

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального
образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический
университет имени С. М. Кирова»

Кафедра теплотехники и гидравлики

*Посвящается 60-летию
высшего профессионального лесного образования
в Республике Коми*

Т. Л. Леканова, В. Т. Чупров

ГИДРО- И ПНЕВМОАВТОМАТИКА

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

*Утверждено учебно-методическим советом
Сыктывкарского лесного института
в качестве учебного пособия для студентов направления
220000 «Автоматика и управление» очной и заочной форм обучения*

Сыктывкар
СЛИ
2012

УДК 621.22
ББК 31.56
Л43

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Сыктывкарского лесного института

Ответственный редактор:
В. Ф. Свойкин, кандидат технических наук, доцент

Рецензенты:
кафедра машиноведения
(Коми государственный педагогический институт);
А. Ф. Триандафилов, кандидат технических наук, доцент
(ГНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства
Республики Коми»)

Леканова, Т. Л.
Л43 ГИДРО- И ПНЕВМОАВТОМАТИКА : учебное пособие /
Т. Л. Леканова, В. Т. Чупров ; Сыкт. лесн. ин-т. – Сыктывкар : СЛИ,
2012. – 52 с.
ISBN 978-5-9239-0338-3

Учебное пособие знакомит студентов с объемным гидроприводом и пневмоприводом, гидроаппаратурой, объемными гидромашинами, оснащенными элементами автоматики, их назначением, устройством, принципом действия, классификацией. Приведены методические рекомендации для самоподготовки, тесты, список рекомендуемой литературы.

Для студентов направления бакалавриата «Автоматизация и управление» и специальности «Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)»

УДК 621.22
ББК 31.56

Темплан 2010/11 учеб. г. Изд. № 99.

ISBN 978-5-9239-0338-3

© Леканова Т. Л., Чупров В. Т., 2012
© СЛИ, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕМНОМ ГИДРОПРИВОДЕ	7
1.1. Назначение и основные свойства	7
1.2. Основные параметры гидрооборудования	8
2. РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ	9
3. ОБЪЕМНЫЕ ГИДРОМАШИНЫ	11
3.1. Назначение, классификация насосов и гидромоторов	11
3.2. Основные определения и обозначения гидромашин	11
3.3. Основные параметры гидромашин	12
3.4. Гидроцилиндры	13
4. ГИДРОАППАРАТУРА	14
4.1. Направляющие гидроаппараты	14
4.2. Регулирующие гидроаппараты	16
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕМНОГО ГИДРОПРИВОДА И ВЫБОР ГИДРООБОРУДОВАНИЯ	18
5.1. Основные сведения	18
5.2. Объемное регулирование	18
5.3. Дроссельное регулирование	18
5.4. Тепловой режим гидропривода	19
5.5. Расчет объемного гидропривода	19
5.6. Расчет основных параметров гидропривода вращательного движения	21
6. ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПРИВОД	24
6.1. Общие сведения	24
6.2. Пневмопривод вращательного движения	24
6.3. Пневмопривод возвратно-поступательного движения	25
6.4. Расчет пневмопривода	25

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ	26
7.1. Методические рекомендации по самостоятельному изучению теоретического материала	26
7.2. Методические рекомендации по самостоятельной подготовке к лабораторным работам	28
7.3. Методические рекомендации по самостоятельной подготовке к практическим занятиям	30
7.4. Методические рекомендации по самостоятельной подготовке к выполнению контрольной работы для студентов заочной формы обучения ..	39
8. РУБЕЖНЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ. ТЕСТЫ	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	48
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	49

ПРЕДИСЛОВИЕ

В подготовке студентов направления бакалавриата «Автоматизация и управление» и специальности «Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)» важнейшую роль играет дисциплина «Гидро- и пневмоавтоматика». В данном учебном пособии рассматриваются общие сведения о гидравлических и пневматических приводах, их назначение, устройство, принцип действия, классификация, рабочие жидкости, применяемые в объемном гидроприводе.

Пособие включает разделы: объемные гидромашины, гидромоторы, гидроцилиндры, их классификация, обозначения и параметры; направляющая и регулирующая гидроаппаратура; определение параметров объемного гидропривода и выбор гидрооборудования, объемное и дроссельное регулирование, тепловой режим и расчет основных параметров гидропривода; пневматический привод, пневмопривод вращательного и возвратно-поступательного движения, расчет пневмопривода. Раздел «Методические рекомендации по самостоятельной подготовке студентов» включает изучение теории, практики, подготовки к лабораторным работам по очной и заочной формам обучения, а также контроль знаний и рубежные контрольные мероприятия.

Учебное пособие будет полезно как при изучении дисциплины «Гидро- и пневмоавтоматика», так и при исследовании, проектировании и эксплуатации систем автоматизации и управления.

ВВЕДЕНИЕ

Для создания современного гидрооборудования и объектов автоматизации и управления необходимо иметь специальные знания, обобщенные в учебном пособии. Возрастающие темпы освоения новых машин с гидравлическим приводом связаны с научно-техническим прогрессом.

Технический уровень объемного гидропривода, входящего в него гидрооборудования и элементов автоматики определяют параметры, энергетические показатели и технический ресурс.

Создание современных аппаратно-технических средств исследования, проектирования, технического диагностирования и промышленных испытаний средств и систем автоматизации и управления возможно при глубоком изучении гидравлического оборудования.

Для создания современных машин, оснащенных гидроприводом и объектами автоматизации, необходимо иметь специальные знания.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕМНОМ ГИДРОПРИВОДЕ

1.1. Назначение и основные свойства

Гидропривод – совокупность гидравлических устройств, предназначенных для приведения в движение механизмов и машин с помощью рабочей жидкости под давлением. Гидроприводы бывают двух типов: гидродинамические и объемные. В гидродинамических приводах используется кинетическая энергия потока жидкости. В объемных гидроприводах используется потенциальная энергия давления рабочей жидкости. По характеру движения выходного звена различают объемные гидроприводы вращательного, возвратно-поступательного и поворотного движения. По возможности регулирования различают гидроприводы регулируемые и нерегулируемые – с ручным и автоматическим регулированием, с замкнутой и разомкнутой циркуляцией рабочей жидкости.

К основному оборудованию объемного гидропривода относятся гидромашины (насосы и моторы), гидроаппаратура (гидрораспределители, гидроклапаны, регуляторы, делители потоков), очистители рабочей жидкости, теплообменники, гидробаки, гидроаккумуляторы, гидролинии и их элементы (трубопроводы и соединительная арматура). К вспомогательному гидрооборудованию относятся средства подпитки насоса, устройства для выпуска воздуха из гидросистемы (вентили, фильтры – сапуны), измерения расхода, давления, температуры, уровня рабочей жидкости и др.

Объемный гидропривод имеет следующие преимущества:

- высокая компактность при небольшой массе и габаритных размерах гидрооборудования;
- реализация больших передаточных чисел;
- небольшая инертность и реверсирование рабочих органов за доли секунды;
- бесступенчатое регулирование скорости движения, простота управления и создание условий для автоматизации;
- независимое, целесообразное расположение сборочных единиц привода;
- надежное предохранение от перегрузок приводного двигателя предохранительными клапанами;
- простота преобразования вращательного и поступательного движения;
- применение унифицированных сборочных единиц, позволяющее снизить себестоимость привода.

1.2. Основные параметры гидрооборудования

Основными параметрами объемных гидроприводов являются номинальное давление, рабочий объем, частота вращения, расход жидкости, условный проход и вместимость.

В соответствии с ГОСТ 12445-80 номинальное давление (МПа) выбирают из следующего ряда: 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250.

Максимальное давление $p_{\max}$ соответствует наибольшему рабочему давлению, допускаемому для периодической работы гидрооборудования.

Пиковое давление – максимальное давление, кратковременно возникающее при создании мгновенного сопротивления потоку.

Номинальный рабочий объем – основной параметр гидронасосов и гидромоторов. Номинальные рабочие объемы (см^3) выбирают по международному стандарту ИСО 3662 и по ГОСТ 13824-80.

Номинальный расход гидрولين и гидроаппаратов согласно ГОСТ 13825-80 выбирают 1–2500 л/мин.

Условные проходы (мм) выбирают (ГОСТ 16516-80): 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10; 12; 16; 20; 100; 125; 160; 200; 250.

Номинальную вместимость кондиционеров рабочей среды (гидробаков, гидроаккумуляторов, теплообменников и очистителей) выбирают по ГОСТ 12448-80 ($0,4\text{--}25000 \text{ дм}^3$).

Режимы работы гидрооборудования определяются величиной и интенсивностью внешней нагрузки, характером рабочего процесса и другими факторами.

В технических условиях гидрооборудования указываются климатические условия макроклиматических районов:

- У – с умеренным климатом;
- ХЛ – с холодным климатом;
- ТВ – с влажным тропическим климатом.

Технические требования к гидрооборудованию предъявляются в связи с режимом и условиями эксплуатации.

Требования гидросистемам предъявляются при проектировании машин с объемным гидроприводом.

2. РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ

Рабочая жидкость в гидроприводе служит для передачи энергии от входного звена (вала насоса) к выходному (валу гидродвигателя), является смазывающей и антикоррозийной средой.

В качестве рабочих жидкостей в гидравлическом приводе применяют минеральные масла, водомасляные эмульсии, смеси и синтетические жидкости.

В минеральные масла, полученные из высококачественной нефти, вводят присадки, влияющие на антиокислительные, вязкостные, противозносные, антипенные и другие физические свойства.

Водомасляные эмульсии представляют собой смеси воды и минерального масла в соотношениях 100 : 1,50 : 1 и т. д. Эмульсии применяют в гидросистемах машин, работающих в пожароопасных условиях.

Смеси минеральных масел с керосином, глицерином и др. применяют в гидросистемах высокой точности, а также в гидросистемах, работающих в условиях низких температур

Синтетические жидкости на основе силиконов, хлор- и фторуглеродистых соединений негорючи, стойки к воздействию химических элементов, обладают стабильной вязкостью в широком диапазоне температур.

При работе гидропривода в широком диапазоне температур рекомендуется применять летние и зимние сорта рабочих жидкостей. Наиболее распространенными являются два сорта рабочих жидкостей – ВМГЗ и МГ-30. Они позволяют заменить более 30 сортов специальных масел – промышленных, турбинных, моторных, цилиндровых, веретенных и др.

Рабочая жидкость не должна портиться, разрушаться и оказывать вредное воздействие на элементы гидропривода. Наиболее важные свойства рабочих жидкостей: плотность, вязкость, смазывающая способность, антиокислительные, антикоррозийные, антипенные свойства.

Плотность – физическая величина, характеризующая отношение массы к ее объему: $\rho = \frac{m}{V}$, кг/м³. Плотность рабочих жидкостей возрастает при повышении давления в гидросистеме и уменьшается при повышении температуры.

Относительное изменение объема жидкости при изменении температуры на 1 °С характеризуется *температурным коэффициентом объемно-*

го расширения ($^{\circ}\text{C}^{-1}$): $\beta = \frac{\Delta V}{V \cdot \Delta T}$, где V и ΔV – соответственно начальный объем и приращение объема.

Вязкость (или внутреннее трение) является свойством жидкости оказывать сопротивление сдвигу одного слоя относительно другого под воздействием касательной силы внутреннего трения.

Напряжение трения τ согласно закону Ньютона пропорционально градиенту скорости:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy},$$

где μ – коэффициент пропорциональности, или динамический коэффициент вязкости, $\text{Па} \cdot \text{с}$; $\frac{dv}{dy}$ – градиент скорости.

Кинематический коэффициент вязкости ν – это отношение динамической вязкости μ к плотности ρ , а именно $\nu = \frac{\mu}{\rho}$, $\text{м}^2/\text{с}$.

В названии масла, например, МГ30, кинематический коэффициент вязкости выражается в сантистоксах: $\nu = 30 \text{ сСт} = 30 \cdot 10^{-2} \text{ Ст} = 0,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

3. ОБЪЕМНЫЕ ГИДРОМАШИНЫ

3.1. Назначение, классификация насосов и гидромоторов

Насос предназначен для преобразования механической энергии приводного двигателя в энергию потока рабочей жидкости. В гидроприводах применяют шестеренные, лопастные, радиально- и аксиально-плунжерные и винтовые насосы. Гидромотор служит для преобразования энергии потока рабочей жидкости, развиваемой насосом, в энергию вращения выходного вала (исполнительного механизма машины). В гидроприводах машин наиболее часто применяют аксиально-плунжерные и радиально-плунжерные гидромоторы с регулируемым и нерегулируемым рабочим объемом.

3.2. Основные определения и обозначения гидромашин

Обозначение гидравлических и пневматических насосов и двигателей (табл. 1) выполняется согласно ГОСТ 2.781-96. Приняты следующие условные графические обозначения: ▲ – жидкость; Δ – газ; ↗ – регулирование параметра.

Табл. 1. Обозначение гидравлических и пневматических насосов по функциональным признакам

Термин	Определение	Условное обозначение или схема
Насос постоянной подачи	Объемная гидромашина с нерегулируемым рабочим объемом: • с постоянным направлением потока • с реверсивным потоком	 
Насос с регулируемой подачей	Объемная гидромашина с регулируемым рабочим объемом • с постоянным направлением потока • с реверсивным потоком	 
Гидромотор нерегулируемый	Гидродвигатель с нерегулируемым рабочим объемом	
Гидромотор регулируемый	Гидродвигатель с регулируемым рабочим объемом	

3.3. Основные параметры гидромашин

Основными параметрами насоса и гидромотора являются рабочий объем, номинальное давление и частота вращения, производными – подача, мощность привода насоса, расход рабочей жидкости гидромотора и крутящий момент, а также полный КПД гидромашин.

Подача насоса определяется по формуле:

$$Q_n = q_n n_n \eta_{об}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где q_n – рабочий объем насоса, м^3 ; n_n – частота вращения насоса, с^{-1} ; $\eta_{об}$ – объемный КПД насоса.

Мощность насоса находится из уравнения:

$$N_n = \frac{p_n Q_n}{\eta_n}, \text{ Вт},$$

где p_n – давление насоса, Па; Q_n – подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; η_n – КПД насоса.

Эффективная мощность гидропривода рассчитывается по выражению:

$$N_э = R w, \text{ Вт},$$

где R – усилие на штоке гидроцилиндра, Н; w – скорость хода штока, м/с.

Полный КПД гидропривода:

$$\eta = \frac{N_э}{N_n}.$$

Расход гидромотора вычисляется согласно зависимости:

$$Q_m = q_m n_m \eta_{об}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где q_m – объем гидромотора, м^3 ; n_m – частота вращения гидромотора, с^{-1} ; $\eta_{об}$ – объемный КПД гидромотора.

Крутящий момент гидромотора:

$$M_{кр} = \frac{p_m q_m \eta_{мех}}{2\pi}, \text{ Н} \cdot \text{ м},$$

где p_m – перепад давления, Па; q_m – объем гидромотора, м^3 ; $\eta_{мех}$ – механический КПД гидромотора.

Эффективную мощность гидромотора вычисляют по уравнению:

$$N_э = M_{кр} \cdot 2\pi n_m, \text{ Вт},$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент, $\text{Н} \cdot \text{ м}$; n_m – частота вращения вала мотора, с^{-1} .

3.4. Гидроцилиндры

Гидроцилиндры являются объемными гидродвигателями, предназначенными для преобразования энергии потока рабочей жидкости в механическую энергию выходного звена (штока или гильзы).

Гидроцилиндры бывают одностороннего и двустороннего действия, поршневые с односторонним или двусторонним штоком и телескопические.

Основными параметрами гидроцилиндров являются номинальное давление, диаметр цилиндра (поршня), диаметр и скорость хода штока.

4. ГИДРОАППАРАТУРА

4.1. Направляющие гидроаппараты

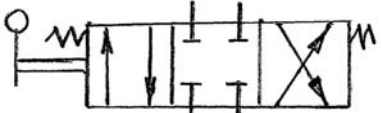
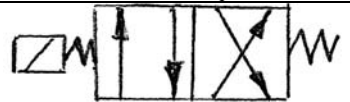
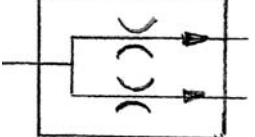
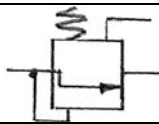
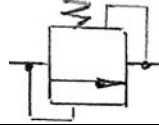
4.1.1. Назначение, классификация и основные параметры

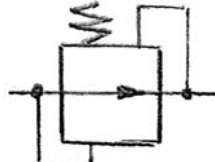
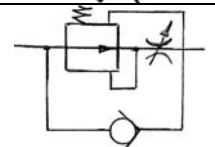
Направляющая гидроаппаратура предназначена для изменения направления потока рабочей жидкости путем открытия или закрытия рабочего проходного сечения. К ней относятся гидрораспределители, делители потока, гидроклапаны (обратные, выдержки времени, последовательности, логические) и гидрозамки. С помощью направляющих гидроаппаратов осуществляют пуск, изменение направления движения и остановка исполнительных механизмов машины.

Основными параметрами направляющих гидроаппаратов являются номинальный расход, номинальное давление и условный проход.

Примеры условных графических обозначений направляющей и регулирующей аппаратуры приведены согласно ГОСТ 2.781-96 в таблице 2.

Табл. 2. Примеры условных графических обозначений направляющей и регулирующей аппаратуры

Наименование	Обозначение
Распределитель трехпозиционный с ручным управлением	
Распределитель двухпозиционный с электроуправлением	
Делитель потока	
Клапан обратный	
Гидрозамок	
Клапан предохранительный	

Наименование	Обозначение
Клапан редукционный	
Дроссель с обратным клапаном	
Регулятор потока	

4.1.2. Гидрораспределители

В конструкции распределителей предусматривают возможность управлять ручным электрическим, гидравлическим или электрогидравлическим устройствами.

По числу золотников распределители бывают одно- и многозолотниковые, по числу позиций – двух-, трех- и четырехпозиционные, а в зависимости от числа внешних гидролиний – двух-, трех- и четырехлинейные. Управление гидродвигателями по параллельной, последовательной и комбинированной схемам обеспечивается секционными распределениями.

4.1.3. Делители потока

Делители потока предназначены для деления потока рабочей жидкости на две равные части с целью синхронизации движения исполнительных органов независимо от значения действующих на них нагрузок. Деление потока осуществляется двумя диафрагмами с равным проходным сечением. Их можно применять и для деления потока в любом соотношении потоков в отводах.

4.1.4. Обратные клапаны

Обратные клапаны предназначены для пропуска рабочей жидкости только в одном направлении. При движении потока рабочей жидкости в обратном направлении проходное сечение клапана закрывается.

Установка в гидроприводе машины обратного клапана исключает самопроизвольное опускание рабочего оборудования под воздействием внешней нагрузки, а также может служить элементом гидроавтоматики.

4.1.5. Гидрозамки

Гидрозамки предназначены для предотвращения самопроизвольного движения и для надежной фиксации рабочего органа машины. Обычно гидрозамки устанавливаются между гидрораспределителем и гидроцилиндром. Односторонние гидрозамки перекрывают одну гидролинию, а двусторонние – обе гидролинии, идущие от гидрораспределителя к гидроцилиндру.

4.2. Регулирующие гидроаппараты

Регулирующие гидроаппараты предназначены для изменения давления или расхода рабочей жидкости путем частичного открытия рабочего проходного сечения. К регулирующим гидроаппаратам относятся гидроклапаны предохранительные, редукционные, напорные, делители и сумматоры потока, гидродроссели.

4.2.1. Гидроклапаны давления

Гидроклапаны давления различают напорные и редукционные, клапаны разности давлений, клапаны прямого и непрямого действия. По назначению напорные делятся на предохранительные и переливные.

4.2.2. Предохранительные клапаны

Предохранительные клапаны для регулирования давления в гидросистеме устанавливаются в напорной гидролинии насоса (разгружающие насос) и в гидролинии после распределителя для ограничения максимального давления в полости гидродвигателя.

4.2.3. Редукционные клапаны

Редукционные клапаны с регулятором предназначены для поддержания установленного давления, сниженного по отношению к давлению, создаваемому насосом.

4.2.4. Регуляторы потока

Регуляторы потока предназначены для поддержания установленной скорости перемещения рабочих органов независимо от нагрузки в гидросистеме. Регуляторы потока с предохранительным клапаном служат для регулирования скорости рабочих органов и предохранения гидросистемы от перегрузки.

4.2.5. Дроссели с обратными клапанами

Дроссели с обратными клапанами предназначены для направления потока рабочей жидкости в одном направлении и свободном пропускании его в другом направлении.

В гидроприводе, когда два гидроцилиндра соединены параллельно и необходимо обеспечить одинаковые скорости выходных звеньев, синхронизация движения штоков гидроцилиндров осуществляется дросселями с одинаковым сечением отверстий.

4.2.6. Элементы автоматики

В гидро- и пневмоприводе для автоматизации процессов применяются логические элементы «И», «ИЛИ», а также обратные клапаны реле давления, клапаны последовательности, усилители, сумматоры и делители потока, реле времени.

Автоматизация технологических процессов, оснащенных гидро- и пневмоприводом широко осуществляется с помощью регулирующей аппаратуры, снабженной приводом для изменения основных параметров и характеристик гидродвигателей.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕМНОГО ГИДРОПРИВОДА И ВЫБОР ГИДРООБОРУДОВАНИЯ

5.1. Основные сведения

Основными параметрами объемного гидропривода является давление и расход рабочей жидкости, а характеристиками – нагрузки, скорости гидродвигателей, мощность и потери. КПД и тепловой режим характеризуют работу объемного гидропривода. Дополнительными расчетными параметрами являются максимальная мощность, крутящий момент, развиваемый гидромотором, и усилие на штоке гидроцилиндра.

В гидроприводе могут применяться объемное и дроссельное регулирование скорости гидродвигателей.

5.2. Объемное регулирование

Объемное регулирование скорости гидродвигателя осуществляется изменением подачи насоса или гидромотора в зависимости от рабочего объема. Рабочий объем может изменяться автоматически с помощью регулятора мощности или других управляющих устройств.

Объемное регулирование скорости является наиболее эффективным в гидроприводах с регулируемыми насосами и гидромоторами, так как происходит без потерь на дросселирование потока. Аксиально-плунжерные насосы автоматически обеспечивают постоянную мощность при изменении внешней нагрузки. При этом подача и давление обратно пропорциональны.

5.3. Дроссельное регулирование

В схемах с насосами постоянной подачи скорость движения исполнительных механизмов регулируют изменением проходных сечений дросселей. Дроссельный способ регулирования менее эффективен при эксплуатации гидроприводов большой мощности. Для привода небольшой мощности нередко применяют дроссельное регулирование, при котором часть рабочей жидкости сливается в бак, а ее энергия переходит в тепло. Дроссели могут устанавливаться в напорной или сливной гидролинии.

5.4. Тепловой режим гидропривода

Надежная работа гидропривода возможна в условиях оптимального теплового состояния. Основной причиной нагрева рабочей жидкости является наличие гидравлических сопротивлений, а также объемные и гидромеханические потери.

Потери мощности в гидроприводе равны количеству тепла, выделяемого в гидроприводе в единицу времени.

По условиям приемлемости теплового режима в гидроприводе необходимо равенство перепада температур между рабочей жидкостью и окружающим воздухом в установившемся режиме и максимально допустимым перепадом, зависящего от площади теплообмена.

Если суммарная площадь теплоотдающих поверхностей меньше требуемой, необходима установка теплообменника.

5.5. Расчет объемного гидропривода

Расчет объемного гидропривода машин сводится к определению номинального давления, подачи (производительности) насоса, мощности привода насоса и КПД гидропривода.

При выполнении расчетов следует пользоваться системой единиц измерения СИ.

5.5.1. Расчет гидропривода возвратно-поступательного движения

Расчет параметров гидропривода возвратно-поступательного движения (рис. 1) включает определение перепада давления в гидроцилиндре, гидроаппаратуре; определение подачи насоса, мощности привода насоса и КПД гидропривода. Гидронасос 2 из гидробака 1 через трубопровод 7 всасывает рабочую жидкость и нагнетает в напорный трубопровод 8 гидросистемы. Распределитель 3 производит включение. Выключение и реверсирование гидроцилиндра 4. Линия 9 гидроцилиндра в нейтральном положении распределителя 4 закрыты и фиксируют поршень гидроцилиндра, шток, следовательно и рабочий орган в нужном положении. Подвод 8 и сливной трубопровод 10 соединены с гидробаком для разгрузки гидросистемы при выключенном распределителе 3. Фильтр 5 служит для механической очистки рабочей жидкости от механических примесей. Предохранительный клапан 6 служит для регулирования давления в гидросистеме.

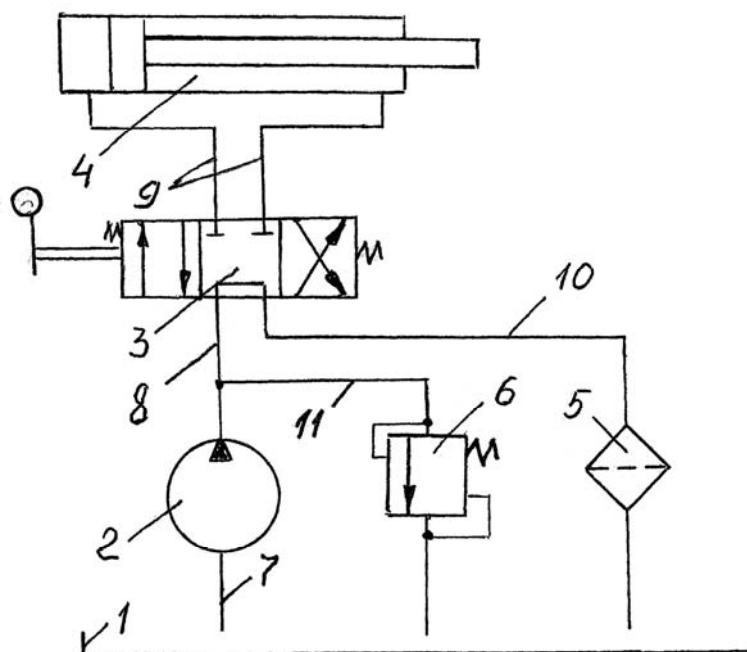


Рис. 1. Схема гидравлическая принципиальная гидропривода
возвратно-поступательного движения: 1 – гидробак; 2 – насос нерегулируемый;
3 – распределитель; 4 – гидроцилиндр; 5 – фильтр; 6 – клапан предохранительный;
7 – линия всасывания; 8 – нагнетательная линия; 9 – линия гидроцилиндра;
10 – сливная линия; 11 – линия предохранительного клапана

Определение давления нагнетания насоса:

$$p_n = \frac{P + P_{тр}}{F_{ц}} + p_p + (p_p + p_{\phi}) \left(1 - \frac{F_{ш}}{F_{ц}} \right), \text{ Па,}$$

где P – усилие на штоке при рабочем ходе, Н; $P_{тр}$ – сила трения в уплотнениях поршня и штока, принимается $0,1 \cdot P$, Н; p_p – потери давления в распределителе, на входе и выходе из распределителя, рекомендуется $p_p = 0,2$ МПа; p_{ϕ} – перепад давления в фильтре, обычно $p_{\phi} = 0,1$ МПа при давлении насоса до $10 \dots 15$ МПа; $F_{ш}$ – площадь сечения штока, м^2 ; $F_{ц}$ – площадь сечения цилиндра (поршня), м^2 .

При рабочем ходе штока гидроцилиндра вся жидкость, нагнетаемая насосом, поступает в бесштоковую полость гидроцилиндра. Поэтому без учета утечек через уплотнения поршня можно записать:

$$Q_n = w_p F_{ц},$$

где w_p – скорость движения штока рабочая, обычно принимается равной $0,10 \dots 0,19$ м/с.

Принимая подачу насоса одинаковой при рабочем ходе и холостом ходе, определяем скорость движения поршня при холостом ходе штока гидроцилиндра:

$$w_x = \frac{Q_{\text{нх}}}{F_{\text{ц}} - F_{\text{ш}}},$$

где $Q_{\text{нх}}$ – подача насоса в штоковую полость гидроцилиндра, $\text{м}^3/\text{с}$.

Полезная мощность гидропривода при рабочем ходе штока гидроцилиндра:

$$N_{\text{п}} = P w_{\text{р}}, \text{Вт.}$$

Мощность привода насоса:

$$N_{\text{н}} = \frac{p_{\text{н}} Q_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}}, \text{Вт},$$

где $\eta_{\text{н}}$ – КПД насоса.

КПД гидропривода при рабочем ходе гидроцилиндра:

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{н}}}.$$

5.6. Расчет основных параметров гидропривода вращательного движения

Расчеты гидропривода вращательного движения поясним применительно к схеме, представленной на рис. 2. Гидронасос 2 из гидробака 1 через трубопровод 8 всасывает рабочую жидкость и нагнетает через напорный трубопровод 9 в гидросистему. Распределитель 3 включает, выключает и реверсирует гидромотор 4. Дроссель 7 служит для регулирования оборотов вала гидромотора 4. Фильтр 5 предназначен для очистки рабочей жидкости. Предохранительный клапан служит для регулирования и поддержания необходимого давления в гидросистеме. Гидролиния 10 гидромотора 4 и напорная линия 9 в нейтральном положении распределителя соединены со сливной линией 11 и гидробаком 1 с целью разгрузки гидросистемы и свободного вращения гидромотора 4 от внешней нагрузки, например, приводимого во вращение колеса буксируемого транспорта.

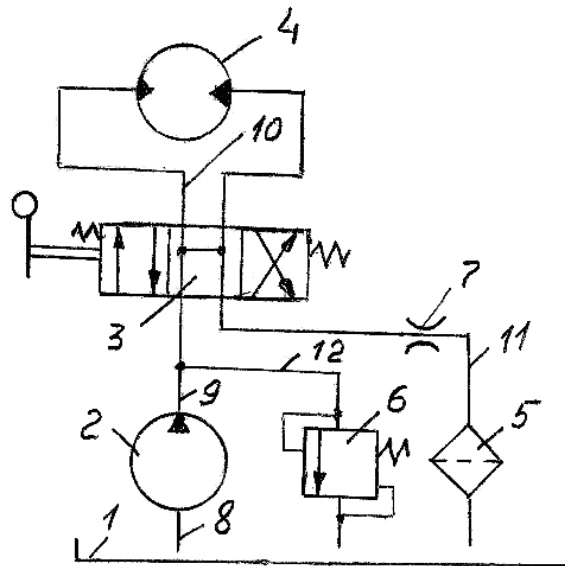


Рис. 2. Схема гидравлическая принципиальная гидропривода вращательного движения с дроссельным регулированием: 1 – гидробак; 2 – гидронасос; 3 – распределитель; 4 – гидромотор; 5 – фильтр; 6 – клапан предохранительный; 7 – дроссель; 8 – линия всасывания; 9 – нагнетательная линия; 10 – линия гидромотора; 11 – сливная линия; 12 – линия предохранительного клапана

Давление нагнетания насоса определяют по уравнению:

$$p_n = p_m + 2p_p + p_\phi + 2p_{др} + p_{маг},$$

где p_m – перепад давлений на гидромоторе, Па; p_ϕ – потери давлений в фильтре, Па; $p_{др}$ – потери давления в дросселе, Па; $p_{маг}$ – потери давления в магистрали, Па.

Для гидромотора крутящий момент находят из выражения:

$$M_{кр} = \frac{p_m q_m \eta_{мех}}{2\pi}, \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где p_m – перепад давления, Па; q_m – объем гидромотора, м^3 ; $\eta_{мех}$ – механический КПД гидромотора.

Определяем перепад давлений на гидромоторе:

$$p_m = \frac{2\pi \cdot M_{кр}}{q_m \eta_{мех}}, \text{ Па}.$$

Потери давления в магистрали (трубопроводах):

$$p_{маг} = \rho \left(\sum \xi + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{Q^2}{2F_{тр}^2},$$

где ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³; ξ – коэффициент местных сопротивлений; λ – гидравлический коэффициент трения; l – длина трубопровода, м; d – внутренний диаметр трубопровода, м; Q – расход рабочей жидкости в трубопроводе, $Q = Q_n$, м³/с; $F_{тр}$ – площадь сечения трубопровода, м².

Подача насоса Q_n связана с частотой вращения гидромотора и утечками в нем рабочей жидкости:

$$Q_n = q_m n_m + \frac{q_{ут}}{p_m},$$

где n_m – частота вращения вала гидромотора, с⁻¹; $q_{ут}$ – расход утечек в гидромоторе, м³/с.

Полезная мощность гидропривода определяется из выражения:

$$N_{\Pi} = M_{кр} \cdot 2\pi \cdot n_m, \text{ Вт.}$$

Мощность привода насоса находится по уравнению:

$$N_n = \frac{p_n Q_n}{\eta_n}, \text{ Вт,}$$

где η_n – КПД насоса.

КПД гидропривода вычисляют из уравнения:

$$\eta = \frac{N_{\Pi}}{N_n}.$$

6. ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПРИВОД

6.1. Общие сведения

В системах автоматизации производственных процессов применяют гидравлические и пневматические приводы, основанные на использовании рабочей жидкости и сжатого или разреженного воздуха. Пневмоприводы имеют преимущества в случаях, когда требуется осуществить быстрые перемещения нагрузки или когда применение гидропривода с минеральной рабочей жидкостью недопустимо по правилам пожарной безопасности. Современная техника располагает совершенными гидравлическими и пневматическими устройствами, с помощью которых возможно создание объектов, систем и программных средств для автоматизации и управления.

К основным достоинствам пневматических систем относятся надежность и долговечность, быстрота действия, простота конструкции и экономичность, так как отработавший воздух выпускается в атмосферу, а также низкая стоимость рабочей среды и пожаробезопасность.

К недостаткам относятся сжимаемость воздуха, что вызывает рывки, удары, высокие скорости исполнительных механизмов затрудняют возможность фиксации пневмодвигателей в заданном положении без применения специальных позиционеров. Пневматические системы не обеспечивают плавности и точности хода без дополнительных средств, имеют более низкий КПД по сравнению с гидроприводом.

Сжатый воздух для питания пневмосистем вырабатывается компрессорами. Находят применение компрессоры пластинчатые и поршневые. Рабочее давление в пневмосистеме 0,5–0,6 МПа, при более высоких давлениях до 5 МПа.

6.2. Пневмопривод вращательного движения

Вращательное движение с неограниченной частотой вращения выходного звена целесообразно применять там, где необходимо обеспечить небольшие мощности. При необходимости плавно изменять частоту вращения исполнительного механизма, применяют гидравлический привод вращения. В качестве пневматических двигателей вращательного движения применяют пластинчатые и поршневые моторы. Характеристики пневмомоторов отличаются от характеристик гидромоторов, что обусловлено сжимаемостью сжатого газа.

6.3. Пневмопривод возвратно-поступательного движения

Пневматические приводы возвратно-поступательного движения делятся на приводы одностороннего движения, когда движение штока происходит за счет подачи воздуха в полость цилиндра, а обратный ход совершается за счет пружины.

Прямой и обратный ход привода двустороннего действия происходит под давлением сжатого воздуха, поступающего в соответствующие полости цилиндра, причем каждый раз в одну полость подается питающее давление, а другая полость сообщается с атмосферой.

Пневмоприводы конструктивно подобны гидроприводам и требуют смазку скользящих пар.

6.4. Расчет пневмопривода

Расчет процессов в пневмоприводе сводится к определению мощности привода компрессора, КПД пневмопривода и основан на законах газовой динамики и термодинамики.

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ

7.1. Методические рекомендации по самостоятельному изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студентов по изучению отдельных тем дисциплины включает проработку и анализ теоретического материала [1–7], справочных документов [8–16], самоконтроль знаний по темам с помощью ниже перечисленных вопросов и заданий (табл. 3).

Табл. 3. Контрольные вопросы и задания по темам

Наименование темы	Контрольные вопросы и задания
Введение. Гидропривод. Пневмопривод. Основные термины и определения. Рабочие жидкости, их физические свойства	1. Совокупность каких устройств включают гидро- и пневмопривод? 2. Какие рабочие жидкости и сжатые газы применяются в гидро- и пневмоприводах, работающих на открытом воздухе и в закрытых помещениях? 3. Как зависит вязкость рабочей жидкости от давления и температуры? 4. Какие сорта рабочих жидкостей следует применять зимой и летом?
Гидроаппаратура. Средства автоматики гидропривода	1. Какая гидроаппаратура относится к направляющей? Чем руководствуются при выборе аппаратуры? 2. Выбор гидрооборудования в зависимости от климата эксплуатации. 3. Как обозначается умеренный, холодный и тропический климат эксплуатации аппаратуры?
Пневмоаппаратура. Средства автоматики пневмопривода. Основные элементы автоматизации технологических процессов	1. Как производится выбор регулирующей и направляющей пневмоаппаратуры? 2. Для чего служит распределитель? 3. Чем осуществляется регулирование давления в системе? 4. Какие способы регулирования скорости рабочего органа существуют? 5. Перечислите особенности пневматического привода, его достоинства и недостатки. 6. Приведите уравнение массового расхода газа, вытекающего через отверстие. Покажите график зависимости массового расхода газа от отношения давлений. 7. Какое отношение давлений называют критиче-

Наименование темы	Контрольные вопросы и задания
	ским? По какой зависимости определяют критическое отношение давлений? 8. Опишите работу воздуходувок, вентиляторов и компрессоров. 9. Охарактеризуйте магистральный, компрессорный, аккумуляторный пневмопривод. 10. Изобразите принципиальную схему аккумуляторного питания пневмосистем.
Гидронасосы, компрессоры, гидро- и пневмодвигатели. Вспомогательные устройства гидро- и пневмосистем	1. Для чего служит насос? 2. Какие основные параметры компрессора? 3. Чем отличаются двигатели возвратно-поступательного и вращательного движения? 4. Приведите зависимость для определения действительной производительности насоса. 5. Какие гидромашины применяются в системах с дроссельным регулированием?
Понятие о следящем гидроприводе. Схемы гидроусилителей следящего типа	1. Чем осуществляется управление «входом»? 2. Что такое «степень усиления выхода»? 3. Какие существуют виды обратной связи между «входом» и «выходом»? 4. Что такое многокаскадное усиление? 5. Приведите блок-схему следящего привода. 6. Какие элементы включает принципиальная схема следящего рулевого привода автомобиля? 7. Опишите двухступенчатую следящую систему с обратной связью по давлению.
Виды и типы схем. Правила выполнения схем, условные графические обозначения элементов в гидравлических и пневматических принципиальных схемах. Термины и определения	1. Какие элементы гидро- и пневмопривода входят в простейшую схему возвратно-поступательного движения? 2. Каким гидро- и пневмодвигателем обеспечивается вращательное движение рабочего органа? Приведите его графическое обозначение в схемах. 3. Графическое обозначение делителей потоков рабочей жидкости и сжатого воздуха? 4. Какие основные правила составления принципиальных схем?
Объемное дроссельное регулирование гидро- и пневмопривода	1. Какой способ регулирования скорости рабочего органа целесообразно применять в гидроприводе большой мощности? 2. Изменение каких параметров ведет к изменению его подачи? 3. Преимущества и недостатки дроссельного регулирования скорости исполнительных механизмов.

Наименование темы	Контрольные вопросы и задания
	4. В каких случаях устанавливается дроссель на входе в гидродвигатель, на выходе и в ответвлении? 5. В чем преимущество подключения дросселя параллельно к гидродвигателю?
Определение основных параметров объемного гидропривода. Параметры и ГОСТы гидро- и пневмопривода	1. Какие существуют исходные данные для определения параметров гидропривода возвратно-поступательного и вращательного движения? 2. Что такое эффективная мощность? 3. Как определяется мощность на валу насоса? 4. Как определяется КПД гидропривода? 5. Какие параметры пневмопривода необходимы для определения мощности на валу компрессора?
Основные правила ухода и эксплуатации гидро- и пневмопривода. Неисправности в гидросистемах и методы их устранения	1. Какие требования предъявляются для нормальной эксплуатации гидросистемы: - к чистоте рабочей жидкости (РЖ); - смене РЖ; - нагреву РЖ? 2. Какие требования необходимо соблюдать: - при ремонте, разборке гидросистемы; - при сварочных работах? 3. Возможные неисправности и методы их устранения.

7.2. Методические рекомендации по самостоятельной подготовке к лабораторным работам

Согласно учебному плану, студентам бакалавриата на проведение лабораторных работ отводится 14 часов по очной форме обучения и 4 часа по заочной форме обучения специалистов.

Самостоятельная работа студентов по подготовке к лабораторным работам, оформлению отчетов и защите лабораторных работ включает проработку и анализ теоретического материала, описание проделанной экспериментальной работы с приложением графиков, таблиц, расчетов, а также самоконтроль знаний по теме лабораторной работы с помощью нижеперечисленных контрольных вопросов и заданий (табл. 4).

Табл. 4. Контрольные вопросы и задания по лабораторным работам

Наименование темы	Контрольные вопросы и задания
Изучение поля скоростей потока в трубопроводах	1. В чем отличие местной (локальной) скорости от средней скорости при течении газа или жидкости по трубопроводу? 2. Режимы движения потоков, критерий Рейнольдса. 3. Эпюры скоростей для ламинарного и турбулентного потоков. 4. Как рассчитывается средняя скорость потока газа в трубопроводе? 5. Соотношение средней и максимальной скоростей для ламинарного и турбулентного потоков. 6. Как устроена гидродинамическая трубка? 7. Как устроен микроанометр? 8. Определение плотности воздуха с учетом его влажности.
Определение гидравлических сопротивлений напорного трубопровода	1. На преодоление каких потерь затрачивается энергия при движении жидкости по трубопроводу? 2. В какую форму переходит механическая энергия потока, теряемая при движении? 3. Что такое средняя скорость потока? 4. Как влияет шероховатость на потери энергии? 5. Как экспериментально определить коэффициент трения и коэффициент местного сопротивления? 6. Как проявляются на изменение величины коэффициента трения условия протекания жидкости при различных режимах движения? 7. Как определить шероховатость трубы? 8. Почему сужение, расширение, вентиль, муфтовое закругление оказывают различные сопротивления? 9. Как в работе измеряют расход воды, текущей по трубопроводу? 10. Как определить полный перепад давления (напор) в системе?
Определение энергетических характеристик центробежного вентилятора. Работа центробежного вентилятора на сеть	1. Работа и устройство центробежного вентилятора. 2. Как устроена и работает гидродинамическая трубка? 3. Почему при определении характеристики вентилятора можно изменять расход воздуха сменной шайбой, а при определении характеристики сети нельзя?

Наименование темы	Контрольные вопросы и задания
	4. Какой физический смысл имеют характеристика сети и рабочая точка? 5. В чем отличие дифференциального микроманометра от обычного дифманометра? 6. Для чего служит тахометр? 7. Для чего проверяют значения критерия Рейнольдса при наименьшем расходе воздуха?
Определение характеристик центробежного насоса. Работа центробежного насоса на сеть.	1. Какое назначение имеет спиральный улиткообразный канал? 2. Какие зависимости называются энергетическими характеристиками насоса? 3. Что представляют собой законы пропорциональности? 4. Из чего складывается напор, теряемый в сети? 5. Какой физический смысл имеет рабочая точка? 6. Какой физический смысл имеет характеристика сети? 7. Почему центробежный насос пускают в работу при закрытой задвижке на нагнетательной линии?

7.3. Методические рекомендации по самостоятельной подготовке к практическим занятиям

По плану на проведение практических занятий отводится 4 часа по заочной форме обучения.

Совокупность гидромашин, гидроаппаратов и вспомогательных устройств, предназначенных для передачи энергии и преобразования движения посредством жидкости, называется *гидроприводом*. *Гидроаппаратами* называются устройства для управления потоком жидкости. Основные гидроаппараты: гидродрессели и гидроклапаны, предназначенные для управления расходом и давлением в потоке жидкости; гидрораспределители, предназначенные для изменения направления потока жидкости. По типу гидроприводы делят на объемные и гидродинамические. В данном пособии рассматриваются в основном объемные гидроприводы. По характеру движения выходного звена объемные гидроприводы делятся на три класса: поступательного, поворотного и вращательного движений. В соответствии с этим в качестве гидродвигателей используются гидроцилиндры, поворотные гидродвигатели и гидромоторы. Различают объемные

гидроприводы без управления и с управлением. В первых не предусмотрена возможность регулирования скорости выходного звена, во вторых, можно менять эту скорость воздействием извне. Существует два основных способа управления гидроприводом: дроссельный и машинный. Дроссельное управление заключается в том, что часть подачи насоса отводится через гидродроссель или гидроклапан на слив минуя гидродвигатель. При этом способе управления возможны два варианта включений дросселя: последовательно с гидродвигателем и параллельно гидродвигателю.

Для гидропривода поступательного движения с последовательным включением дросселя скорость выходного звена определяется уравнением

$$w = \mu \frac{S_{\text{др}}}{S_{\text{п}}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(p_{\text{н}} - \frac{F}{S_{\text{п}}} \right)},$$

где μ – коэффициент расхода через дроссель; $S_{\text{др}}$ – площадь проходного сечения дросселя; $S_{\text{п}}$ – площадь поршня со стороны нагнетания; $p_{\text{н}}$ – давление на выходе из насоса; F – нагрузка на выходном звене.

При параллельном включении дросселя

$$w = \frac{1}{S_{\text{п}}} \left(Q_{\text{н}} - \mu S_{\text{др}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{F}{S_{\text{п}}}} \right),$$

где $Q_{\text{н}}$ – подача насоса.

Машинное управление осуществляется за счет изменения рабочего объема насоса или гидродвигателя либо того и другого вместе. Очевидно, что два последних варианта возможны только в гидроприводах вращательного движения. В общем случае частота вращения вала гидромотора определяется уравнением

$$n_{\text{м}} = n_{\text{н}} \frac{e_{\text{н}} V_{\text{н}}}{e_{\text{м}} V_{\text{м}}} \eta_0,$$

где $n_{\text{н}}$ – частота вращения насоса; $V_{\text{н}}$ и $V_{\text{м}}$ – соответственно максимальный рабочий объем насоса и гидромотора; $e_{\text{н}}$ и $e_{\text{м}}$ – безразмерный параметр регулирования соответственно насоса и гидромотора, равный отношению текущего значения рабочего объема к максимальному (изменяется от 0 до 1); η_0 – объемный КПД гидропривода, равный произведению объемных КПД насоса и гидромотора.

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

$$\eta = \frac{F \omega}{M_{\text{н}} \omega_{\text{н}}},$$

где ω – скорость выходного звена, а для вращательного

$$\eta = \frac{M_{\text{м}} \omega_{\text{м}}}{M_{\text{н}} \omega_{\text{н}}},$$

здесь $M_{\text{н}}$ и $M_{\text{м}}$ – соответственно момент на валу насоса и гидродвигателя; F – усилие на штоке гидроцилиндра; $\omega_{\text{н}}$ и $\omega_{\text{м}}$ – угловая скорость вращения вала насоса и гидромотора.

КПД гидропривода с машинным управлением учитывает объемные, механические потери в гидромашинах и гидравлические потери давления в гидролиниях (трубопроводах, фильтрах, распределителях)

$$\eta = \eta_{\text{o}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{г}},$$

где $\eta_{\text{м}}$ – механический КПД гидропривода, равный произведению механических КПД насоса и гидродвигателя; $\eta_{\text{г}}$ – гидравлический КПД, равный отношению потерь давления в гидролиниях к давлению на выходе из насоса.

КПД гидропривода с дроссельным управлением помимо перечисленных выше потерь учитывает и КПД системы управления, который равен отношению мощности потока жидкости, подведенного к гидродвигателю, к мощности потока жидкости на выходе из насоса без учета потерь в гидролиниях. При последовательном включении дросселя

$$\eta_{\text{у}} = 0,385 \frac{S_{\text{др}}}{S_{\text{дрmax}}},$$

при параллельном включении

$$\eta_{\text{у}} = 1 - \frac{Q_{\text{др}}}{Q_{\text{н}}},$$

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

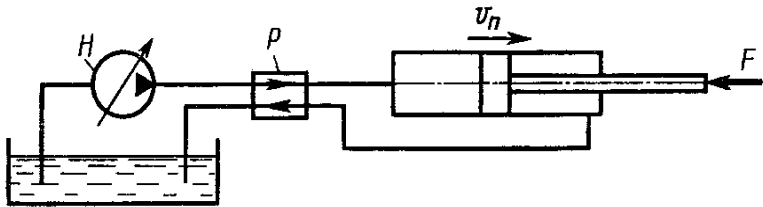
Гидроприводы при расчете можно рассматривать как сложные трубопроводы с насосной подачей, а гидродвигатели – как особые местные гидравлические сопротивления, вызывающие потерю давления Δp . Эта величина считается не зависящей от расхода жидкости (скорости перемещения выходного звена поршня). Для гидроцилиндров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

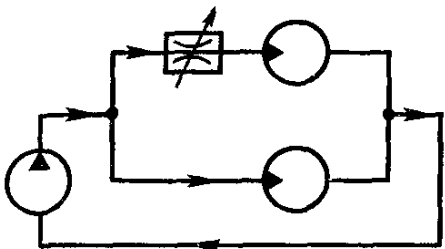
Для определения рабочего режима гидропривода с заданной характеристикой насоса используют графоаналитический метод. При этом характеристики объемных регулируемых насосов (или насосов, снабженных переливными клапанами) обычно задаются тремя точками, которые при построении следует соединять прямыми. Характеристики нерегулируемых насосов могут быть заданы двумя точками, которые соединяются прямой линией. Первая точка определяется как теоретическая подача Q_n при $p = 0$ и объемном КПД $\eta_o = 1$. Вторая точка определяется при заданном p_n и объемном КПД η_o .

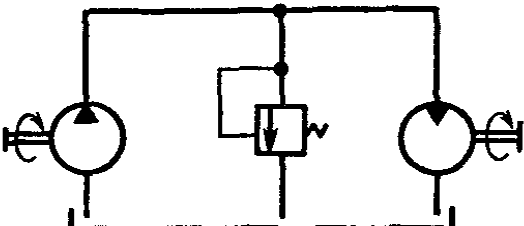
Самостоятельная работа студентов по подготовке к практическим занятиям [17–20] включает проработку восьми тем, входящих в рабочую программу, а также самоконтроль знаний по темам с помощью ниже перечисленных вопросов и заданий (табл. 5).

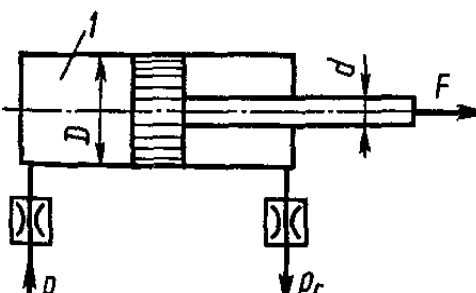
Табл. 5. Задачи, контрольные вопросы и задания по практическим заданиям

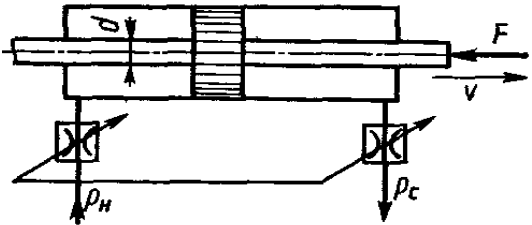
Наименование темы	Задачи, контрольные вопросы и задания
Правила выполнения гидравлических и пневматических схем. Условные обозначения элементов гидро- и пневмопривода по ГОСТам	<i>Задача 1–1.</i> Разработать гидравлическую принципиальную схему гидропривода вращательного движения, включающую: насос нереверсивный регулируемый, защищенный обратным клапаном; распределитель 4/3 с электроуправлением с соединением нагнетательной линии на бак и закрытыми отводами, к напорной линии соединен редукционный клапан и гидроцилиндр; фильтр в сливной линии. Составить таблицу наименований, обозначений и назначений гидравлических устройств, входящих в принципиальную схему.

Наименование темы	Задачи, контрольные вопросы и задания
	<i>Контрольные вопросы</i> 1. Какие стандартные элементы входят в принципиальную схему? 2. Какие требования к принципиальным схемам изложены в ГОСТ 2.781-96, ГОСТ 2.782-96, ГОСТ 17398-72 и ГОСТ 2.704-76? 3. Какие связи (гидролинии) дают представление о работе гидропривода?
Определение основных параметров гидропривода возвратно-поступательного движения. Определение КПД гидропривода	<i>Задача 2–1.</i> Определить эффективную мощность, если скорость передвижения штока гидроцилиндра $w_{\text{ц}} = 0,14$ м/с; расход $Q_{\text{ц}} = 1$ л/с. <i>Задача 2–2.</i> Определить давление, создаваемое насосом, и его подачу, если преодолеваемая сила вдоль штока $F = 10$ кН, а скорость перемещения поршня $v_{\text{п}} = 0,1$ м/с. Учесть потерю давления на трение в трубопроводе, общая длина которого $l = 8$ м; диаметр $d = 14$ мм. Каждый канал распределителя по сопротивлению эквивалентен длине трубопровода $l_s = 100 d$. Диаметр поршня $D = 100$ мм, площадью штока пренебречь. Вязкость масла $\nu = 10$ Ст; плотность $\rho = 900$ кг/м³.  Рис. (к задаче 2–2) <i>Задача 2–3.</i> Разработать гидравлическую принципиальную схему гидропривода возвратно-поступательного движения с синхронизацией хода, включающую два гидроцилиндра, фильтр в напорной линии, распределитель с электроуправлением с соединением нагнетательной линии и отводов на бак. Составить таблицу наименований, обозначений и назначений гидравлических устройств, входящих в принципиальную схему. <i>Контрольные вопросы</i> 1. Какие параметры гидродвигателей служат исходными данными для определения мощности и

Наименование темы	Задачи, контрольные вопросы и задания
	КПД гидропривода возвратно-поступательного движения? 2. В чем отличие необходимого расхода гидродвигателя от расхода насоса? 3. Из каких перепадов давлений состоит полное давление, создаваемое насосом? 4. Как определить эффективную мощность, мощность привода, насоса и КПД гидропривода?
Объемное регулирование гидропривода. Дроссельное регулирование гидропривода. Определение площади и диаметра проходного сечения дросселя	<i>Задача 3–1.</i> При каком проходном сечении дросселя угловые скорости гидромоторов будут одинаковы? Дано: рабочий объем насоса $V_1 = 56 \text{ см}^3$; частота вращения насоса $n = 3000 \text{ об/мин}$; рабочие объемы гидромоторов $V_3 = 12 \text{ см}^3$, $V_4 = 28 \text{ см}^3$; моменты на их валах $M_3 = 20 \text{ Н·м}$; $M_4 = 40 \text{ Н·м}$; механические и объемные к.п.д. гидромашин $\eta_m = \eta_o = 0,95$; плотность рабочей жидкости $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$; коэффициент расхода дросселя $\mu = 0,85$. Потерями давления в трубопроводах пренебречь.  Рис. (к задаче 3–1) <i>Задача 3–2.</i> Разработать гидравлическую принципиальную схему гидропривода возвратно-поступательного движения, включающую распределитель 4/3 с закрытыми отводами, нагнетательной линией и сливом в бак при среднем положении золотника, с электроуправлением; дроссельное регулирование скорости гидродвигателя; фильтр в сливной линии. Составить таблицу наименований, обозначений и назначений гидравлических устройств, входящих в принципиальную схему. <i>Контрольные вопросы</i> 1. Чем отличаются насосы и гидромоторы от регулируемых насосов и моторов? 2. Почему не рекомендуется дроссельное регулирование в гидроприводе с большой мощностью? 3. Изменение каких параметров насоса ведет к изменению его подачи?

Наименование темы	Задачи, контрольные вопросы и задания
	4. В чем преимущество объемного регулирования насоса или мотора перед дроссельным регулированием скорости рабочего органа? 5. Объясните применение объемного регулирования в гидроприводе с большой производительностью насоса? 6. В каких случаях устанавливается дроссель на входе в гидродвигатель, на выходе и в ответвлении? 7. В чем преимущество подключения дросселя параллельно к гидродвигателю? 8. Чему равно полное давление гидропривода? 9. Чем отличаются расходы гидродвигателя и насоса? 10. Какие параметры необходимы для определения мощности насоса?
Определение основных параметров гидропривода вращательного движения. Определение КПД гидропривода	<i>Задача 4–1.</i> Чему равна эффективная мощность, если крутящий момент на валу гидромотора $M_{кр} = 40 \text{ кН}$, частота вращения вала гидромотора $n = 14 \text{ 1/с}$? <i>Задача 4–2.</i> Найти минимальные рабочие объемы гидромашин гидропередачи, обеспечивающие на выходном валу гидромотора момент $M = 50 \text{ Н·м}$ и угловую скорость $\omega_2 = 200 \text{ с}^{-1}$, если угловая скорость насоса $\omega_1 = 300 \text{ с}^{-1}$, давление срабатывания предохранительного клапана $p_{кл} = 15 \text{ МПа}$. Принять объемные КПД гидромашин $\eta_o = 0,95$; механические КПД $\eta_m = 0,92$. Какую мощность при этом потребляет насос?  Рис. (к задаче 4–2) <i>Контрольные вопросы</i> 1. Какие параметры гидродвигателей служат исходными данными для определения мощности и КПД гидропривода вращательного движения?
Параметры и ГОСТы гидро- и пневмопривода	<i>Задача 5–1.</i> Определить минимально допустимый диаметр дроссельной шайбы в напорной линии гид-

Наименование темы	Задачи, контрольные вопросы и задания
	ропривода d_1, обеспечивающий перемещение поршня гидроцилиндра без разрыва сплошности потока (без кавитации) в полости 1. Перемещение поршня происходит под действием лишь нагрузки на штоке $F = 20$ кН. Давления: насоса $p_n = 15$ МПа; слива $p_c = 0,5$ МПа; насыщенных паров жидкости $p_{н.п.} = 0,01$ МПа. Диаметры: цилиндра $D = 50$ мм; штока $d = 30$ мм; дроссельной шайбы на сливе $d_2 = 1,5$ мм. Коэффициент расхода дроссельных шайб $\mu = 0,64$. Плотность жидкости $\rho = 900$ кг/м³.  Рис. (к задаче 5–1) <i>Контрольные вопросы</i> 1. Какие параметры в гидросистеме определяют скоростные характеристики рабочего органа? 2. На какие параметры гидродвигателей влияет на давление в гидросистеме? 3. Какие ГОСТы определяют диаметры гидроцилиндров, предпочтительный ряд расходов и давления?
Выбор гидроаппаратуры гидропривода по полученным параметрам. Применение ГОСТов к давлению, расходу и диаметрам труб и гидроаппаратуры	<i>Задача 6–1.</i> Найти внутренний диаметр трубопровода, в котором расход рабочей жидкости $Q = 100$ л/мин со скоростью движения $6,3$ м/с. <i>Контрольные вопросы</i> 1. Какие параметры гидросистемы являются определяющими для выбора гидроаппаратуры? 2. Для чего необходимо округление параметров давления, расхода и диаметров до ближайшего стандартного значения?
Определение действительных перепадов давлений гидропривода	<i>Задача 7–1.</i> Определить давление $p_{б.р.}$ в бесштоковой полости гидроцилиндра при рабочем ходе, если потери давления составляют $\Delta p = 0,3$ МПа, давление нагнетания насоса $p_{н.р.} = 11$ МПа, диаметр поршня гидроцилиндра $D_{ц} = 120$ мм, диаметр штока $D_{ш} = 60$ мм.

Наименование темы	Задачи, контрольные вопросы и задания
	<i>Контрольные вопросы</i> 1. Чем отличаются действительные перепады давления от справочных?
Тепловой режим гидравлических и пневматических систем	<i>Задача 8–1.</i> В системе гидропривода постоянного давления нагнетания $p_n = 25$ МПа и слива $p_c = 1$ МПа установлен гидроцилиндр с дроссельным регулированием скорости поршня с помощью одинаковых дросселей на нагнетании и сливе, открывающихся синхронно. Определить минимальный диаметр гидроцилиндра, площадь открытия дросселей и скорость поршня без нагрузки при условии, что шток поршня должен преодолевать нагрузку $F = 35$ кН при скорости перемещения $w = 150$ мм/с. Плотность жидкости $\rho = 850$ кг/м³; диаметр штока $d = 40$ мм; коэффициент расхода дросселей $\mu = 0,64$.  Рис. (к задаче 8–1) <i>Контрольные вопросы</i> 1. Что такое максимальная температура рабочей жидкости и сжатого газа в работающей системе? 2. Объясните механизм охлаждения рабочей жидкости стенками трубопроводов и гидробака. 3. Какая емкость бака принимается, если известна производительность насоса, в гидросистеме, работающей в помещении и на открытом воздухе? 4. Как влияет коэффициент теплопередачи бака, его объем и температура окружающего воздуха на температуру масла в баке? 5. В каких случаях применяются дополнительные охлаждения рабочей жидкости водяными радиаторами?

7.4. Методические рекомендации по самостоятельной подготовке к выполнению контрольной работы для студентов заочной формы обучения

Согласно учебному плану, по заочной форме обучения предусматривается выполнение одной аудиторной контрольной работы. Решение каждой задачи необходимо начинать с изучения условия задачи, исходных данных и вычерчивания четкого содержательного рисунка. Каждый студент выполняет контрольную работу по индивидуальному заданию. Вариант исходных данных к задачам устанавливается преподавателем.

Задачи контрольной работы

Задача 1. Приведена принципиальная схема нерегулируемого объемного гидропривода возвратно-поступательного движения. Диаметр силового гидроцилиндра $D_{\text{ц}} = 80$ мм, диаметр штока $D_{\text{ш}} = 40$ мм, рабочий ход штока $S = 630$ мм, усилие на штоке при рабочем ходе $P = \dots$ кН, сила трения в уплотнителях поршня и штока гидроцилиндра $P_{\text{тр}} = \dots$ кН, скорость движения штока при рабочем ходе $w = \dots$ м/с. Определить подачу насоса $Q_{\text{н}}$ и давление нагнетания насоса при рабочем ходе.

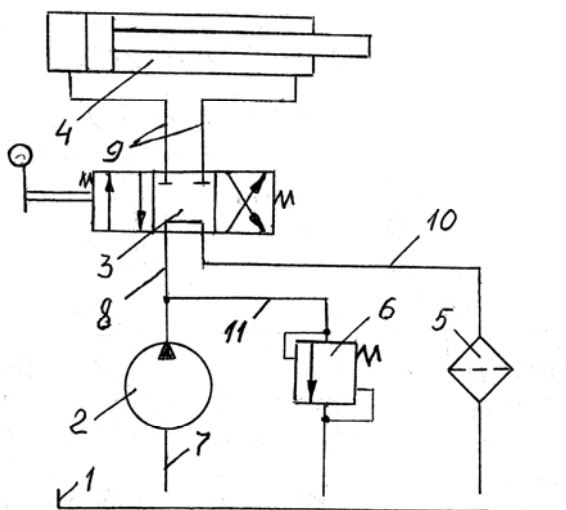


Рис. (к задаче 1)

Исходные данные	Значения для вариантов									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P , кН	12,50	30,00	50,00	12,50	30,00	50,00	12,50	30,00	50,00	50,00
$P_{\text{тр}}$, кН	1,25	3,00	5,00	1,25	3,00	5,00	1,25	3,00	5,00	5,00
w , м/с	0,10	0,105	0,09	0,12	0,105	0,096	0,15	0,15	0,14	0,2

Задача 2. Приведена принципиальная схема нерегулируемого объемного гидропривода вращательного движения. Рабочий объем гидромотора $q_M = \dots$ см³; КПД гидромотора $\eta_M = 0,93$; механический КПД гидромотора $\eta_{мех.М} = \dots$; частота вращения вала гидромотора $n_M = \dots$ 1/с; крутящий момент на валу гидромотора $M_{кр} = \dots$ Н·м. Определить потребную подачу насоса Q_H и перепад давления на гидромоторе ΔP_M .

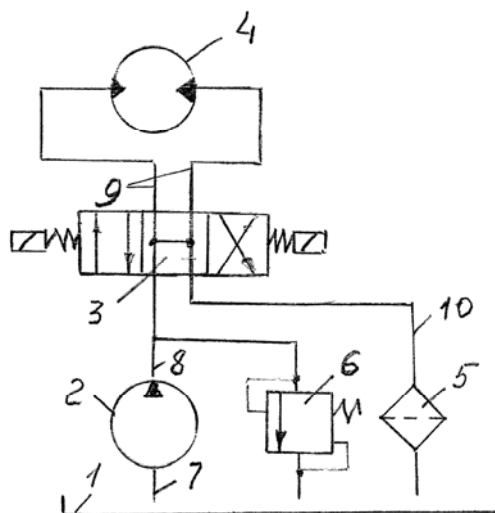


Рис. (к задаче 2)

Исходные данные	Значения для вариантов									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$q_M, \text{см}^3$	9	32	71	142	251	501	32	32	71	71
$\eta_{мех.М}$	0,98	0,98	0,98	0,96	0,96	0,96	0,98	0,98	0,98	0,98
$n_M, 1/\text{с}$	18	15,75	10,45	7,65	4,32	2,17	5,05	23,2	15	7,1
$M_{кр}, \text{Н} \cdot \text{м}$	12	42	105	210	370	740	42	42	105	105

Задача 3. Приведена принципиальная схема объемного гидропривода вращательного движения с дроссельным регулированием. Рабочий объем гидромотора $q_M = \dots$ см³; механический КПД гидромотора $\eta_{мех.М} = \dots$; $\Delta p_M = \dots$ МПа – перепад давления на гидромоторе. Определить: расход в напорной магистрали Q , частоту вращения вала гидромотора n_M , крутящий момент на валу гидромотора $M_{кр}$.

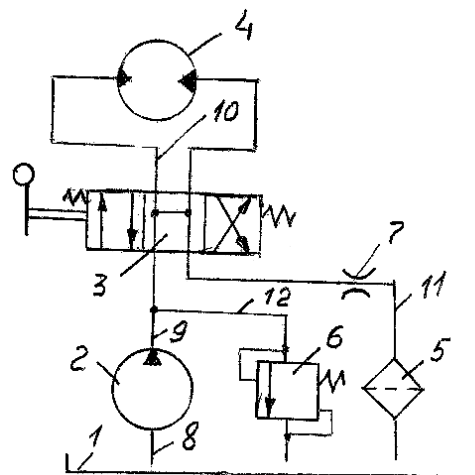


Рис. (к задаче 3)

Исходные данные	Значения для вариантов									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$q_M, \text{см}^3$	9	32	71	142	251	501	32	32	71	71
$\eta_{мех.М}$	0,98	0,98	0,98	0,96	0,96	0,96	0,98	0,98	0,98	0,98
$\Delta p_M, \text{МПа}$	1,2	4,2	9,45	18,9	33,3	66,6	4,2	4,2	9,45	9,45

8. РУБЕЖНЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ. ТЕСТЫ

Текущая успеваемость студентов контролируется промежуточной аттестацией в виде тестирования. Тесты промежуточной аттестации содержат пройденный на лекциях материал и темы, включенные в практические занятия.

Тест к разделу «Направляющая и регулирующая аппаратура»

1. Распределители предназначены для:

- а) регулирования скорости движения рабочей жидкости;
- б) изменения направления потока рабочей жидкости;
- в) изменения уровня давления в гидросистеме;
- г) синхронизации хода штоков гидроцилиндров;
- д) предохранения гидросистемы от перегрузки.

2. Гидрозамок служит для:

- а) пропускания рабочей жидкости только в одном направлении;
- б) синхронизации движения исполнительных органов;
- в) надежного закрытия полости гидродвигателя при разгерметизации гидросистемы;
- г) последовательного включения исполнительных органов;
- д) контроля величины перемещения рабочего органа.

3. Предохранительный клапан служит для:

- а) изменения направления потока рабочей жидкости;
- б) контроля уровня давления в гидросистеме;
- в) предохранения гидросистемы от перегрузок;
- г) разделения потока рабочей жидкости на два и более;
- д) соединения потоков рабочей жидкости в один поток.

4. Дроссель служит для:

- а) соединения потоков рабочей жидкости в один поток;
- б) контроля уровня давления рабочей жидкости;
- в) регулирования скорости движения рабочего органа;
- г) изменения направления потока рабочей жидкости;
- д) синхронизации хода штоков двух гидроцилиндров.

5. Редукционный клапан предназначен для:

- а) регулирования скорости движения рабочего органа;
- б) контроля уровня давления рабочей жидкости;
- в) изменения направления потока рабочей жидкости;

- г) поддержания установленного уровня давления, сниженного по отношению к давлению, создаваемому насосом;
- д) соединения потоков рабочей жидкости в один поток.

Тест к разделу «Насосы и гидродвигатели»

1. Насос предназначен для:

- а) вращения рабочего органа;
- б) преобразования механической энергии приводного двигателя в энергию потока рабочей жидкости;
- в) перемешивания рабочей жидкости;
- г) передачи выходному звену возвратно – поступательного движения;
- д) изменения направления потока рабочей жидкости.

2. Гидромотор служит для:

- а) вращения рабочего органа;
- б) передачи выходному звену возвратно-поступательного движения;
- в) изменения направления потока рабочей жидкости;
- г) изменения уровня давления в сливной линии;
- д) регулирования расхода насоса.

3. Гидроцилиндр предназначен для:

- а) передачи выходному звену возвратно-поступательного движения;
- б) изменения уровня давления в сливной линии;
- в) изменения направления потока рабочей жидкости;
- г) регулирования расхода насоса;
- д) вращения рабочего органа.

Тест к разделу «Вспомогательные устройства»

1. Гидробак служит для:

- а) изменения давления в гидросистеме;
- б) размещения, охлаждения и очистки рабочей жидкости;
- в) изменения направления потока рабочей жидкости;
- г) контроля уровня давления в гидросистеме;
- д) регулирования расхода насоса.

2. Аккумулятор предназначен для:

- а) охлаждения рабочей жидкости;
- б) очищения рабочей жидкости от механических примесей;
- в) контроля уровня давления в гидросистеме;
- г) поддержания высокого давления в момент отключения насоса;
- д) изменения направления потока рабочей жидкости/

3. Уплотнения подвижных и неподвижных соединений служат для:

- а) контроля уровня давления в гидросистеме;
- б) обеспечения герметичности гидрооборудования;
- в) охлаждения рабочей жидкости;
- г) изменения уровня давления в гидросистеме;
- д) очищения рабочей жидкости.

Тест к разделу «Определение основных параметров гидропривода»

1. *Мощность, которая передается от приводного двигателя к валу насоса, называется:*

- а) полезной;
- б) подведенной;
- в) гидравлической;
- г) механической.

2. *Мощность, которая отводится от насоса в виде потока жидкости под давлением, называется:*

- а) полезной;
- б) подведенной;
- в) гидравлической;
- г) механической.

3. *Объемный КПД насоса отражает потери мощности, связанные:*

- а) с внутренними перетечками жидкости внутри насоса через зазоры подвижных элементов;
- б) с возникновением силы трения между подвижными элементами насоса;
- в) с деформацией потока рабочей жидкости в насосе и с трением жидкости о стенки гидроаппарата;
- г) с непостоянным расходом жидкости в нагнетательном трубопроводе.

4. *Механический КПД насоса отражает потери мощности, связанные:*

- а) с внутренними перетечками жидкости внутри насоса через зазоры подвижных элементов;
- б) с возникновением силы трения между подвижными элементами насоса;
- в) с деформацией потока рабочей жидкости в насосе и с трением жидкости о стенки гидроаппарата;
- г) с непостоянным расходом жидкости в нагнетательном трубопроводе.

5. *Гидравлический КПД насоса отражает потери мощности, связанные:*

- а) с внутренними перетечками жидкости внутри насоса через зазоры подвижных элементов;

- б) с возникновением силы трения между подвижными элементами насоса;
- в) с деформацией потока рабочей жидкости в насосе и с трением жидкости о стенки гидроаппарата;
- г) с непостоянным расходом жидкости в нагнетательном трубопроводе.

Тест к разделу «Графическое обозначение элементов гидропривода»

1. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



- а) гидроцилиндр поршневой;
- б) гидроцилиндр плунжерный;
- в) гидроцилиндр телескопический;
- г) гидроцилиндр с торможением в конце хода.

2. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



- а) клапан напорный;
- б) гидроаккумулятор грузовой;
- в) дроссель настраиваемый;
- г) гидрозамок.

3. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



- а) гидроцилиндр;
- б) гидрозамок;
- в) гидропреобразователь;
- г) гидрораспределитель.

4. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



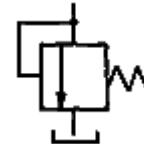
- а) гидронасос регулируемый;
- б) гидромотор регулируемый;
- в) поворотный гидроцилиндр;
- г) манометр.

5. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



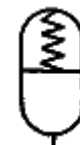
- а) гидронасос реверсивный;
- б) гидронасос регулируемый;
- в) гидромотор реверсивный, нерегулируемый;
- г) теплообменник.

6. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



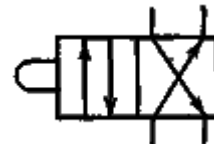
- а) клапан обратный;
- б) клапан редукционный;
- в) клапан предохранительный;
- г) клапан перепада давлений.

7. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



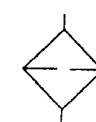
- а) гидроаккумулятор плунжерный;
- б) гидроаккумулятор грузовой;
- в) гидроаккумулятор пневмогидравлический;
- г) гидроаккумулятор пружинный.

8. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



- а) гидрораспределитель двухлинейный четырехпозиционный;
- б) гидрораспределитель четырехлинейный двухпозиционный;
- в) гидрораспределитель двухпозиционный с управлением от электромагнита;
- г) гидрораспределитель клапанного типа.

9. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



- а) теплообменник;
- б) фильтр;
- в) гидрозамок;
- г) клапан обратный.

10. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



- а) клапан обратный;
- б) дроссель регулируемый;
- в) дроссель нерегулируемый;
- г) клапан редукционный.

11. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



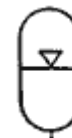
- а) гидроаккумулятор грузовой;
- б) гидропреобразователь;
- в) гидроцилиндр с торможением в конце хода;
- г) гидрозамок.

12. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



- а) клапан прямой;
- б) клапан обратный;
- в) клапан напорный;
- г) клапан подпорный.

13. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



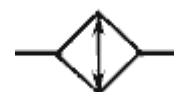
- а) гидроаккумулятор плунжерный;
- б) гидроаккумулятор грузовой;
- в) гидроаккумулятор пневмогидравлический;
- г) гидроаккумулятор регулируемый.

14. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



- а) гидрораспределитель четырехлинейный трехпозиционный;
- б) гидрораспределитель трехлинейный трехпозиционный;
- в) гидрораспределитель двухлинейный шестипозиционный;
- г) гидрораспределитель четырехлинейный двухпозиционный.

15. Какой гидравлический элемент изображен на рисунке?



- а) фильтр;
- б) теплообменник;
- в) гидрозамок;
- г) клапан обратный.

Ключи к тестам

Тест к разделу «Направляющая и регулирующая аппаратура»

1	2	3	4	5
б	в	в	в	г

Тест к разделу «Насосы и гидродвигатели»

1	2	3
б	а	а

Тест к разделу «Вспомогательные устройства»

1	2	3
б	г	б

Тест к разделу «Определение основных параметров гидропривода»

1	2	3	4	5
б	б	а	б	в

Тест к разделу «Графическое обозначение элементов гидропривода»

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
б	г	в	б	а	в	г	б	б	в	в	б	в	а	б

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дисциплина «Гидро- и пневмоавтоматика» требует изучения основных сведений об объемном гидроприводе, пневматическом приводе, содержащих элементы автоматизации системы. Пневмопривод по сравнению с гидроприводом имеет существенные отличия, например, использование в качестве рабочей среды сжатого воздуха, который требует предварительной подготовки перед подачей в пневмосистему. В системах автоматизации производственных процессов, следует руководствоваться достоинствами и недостатками гидравлических и пневматических систем.

При использовании основной и дополнительной литературы необходимо уделить внимание самостоятельной разработке гидравлических и пневматических принципиальных схем, оснащенных элементами автоматики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. *Гидравлика*, гидромашины и гидропневмопривод [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. направления подготовки дипломированных специалистов «Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования» / под ред. С. П. Стесина. – 4-е изд., стер. – М. : Академия, 2008. – 336 с.
2. *Гиргидов, А. Д.* Механика жидкости и газа (гидравлика) [Текст] : учеб. для студ. вузов, обучающихся по направлениям подготовки спец. «Технические науки» и «Техника и технологии» / А. Д. Гиргидов ; М-во образования Рос. Федерации, С.-Петерб. политехн. ун-т. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2003. – 554 с.

Дополнительная и нормативная литература

3. *Башта, Т. М.* Гидропривод и гидро- пневмопривод [Текст] : учебник / Т. М. Башта. – М. : Машиностроение, 1972. – 320 с.
4. *Башта, Т. М.* Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы [Текст] : учебник / Т. М. Башта, С. С. Руднев. – М. : Машиностроение, 1982. – 424 с.
5. *Калекин, А. А.* Гидравлика и гидравлические машины [Текст] : учебник / А. А. Калекин. – М. : Мир, 2005. – 512 с.
6. *Лебедев, Н. И.* Гидравлика, гидравлические машины и объемный гидропривод [Текст] : учебник / Н. И. Лебедев. – М. : Изд-во Моск. гос. ун-та леса, 2003. – 232 с.
7. *Осипов, П. Е.* Гидропривод машин лесной промышленности и лесного хозяйства [Текст] : учебник / П. Е. Осипов, В. С. Муратов. – М. : Машиностроение, 1972. – 320 с.
8. *ГОСТ 2.781-96* ЕСКД. Обозначения условные графические. Аппараты гидравлические и пневматические, устройства управления и приборы контрольно-измерительные – Госстандарт России – 07.04.1997. – М. : Изд-во стандартов, 1997. – 18 с.
9. *ГОСТ 2.782-96* ЕСКД. Обозначения условные графические. Машины гидравлические и пневматические – Госстандарт России – 07.04.1997. – М. : Изд-во стандартов, 1997. – 16 с.
10. *ГОСТ 2.704-76* ЕСКД. Правила выполнения гидравлических и пневматических схем – Госстандарт СССР – 30.12.1976. – М. : Изд-во стандартов, 1977. – 18 с.
11. *ГОСТ 17398-72.* Насосы. Термины и определения – Госстандарт СССР – 06.01.1972. – М. : Изд-во стандартов, 1972. – 39 с.
12. *ГОСТ 17411-91* Гидроприводы объемные. Общие технические требования – Госстандарт России – 22.05.1991. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 7 с.

13. *ГОСТ 17752-81* Гидропривод объемный и пневмопривод. Термины и определения – Госстандарт СССР – 31.12.1981. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 73 с.
14. *ГОСТ 12445-80* Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы. Номинальные давления – Госстандарт СССР – 17.06.1980. – М. : Изд-во стандартов, 1980 – 2 с.
15. *ГОСТ 13824-80* Гидроприводы объемные и смазочные системы. Номинальные рабочие объемы – Госстандарт СССР – 17.06.1980. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 4 с.
16. *ГОСТ 16516-80* Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы. Условные проходы – Госстандарт СССР – 17.06.1980. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 4 с.
17. *Гидравлика* [Текст] : сб. описаний лаборат. раб. / сост. Н. А. Корицев, В. М. Попов, Т. Л. Леканова, В. Т. Чупров. – Сыктывкар : СЛИ, 2006. – 60 с.
18. *Гидравлика* и гидроприводы [Текст] : сб. описаний лаборат. раб. / сост. Н. А. Корицев, Т. Л. Леканова, В. Т. Чупров, С. Г. Ефимова – Сыктывкар : СЛИ, 2007. – 67 с.
19. *Гидравлика* и гидропривод [Текст] : учеб. программа, метод. указ. и контрольные задания к расчетно-графическим работам для студ. спец. 150405, 270205, 190601, 190603, 110301, 110202 оч. формы обуч. / Федер. агентство по образованию, Сыкт. лесн. ин-т – фил. ГОУ ВПО «С.-Петерб. гос. лесотехн. акад. им. С. М. Кирова», каф. «Теплотехники и гидравлики» ; сост.: А. Ф. Триандафилов, С. Г. Ефимова, В. Т. Чупров. – Сыктывкар : СЛИ, 2007. – 76 с.
20. *Гидравлика*. Самостоятельная работа студентов [Текст] : метод. указания для студ. спец. 150405 «Машины и оборудование лесного комплекса», квалификации инженер оч. и заоч. форм обуч. / Федер. агентство по образованию, Сыкт. лесн. ин-т – фил. ГОУ ВПО «С.-Петерб. гос. лесотехн. акад. им. С. М. Кирова», каф. «Теплотехники и гидравлики» ; сост.: А. Ф. Триандафилов, С. Г. Ефимова, В. Т. Чупров. – Сыктывкар : СЛИ, 2007. – 64 с.

При подготовке данного учебного пособия к изданию были использованы следующие источники:

1. *Гидравлика* и гидропривод [Текст] : метод. указания и контр. задания по курсу для студентов-заочников специальностей 0901, 0902, 0519 / М. Ф. Мячин, А. Н. Минаев ; Мин-во высш. и сред. спец. образования РСФСР ; Ленинградская ордена Ленина лесотехническая академия имени С. М. Кирова. – Л. : ЛТА, 1988. – 36 с.
2. *Гидравлика* и гидропривод [Текст] : метод. указания к выполнению курсовой работы по гидроприводу для студентов специальностей 0519 / В. И. Погорелов, В. А. Иванов ; Мин-во высш. и сред. спец. образования РСФСР ; Ленинградская ордена Ленина лесотехническая академия имени С. М. Кирова. – Л. : ЛТА, 1986. – 36 с.

3. *Гидравлика* и гидропривод [Текст] : метод. указания к выполнению контрольных работ и рабочая программа по курсу для студентов специальностей 0901, 0902, 0519 / М. Ф. Мячин, А. Н. Минаев ; Мин-во высш. и сред. спец. образования РСФСР ; Ленинградская ордена Ленина лесотехническая академия имени С. М. Кирова. – Л. : ЛТА, 1988. – 28 с.
4. *Гидравлика* и гидропривод [Текст] : метод. указания к лабораторным работам для студентов-заочников специальностей 17.04, 26.01, 26.02 (0519. 0901, 0902) / М. Ф. Мячин, А. Н. Минаев, М. М. Овчинников ; Мин-во высш. и сред. спец. образования РСФСР ; Ленинградская ордена Ленина лесотехническая академия имени С. М. Кирова. – Л. : ЛТА, 1989. – 28 с.
5. *Осипов, П. Е.* Гидропривод машин лесной промышленности и лесного хозяйства [Текст] / П. Е. Осипов, В. С. Муратов. – М. : Машиностроение, 1972. – 320 с.

Учебное издание

Леканова Тамара Леонардовна, кандидат химических наук, доцент
Чупров Валентин Тимофеевич, старший преподаватель

ГИДРО- И ПНЕВМОАВТОМАТИКА

Сан.-эпид. заключение № 11.РЦ.09.953.П.000015.01.09

Подписано в печать 24.02.12. Формат 60 × 90 1/16. Уч.-изд. л. 2,0. Усл. печ. л. 3,3.
Тираж 40. Заказ №

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова» (СЛИ),
167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39
institut@sfi.komi.com, www.sli.komi.com

Редакционно-издательский отдел СЛИ.
Отпечатано в СЛИ.