \left( \frac{\ell_2}{d_2^4} + \frac{\ell_3}{2d_3^4} \right)} = \frac{20661157}{8.7 \cdot 10^{10}} = 0.24 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

7. Определим расход  $Q_3$  в линии задних колёс

$$Q_3 = \frac{Q_2}{2} = \frac{0.00024}{2} = 0.00012 \text{ м}^3/\text{с}.$$

8. Определим расход  $Q_4$  в тормозном цилиндре задних колёс

$$Q_4 = \frac{Q_3}{2} = \frac{0.00012}{2} = 0.00006 \text{ м}^3/\text{с}.$$

9. Определим скорость движения поршня в тормозном цилиндре задних колёс

$$v = \frac{4Q_4}{\pi d_{\text{ц}}^2} = \frac{4 \cdot 0,0006}{3,14 \cdot 0,022} = 0,158 \text{ м/с}$$

10. Определить суммарный расход масла в главном тормозном цилиндре

$$Q_{\Sigma} = 2Q_{\text{пк}} + Q_2 = 2 \cdot 0,00021 + 0,00024 = 0,0006 \text{ м}^3/\text{с}.$$

11. Определим изменение объёма масла в системе при упругом сжатии по формуле

$$\Delta V = V_0 \beta_p \Delta p ,$$

Где  $\Delta V$  – изменение объёма =  $V_0 - V$ .

$$\Delta V = 0,5 \cdot 10^{-3} \frac{6579986,3}{1000 \cdot 10^6} = 0,033 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

12. Определим ход педали

$$x = V_0 \frac{\Delta V}{S_{\text{п}}} = V_0 \frac{4\Delta V}{\pi d_{\text{п}}^2} = \frac{20 \cdot 0,033 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 0,022^2} = 4,34 \text{ см}.$$



## **Методические указания и задание к выполнению самостоятельной работы**

Самостоятельное задание должно выполняться студентом после проработки изложенного выше материала дисциплины. Студенту предлагается самостоятельно решить две задачи. В каждой задаче исходные данные выбираются из соответствующих таблиц по шифру зачётной книжки студента. При выполнении задания необходимо соблюдать следующие требования:

На первой странице тетради привести в табличной форме исходные данные для решения каждой задачи согласно шифру - номеру зачетной книжки студента.

Обязательно перед решением записать условие задачи и содержание контрольного вопроса в тетрадь. Решение сопровождать кратким пояснительным текстом, в котором должно быть указано: какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулу (из условия задачи, из учебника, задачника, определена ранее и т.д.). Вычисления представлять в развернутом виде.

Обязательно проставлять размерности всех заданных и рассчитанных величин в международной системе СИ.

Графический материал должен быть выполнен четко, в масштабе и на миллиметровой бумаге, как исключение можно использовать бумагу в клеточку.

При использовании таблиц, формул и других справочных материалов, необходимо непосредственно при решении задачи указывать ссылку на литературный источник в квадратных скобках, например - [6].

После решения задачи должен быть произведен краткий анализ полученных результатов и сделаны соответствующие выводы

### Таблица выбора данных к задаче №1

(исходные данные выбираются из таблицы по последней цифре зачётной книжки студента).

| Вариант | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| A, МПа  | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1   | 1,2 | 1,3 | 1,4 |
| D, мм   | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 |
| d, мм   | 5   | 5   | 10  | 10  | 10  | 15  | 15  | 20  | 20  | 25  |
| ℓ, мм   | 15  | 15  | 20  | 20  | 25  | 25  | 30  | 30  | 35  | 35  |
| a/b     | 5   | 5   | 6   | 6   | 7   | 7   | 8   | 8   | 9   | 9   |

### Таблица выбора данных к задаче №2

(исходные данные выбираются из таблицы по последней цифре зачётной книжки студента).

| Вариант             | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Υ, км/ч             | 32   | 33   | 34   | 35   | 36   | 37   | 38   | 39   | 40   | 40   |
| h <sub>1</sub> , м  | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,4  | 0,4  | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| ρ кг/м <sup>3</sup> | 2350 | 2350 | 2300 | 2300 | 2200 | 2200 | 2100 | 2100 | 2000 | 2000 |

### Таблица выбора данных к задаче №3

(исходные данные выбираются из таблицы по последней цифре зачётной книжки студента).

| Вариант             | 0   | 1    | 2    | 3    | 4   | 5   | 6    | 7    | 8    | 9   |
|---------------------|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|
| F.H                 | 400 | 450  | 450  | 450  | 500 | 500 | 550  | 550  | 550  | 550 |
| a/b                 | 5   | 5    | 5    | 5    | 5   | 6   | 6    | 6    | 6    | 6   |
| ℓ <sub>2</sub> , мм | 2,5 | 2,5  | 2,5  | 3    | 3   | 3   | 3,5  | 3,5  | 3,5  | 4   |
| d <sub>ц</sub> , мм | 20  | 21   | 21   | 22   | 22  | 22  | 23   | 23   | 24   | 24  |
| V, л                | 0,4 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,5 | 0,5 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,6 |

### Основная литература

| №<br>п/п | Наименование   | Используется при<br>изучении разделов,<br>тем |
|----------|--|---|
| 1        | Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/ Т.В.Артемьева, Т.М. Лысенко, А.Н. Румянцева, С.П. Стесин; под ред С.П. Стесина. – М.:Изд. Центр «Академия», 2005.–336 с. | 1 – 8.  |
| 2        | Свешников В.К. Станочные гидроприводы: справочник: Библиотека конструктора.– М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.  | 1 – 6.  |
| 3        | Лепёшкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А.<br>Гидравлика и гидропневмопривод /Под ред. А.А. Шейпака – М.: МГИУ, 2005. – 352 с.  | 1 – 8.  |

### Дополнительная литература

| №<br>п/п | Наименование  | Используется при<br>изучении разделов,<br>тем |
|----------|---|---|
| 1        | Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы.– М.: Машиностроение, 1982.– 423 с.   | 1 – 12.                                       |
| 2        | Лепёшкин А.В. Гидравлические и пневматические системы: учебник для студ. средн. проф образования /А.В. Лепёшкин, А.А. Михайлин; под ред. Проф. Ю.А. Беленкова.–М.: Издат. Центр «Академия» 2007. –336с. | 1 – 11  |
| 3        | Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам Под общей ред. Б.Б. Некрасова – Минск «Высшая школа» 1985. 389 с..   | 1 – 6.  |
| 4        | Машиностроительная гидравлика. Примеры расчётов /В.В.Вакина,И.Д.Денисенко, А.Л.Столяров – Киев Вища шк. Головное изд-во,1986. – 208 с.  | 1 – 8   |
| 5        | Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов /Б.Б.Некрасов, И.В.Фатеев, Ю.А.Беленков и др.; под ред. Б.Б.Некрасова. – М.: Высш. шк.,1989. –192с.    | 1 - 8   |

Савельев Виктор Андреевич

**Гидравлика и гидропневмопривод**  
Методические указания  
к выполнению самостоятельной работы  
для бакалавров направления 190600.62 (23.03.03)

Авторская редакция

---

|                    |                   |                            |
|--------------------|-------------------|----------------------------|
| Подписано в печать | Формат 60x84 1/16 | Бумага 65 г/м <sup>2</sup> |
| Печать цифровая    | Усл. печ.л. 1,25  | Уч.- изд. л. 1,25          |
| Заказ              | Тираж 50          | Не для продажи             |

---

РИЦ Курганского государственного университета.  
640000, г. Курган, ул. Советская, 63/4.  
Курганский государственный университет.