

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего образования**

**«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»**

**УТВЕРЖДАЮ:**

**Директор института**

**С.Е. Гавришев**

**« 31 » января 2017 г.**



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Проектирование и расчет следящих систем гидроприводов  
горных машин и оборудования**

Специальность  
21.05.04 Горное дело

Направленность (специализация) программы  
Горные машины и оборудование

Уровень высшего образования – специалитет

Форма обучения  
Очная

Институт Горного дела и транспорта  
Кафедра Горных машин и транспортно-технологических комплексов  
Курс 3  
Семестр 5

**Магнитогорск  
2017г.**

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по специальности 21.05.04 Горное дело, утвержденного приказом МОиН РФ от 17.10.2016 г. № 1298.

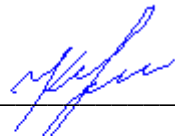
Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов «27» января 2017 г., протокол № 7.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / А.Д. Кольга /

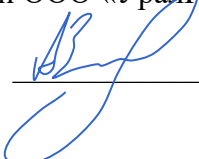
Рабочая программа одобрена методической комиссией института горного дела и транспорта «31» января 2017 г., протокол № 7.

Председатель  / С.Е. Гавришев /





Рабочая программа составлена:      доцент кафедры РМПИ, к.т.н., доцент

 / Н.Г. Караулов /

Рецензент:      заведующий лаборатории ООО «УралГеоПроект»

 / Ар.А. Зубков /

### Лист регистрации изменений и дополнений

№ п/п	Раздел программы	Краткое содержание изменения/дополнения	Дата. № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой
1	РП	Актуализация всех разделов РП	28.09.2017 г. протокол №2	
2	РП	Актуализация всех разделов РП	07.09.2018 г. протокол №1	
3	РП	Актуализация всех разделов РП	26.09.2019 протокол № 2	
4	8	Актуализация учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины	01.09.2020 про- токол №1	

## 1 Цели освоения дисциплины

Целью дисциплины является формирование у студентов знаний по проектированию и расчету следящих систем гидроприводов горных машин и оборудования и умений по их использования в проектных решениях.

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы подготовки специалиста

Дисциплина «Проектирование и расчет следящих систем гидроприводов горных машин и оборудования» входит в вариативную часть блока образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин «Информатика», «Теория автоматического управления», «Управление технически ми системами», «Горные машины и оборудование».

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы при изучении дисциплин «Проектирование оборудования горного производства», «Конструирование горных машин и оборудования», «Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт горных машин», «Организация эксплуатации горных машин» а также для подготовки и написания выпускной квалификационной работы.

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Гидромеханика» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
<b>ПК-8 готовностью принимать участие во внедрении автоматизированных систем управления производством</b>	
Знать	– принципы построения следящих систем, – их компонентную базу
Уметь	– квалифицированно проектировать – проводить расчет следящих систем
Владеть	– методами настройки, регулировки и ремонта следящих систем гидроприводов горных машин и оборудования, позволяющих с готовностью принимать участие во внедрении автоматизированных систем управления производством

#### 4 Структура и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц 72 акад. часа:

- контактная работа – 8,7 акад. часов:
  - аудиторная – 8 акад. часов;
  - внеаудиторная – 0,7 акад. часа
- самостоятельная работа – 59,4 акад. часа;
- подготовка к зачету - 3,9

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа (в акад. часах)	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	лаборат. занятия	практич. занятия				
<p><b>1. Гидравлические исполнительные механизмы</b></p> <p>Статические характеристики гидравлических исполнительных механизмов дроссельного регулирования. Коэффициенты полезного действия гидроприводов с дроссельным регулированием. Динамические характеристики исполнительных механизмов дрос-</p>	3	0,45	0,15		4,8	Поиск дополнительной информации по заданной теме Подготовка лабораторному занятию.	Проверка выполнения тестового задания.	ПК-8-зув

сельного регулирования.							
<p><b>2. Электрогидравлические следящие приводы с электрическими обратными связями</b></p> <p>Принципиальная и структурная схема ЭГСП с нежесткой опорой. Динамические характеристики ЭГСП с нежесткой опорой. Статические характеристики ЭГСП.</p>	0,45	0,15		4,2	Поиск дополнительной информации по заданной теме Подготовка лабораторному занятию. Работа с компьютерными обучающими программами.	Проверка выполнения тестового задания. Защита лабораторных работ.	ПК-8-зув
<p><b>3. Электрогидравлический привод дроссельного регулирования с обратной связью по скорости</b></p> <p>Описание схемы и принцип действия электрогидропривода с обратной связью по скорости. Связь между элементами ЭГП с обратной связью по скорости. Особенности работы ЭГП с обратной связью по скорости на инерционную нагрузку</p>	0,45	0,15		4,2	Поиск дополнительной информации по заданной теме. Работа с компьютерными обучающими программами. Подготовка к лабораторному занятию.	Проверка выполнения тестового задания. Защита лабораторных работ.	ПК-8-зув
<p><b>4. Электрогидравлические следящие приводы с механической обратной связью по положению</b></p> <p>Схема и принцип действия</p>	0,45	0,15		4,2	Поиск дополнительной информации по заданной теме Подготовка к лабораторному занятию.	Проверка выполнения тестового задания. Защита лабораторных работ.	ПК-8-зув

ЭГСП с механической обратной связью по положению. О добротности по скорости ЭГСП с механической обратной связью по положению							
<b>5. Особенности защиты элементов ЭГСП от загрязнений</b> <b>Защита элементов ЭГСП от механических частиц.</b> <b>Конструктивные особенности гидробаков.</b>	0,42/0,2И	0,14		4,2	Поиск дополнительной информации по заданной теме. Подготовка к лабораторному занятию.	Проверка выполнения тестового задания. Защита лабораторных работ.	ПК-8-зув
<b>6. Проектирование гидромеханической системы</b> Формирование компоновочных решений гидропривода. Определение приведенных параметров гидропривода и несущей системы.	0,42/0,2И	0,14		4,2	Поиск дополнительной информации по заданной теме	Проверка выполнения тестового задания. Защита лабораторных работ.	ПК-8-зув
<b>7. Основы проектирования гидросистем машин</b> Функции гидросистемы и порядок ее проектирования. Получение принципиальной гидросхемы и расчеты по выбору Гидрооборудования. Выбор элементов гидросистемы. Тепловой расчет гидросистемы. Выбор трубопроводов. Динамические расчеты гидросистем	0,42/0,2И	0,14		4,2	Поиск дополнительной информации по заданной теме Оформление лабораторной работы.	Проверка выполнения тестового задания. Защита лабораторных работ.	ПК-8-зув

<p><b>8.Проектирование гидро-механической системы</b> Формирование компоновочных решений гидропривода. Определение приведенных параметров гидропривода и несущей системы.</p>	0,42/0,2И	0,14		4,2	Поиск дополнительной информации по заданной теме Оформление лабораторной работы.	Проверка выполнения тестового задания. Защита лабораторных работ.	ПК-8-зув
<p><b>9.Основы проектирования гидросистем машин</b> Функции гидросистемы и порядок ее проектирования. Получение принципиальной гидросхемы и расчеты по выбору Гидрооборудования. Выбор элементов гидросистемы. Тепловой расчет гидросистемы. Выбор трубопроводов. Динамические расчеты гидросистем</p>	0,42/0,2И	0,14		4,2	Поиск дополнительной информации по заданной теме Оформление лабораторной работы.	Проверка выполнения тестового задания. Защита лабораторных работ.	ПК-8-зув
<p><b>10.Устойчивость гидромеханических систем</b> Обеспечение устойчивости движения рабочих органов машин с гидроприводом. Стабилизация гидросистем. Стабилизация неустойчивых контуров гидросистемы.Следящие приводы</p>	0,42/0,2И	0,14		4,2	Поиск дополнительной информации по заданной теме Оформление лабораторной работы.	Проверка выполнения тестового задания. Защита лабораторных работ.	ПК-8-зув
<p><b>11.Проектирование электрогидравлических систем</b> Основные тенденции развития.</p>	0,42/0,2И	0,14		4,2	Поиск дополнительной информации по заданной теме Управление усилием на выходном звене исполни-	Проверка выполнения тестового задания. Защита лабораторных работ.	ПК-8-зув



Повышение демпфирования. Объемное регулирование. Цифровые электрогидравлические приводы.					тельного механизма.		
<b>12.Обеспечение надежности при проектировании гидросистем</b> Особенности схемы надежности гидросистем. Порядок расчета безотказности гидросистем. Среднее время восстановления. Диагностика и резервирование. Требования к конструкции гидросистем	0,42/0,2И	0,14		4,2	Поиск дополнительной информации по заданной теме Оформление лабораторной работы	Проверка выполнения тестового задания. Защита лабораторных работ.	ПК-8-зув
<b>13.Проектирование гидравлических систем строительных и дорожных машин</b> Особенности гидроприводов горных машин и оборудования.	0,42/0,2И	0,14		4,2	Поиск дополнительной информации по заданной теме Оформление практической работы: Управление положением выходного звена исполнительного механизма.	Проверка выполнения тестового задания. Защита лабораторных работ.	ПК-8-зув

14. <b>Основные требования предъявляемы к гидросистемам горных машин и оборудованию.</b> Гидроприводы рабочего оборудования карьерного экскаватора (системы с разомкнутой циркуляцией и объемным регулированием) Гидроприводы бульдозера (системы с разомкнутой циркуляцией и позиционным управлением) Гидроприводы ходовой трансмиссии пневмоколесного погрузчика (реверсивные системы с замкнутой циркуляцией и объемным регулированием) Гидроприводы грузоподъемного механизма погрузочно-доставочной машины (системы с замкнутой циркуляцией, объемным регулированием и попутной нагрузкой)		0,42/0,2И	0,14		4,2	Поиск дополнительной информации по заданной теме Оформление лабораторной работы: Управление усилителем на исполнительном механизме гидропривода.	Проверка выполнения тестового задания. Защита лабораторных работ.	ПК-8-зув
<b>Итого по семестру</b>	3	<b>6/2 И</b>	2		57,4	консультации	<b>Зачет</b>	ПК-8-зув
<b>Итого по дисциплине</b>	<b>3</b>	<b>6/2 И</b>	<b>2 И</b>		59,4		<b>Зачет</b>	ПК-8-зув

## 5 Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины используются традиционная и модульно-компетентностная технологии.

На занятиях предусматривается использование электронного демонстрационного учебного материала, содержащего сложные схемы, таблицы и математические формулы. Мультимедийное оборудование может быть использовано также и студентами для демонстрации результатов выполнения лабораторных работ.

Лекции проходят как в традиционной форме, так и в форме лекции-информации, которая ориентирована на изложение и объяснение студентам научной информации, подлежащей осмыслению и запоминанию, а также в форме лекций-консультаций, где теоретический материал заранее выдается студентам для самостоятельного изучения, для подготовки вопросов лектору, таким образом, лекция проходит по типу вопросы-ответы-дискуссия.

1. В учебном процессе предусмотрены занятия в форме разбора конкретных ситуаций, связанных со следящим гидropневмоприводом.
2. Использование в учебном процессе Виртуального лабораторного практикума по разделам технической гидромеханики.
3. При проведении лабораторных работ рассматриваются тесты по разделам в интерактивной форме.
4. Часть занятий лекционного типа проводятся в виде презентации.

## 6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

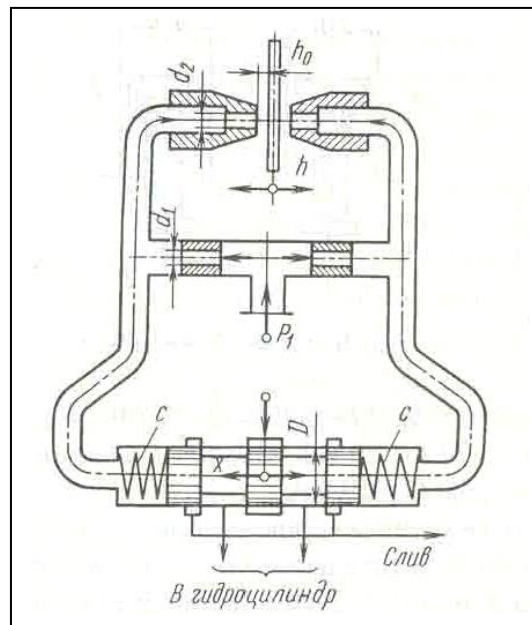
*Примерные задачи:*

**Задача 1.** В двухсопловом гидроусилителе заслонка перемещена в сторону одного из сопел на величину  $h$  от среднего положения  $h_0$ , чем вызван перепад давления  $\Delta p$  на торцах распределительного золотника и, как следствие этого, его перемещение  $x$  от нейтрального положения. Считая, что силы давления на торцах золотника уравновешиваются только пружинами, определить  $x$ , если давление питания гидроусилителя  $p_1 = 6 \cdot 10^6$  Па и перемещение заслонки  $h = 0,5h_0$ . Жесткость каждой из пружин золотника  $c = 130$  Н/мм, его диаметр  $D = 10$  мм. Расход через сопло определять по формуле

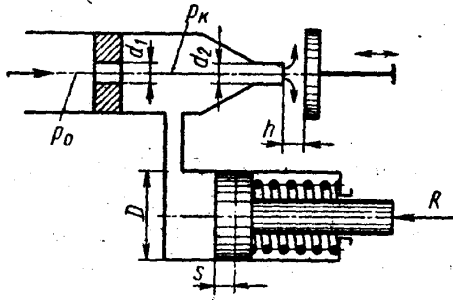
$$Q = \mu_2 \pi d_2 (h_0 - h) \sqrt{\frac{2p}{\rho}},$$

где  $\mu_2$  - коэффициент расхода сопла;  $p$  - давление перед соплом;  $\rho$  - плотность жидкости.

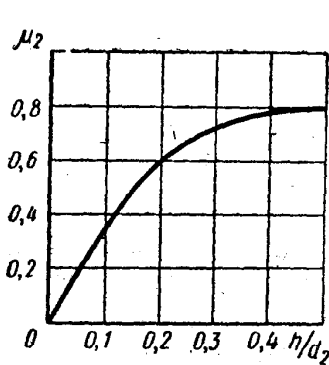
Задачу решить для случая, когда  $\pi d_2 h_0 = \pi d_1^2 / 4$  и  $\mu_1 = \mu_2$ , где  $\mu_1$  - коэффициент расхода входного дроссельного отверстия и  $d_1$  - его диаметр.



**Задача 2.** Рабочая жидкость подается к гидроусилителю типа сопло-заслонка под постоянным давлением  $p_0=10$  МПа. Командный элемент гидроусилителя включает постоянный дроссель в виде жиклера  $d_1 = 3$  мм и регулируемый дроссель в виде сопла  $d_2=2$  мм с подвижной заслонкой на выходе. Давление  $p_k$  в камере между дросселями передается в рабочую полость исполнительного гидроцилиндра ( $D=35$  мм), поршень которого оперт на пружину жесткостью  $C = 200$  Н/см и нагружен силой  $R=7500$  Н. При изменении зазора  $h$  между соплом и заслонкой изменяется давление  $p_k$  вызывая следующее перемещение поршня.



Построить график зависимости между зазором  $h$  и смещением  $s$  поршня из крайнего положения, отвечающего  $h=0$ . Определить  $s$  при  $h = 1$  мм. Расход через жиклер равен



$$Q_1 = \mu_1 \frac{\pi d_1^2}{4} \sqrt{2 \frac{p_0 - p_k}{\rho}}$$

где  $\mu_1 = 0,8$ , и через сопло-заслонку.

$$Q_2 = \mu_2 \frac{\pi d_2^2}{4} \sqrt{2 \frac{p_k}{\rho}}$$

где коэффициент расхода  $\mu_2$  задан как функция относительного зазора  $\frac{h}{d_2}$ .

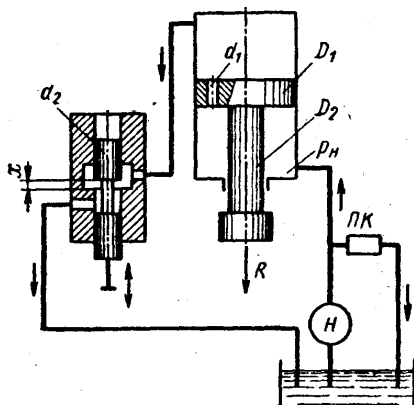
$$\mu = f\left(\frac{h}{d_2}\right)$$

Построить дополнительно график зависимости сопла-заслонки, определяемого из выражения

$$Q_2 = \mu \pi d_2 h \sqrt{2 \frac{p_k}{\rho}}$$

**Задача 3.** Исполнительный цилиндр гидроусилителя (диаметр поршня  $D_1 = 60$  мм и штока  $D_2 = 30$  мм) нагружен силой  $R = 3500$  Н. Рабочая жидкость ( $\rho = 850$  кг/м<sup>3</sup>) подается в нижнюю полость цилиндра насосом Н под давлением  $p_n=5$  МПа (поддерживается постоянным с помощью переливного клапана ПК). -

Командный однокромочный золотник (диаметр плунжера  $d_2 = 10$  мм), управляет перемещениями штока цилиндра путем изменения открытия цилиндрического окна, через которое жидкость поступает из верхней полости цилиндра на слив.



В поршне цилиндра имеется дросселирующее отверстие ( $d_1 = 4$  мм), благодаря которому можно при определенных открытиях золотника реверсировать движение поршня.

Построить график зависимости скорости  $v_n$  установившегося движения поршня от открытия  $x$  золотника.

Указать, при каком  $x$  поршень останавливается ( $v_n = 0$ ). Каково будет значение  $v_n$  при закрытом золотнике?

Расход через дросселирующее отверстие определять по формуле

$$Q_1 = \mu_1 \frac{\pi d_1^2}{4} \sqrt{2 \frac{p_n - p_0}{\rho}}$$

и через золотник

$$Q_2 = \mu_2 \pi d_2 x \sqrt{2 \frac{p_0}{\rho}}$$

где  $p_0$  — давление в верхней полости цилиндра.

Коэффициенты расхода принять  $\mu_1 = \mu_2 = 0,6$ . Трением и утечками в цилиндре пренебрегать.

Указание. Воспользоваться уравнением равновесия поршня:

$$p_0 \frac{\pi D_1^2}{4} + R = p_n \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2)$$

и выражением расхода жидкости из верхней полости в золотник предполагая, что поршень движется вверх, имеем

$$Q_0 = Q_1 + v_n \frac{\pi D_1^2}{4}$$

**Задача 4.** Механическая колебательная система, показанная на рис. 1.1, состоит из пружины 1 жесткостью  $c_{пр}$  и гидравлического демпфера 2. Рабочая площадь демпфера  $f_d$ , проводимость дроссельного отверстия 4 в поршне 3 демпфера  $K_{др}$ .

Масса подвижных частей, приведенная к штоку гидравлического демпфера,  $m$ . Силу трения  $F_{тр}$  между поршнем и корпусом демпфера и между штоком и корпусом демпфера принять пропорциональной скорости их перемещения относительно друг друга с коэффициентом пропорциональности  $K_{тр}$  (т. е.

$$F_{тр} = K_{тр} \frac{dz}{dt}).$$

Модуль объемной упругости жидкости равен  $Vж$ .

Составить математическое описание системы в форме “вход-выход”. За выходную величину принять перемещение  $z$  массы  $m$ . Входное воздействие на систему осуществляется перемещением верхней опоры пружины на величину  $z_1$ .

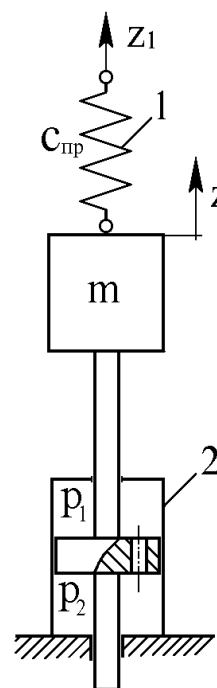


Рис. 1.1.

Зависимость расхода жидкости  $Q_{др}$ , протекающей через дроссельное отверстие 4, от перепада давления  $\Delta P$  на поршне принять линейной (т. е.

$$Q_{др} = K_{др} \Delta P,$$

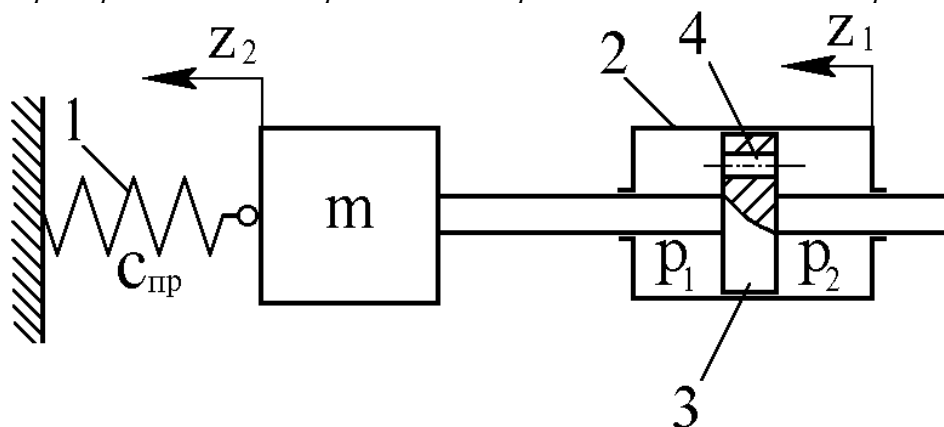
где  $K_{др}$  - проводимость дроссельного отверстия), что справедливо для ламинарного режима течения. Воздействие  $z_1$  приложено в момент, когда объёмы жидкости на поршне и под поршнем одинаковы и равны  $V_0$ .

Составить математическое описание и определить передаточную функцию:

- а) без учета массы подвижных частей, силы трения и сжимаемости жидкости;
- б) без учета силы трения и сжимаемости жидкости, но с учетом массы подвижных частей;
- в) без учета сжимаемости жидкости, но с учетом силы трения и массы подвижных частей;
- г) с учетом сжимаемости жидкости, силы трения и массы подвижных частей.

**Задача 5.** Гидравлическое устройство, показанное на рис. 1.3, называют катарактом и применяют в автоматических регуляторах для осуществления изодромной обратной связи. Катаракт состоит из поршня 3 площадью  $f_n$  и массой  $m$ , имеющего дроссельное отверстие 4, цилиндра 2 и пружины 1 жесткостью  $c_{пр}$ . Зависимость расхода жидкости  $Q_{др}$ , проте-

кающей через дроссельное отверстие 4 от перепада давления  $\Delta P$  на поршне принять ли-



нейной

Рис. 1.3 . Катаракт

(т. е.  $Q_{др} = K_{др} \Delta P$ , где  $K_{др}$  - проводимость дроссельного отверстия), что справедливо для ламинарного режима течения. Силу трения  $F_{тр}$  между поршнем и цилиндром принять пропорциональной относительной скорости их взаимного перемещения с коэффициентом пропорциональности  $K_{тр}$  т. е.

$$F_{тр} = K_{тр} \frac{d(z_1 - z_2)}{dt}$$

Модуль объемной упругости жидкости равен  $Vж$ . Составить математическое описание в форме “вход-выход” катаракта. Входное воздействие осуществляется перемещением  $z_1$  цилиндра. За выходную величину принять перемещение  $z_2$  подвижного конца пружины с поршнем. Воздействие  $z_1$  приложено в момент времени, когда объемы жидкости в общих полостях цилиндра одинаковы и равны  $V_0$ . Определить передаточную функцию. Поперечными размерами штока пренебречь.

Составить математическое описание и определить передаточную функцию:

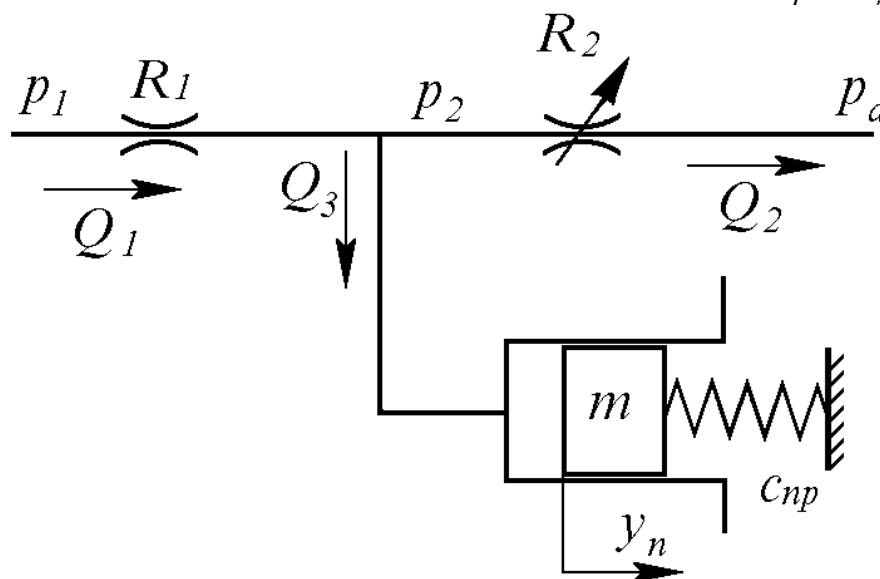
- а) без учета массы подвижных частей, силы трения и сжимаемости жидкости;
- б) без учета силы трения и сжимаемости жидкости, но с учетом массы подвижных частей;
- в) без учета сжимаемости жидкости, но с учетом силы трения и массы подвижных частей;
- г) с учетом сжимаемости жидкости, силы трения и массы подвижных частей.

**Задача 6.** Составить математическое описание в форме “вход-выход” гидравлического устройства, описанного в задаче 3. За выходную величину

принять перемещение  $z_2$  свободного конца пружины. Входное воздействие осуществляется внешней силой  $F$ , приложенной к цилиндру 2 (рис. 1.4). Составить математическое описание и определить передаточную функцию:

- без учета массы подвижных частей, силы трения и сжимаемости жидкости;
- без учета силы трения и сжимаемости жидкости, но с учетом массы подвижных частей;
- без учета сжимаемости жидкости, но с учетом силы трения и массы подвижных частей;
- с учетом сжимаемости жидкости, силы трения и массы подвижных частей.

**Задача 7.** Гидравлическая система (рис. 1.5) состоит из нерегулируемого дросселя с постоянным гидравлическим сопротивлением  $R_1$ , регулируемого дросселя с переменным гидравлическим сопротивлением  $R_2$  и гидроцилиндра с поршнем массой  $m$ . На поршень с одной стороны действует давление  $P_2$  жидкости, а с другой - пружина жесткостью  $c_{пр}$ . Поршень находится в равновесии, когда сила давления равна силе пружины. Регулируя гидравлическое сопротивление  $R_2$ , можно изменять давление  $P_2$  и тем самым вызывать перемещение уп



поршня.

Рис. 1.5. Гидросистема

При движении поршня силу трения между поршнем и гидроцилиндром принять пропорциональной скорости движения поршня с коэффициентом пропорциональности  $K_{тр}$  т. е.

$$F_{мп} = K_{мп} \frac{dy_n}{dt}$$

Давления  $P_1$  и  $P_2$  будем считать избыточными, а давление после второго дросселя - равным атмосферному  $P_a$ .

Кроме того, давления  $P_1$  и  $P_a$  примем постоянными и пусть выполняется условие  $P_1 > P_2$ . Составить математическое описание гидросистемы при малых отклонениях поршня относительно положения равновесия, привести уравнения к одному уравнению в форме "вход-выход".

За входное воздействие принять изменение гидравлического сопротивления  $R_2$ , а за выходную величину - перемещение  $u_n$  поршня. При положении равновесия значения переменных величин принять равными:  $P_2 = P_{20}$ , положение поршня  $u_n = 0$ , гидравлическое сопротивление регулируемого дросселя

$R_2 R_{20} =$ , объем жидкости в гидроцилиндре и трубопроводах (между дросселями и гидроцилиндром) равным  $V_0$ . Модуль объемной упругости жидкости принять равным  $B_ж$ .

Составить математическое описание и определить передаточную функцию:

- без учета массы подвижных частей, силы трения и сжимаемости жидкости;
- без учета силы трения и сжимаемости жидкости, но с учетом массы подвижных частей;
- без учета сжимаемости жидкости, но с учетом силы трения и массы подвижных частей;
- с учетом сжимаемости жидкости, силы трения и массы подвижных частей.

**Задача 8.** Составить математическое описание гидравлического усилителя с нагруженным пружинами золотником (рис. 1.6). Определить передаточную функцию. Гидроусилитель состоит из золотника 1, пружин 2, нерегулируемых дросселей 3, заслонки 4 и сопел 5. В гидроусилителе перепад давления

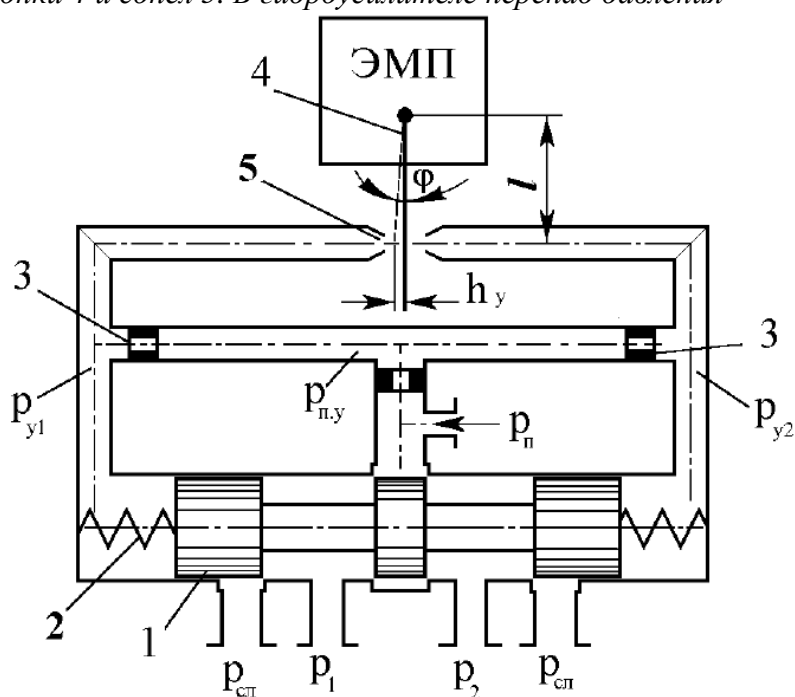


Рис. 1.6. Гидроусилитель

$p_{y1} - p_{y2}$ , в полостях А и Б, необходимый для управления (перемещения) золотником 1, создается при отклонении  $h_y$  заслонки от нейтрального положения вследствие изменения расходов через дроссели 3. При отклонении заслонки влево от нейтрального положения расстояние от левого сопла до заслонки уменьшается, а от правого сопла до заслонки - увеличивается, что ведет к уменьшению расхода жидкости через левое сопло, что, в свою очередь ведет к увеличению давления после левого дросселя и уменьшению давления после правого дросселя. Вследствие этого изменения давления в левой половине гидроусилителя часть жидкости после левого дросселя потечет в полость А и давление в полости А увеличится, в правой же половине гидроусилителя жидкость потечет из полости Б к правому соплу и давление в полости Б уменьшится. Под разностью сил давления в полостях А и Б золотник начнет перемещаться вправо, сжимая правую пружину и растягивая левую, пока силы давления, действующие на золотник, не уравновесятся силами, приложенными со стороны пружин. При движении золотника на него действуют также гидродинамическая сила и сила трения.

За входное воздействие принять отклонение заслонки от нейтрального



положения, а за выходную величину - перемещение золотника.  
Уравнение линеаризованной расходно-перепадной характеристики усиленной ступени с соплом-заслонкой принять в виде

$$Q_y = K_{Q_h} \dot{h}_y - K_{Q_h} P_y,$$

где  $Q_y$  - расход жидкости, обеспечивающий движение управляемого золотника от нейтрального положения;  $h_y$  - отклонение заслонки от нейтрального положения;  $P_y = P_{y1} - P_{y2}$  - разность управляющих давлений в полостях А и Б гидроусилителя.

Гидродинамическую силу, приложенную к золотнику со стороны потока жидкости, обтекающего кромки его буртов, определять по формуле

$$F_{z\delta} = -2c_{z\delta} x_z$$

где  $c_{z\delta}$  - коэффициент жесткости гидродинамической пружины, принять постоянным;  $x_z$  - смещение золотника относительно нейтрального положения). Силу трения  $F_{z\delta}$  между золотниками и корпусом считать вызванной жидкостным трением и определить по соотношению

$$F_{mp} = K_{mp} \frac{dx_z}{dt}$$

где  $K_{mp}$  - коэффициент трения.

Объемы полостей А и Б считать одинаковыми и равными  $V_y$ . Масса золотников равна  $m_z$ . Модуль объемной упругости жидкости равен  $B_j$ .

Составить математическое описание и определить передаточную функцию:

- а) без учета массы подвижных частей, силы трения и сжимаемости жидкости;
- б) без учета силы трения и сжимаемости жидкости, но с учетом массы подвижных частей;
- в) без учета сжимаемости жидкости, но с учетом силы трения и массы подвижных частей;
- г) с учетом сжимаемости жидкости, силы трения и массы подвижных частей.

### Примерное задание по лабораторной работе

Провести на стенде настройку PID- регулятор, используя метод Зиглера – Николса.

1. Установление границы устойчивости замкнутого контура регулирования (эмпирически),
2. Вычисление параметров регулятора в соответствии со стандартными формулами.
  1. Граница устойчивости определяется посредством Р- регулятора. Условием этого являются появление установившихся колебаний. Это позволяет определить критический коэффициент усиления  $K_{crit}$  и критический период колебания  $T_{crit}$  (см. рис.).
  2. Коэффициенты регуляторов, исходя из этого, рассчитываются на основе формул (см. табл. 1).

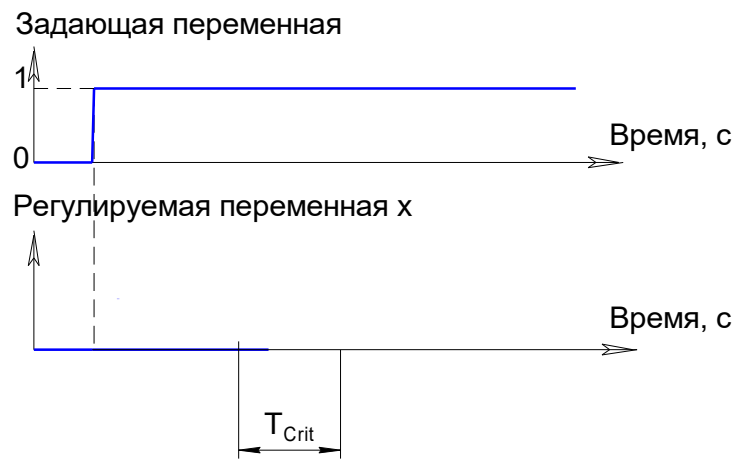


Рис. Критический период колебания  $T_{Crit}$

Коэффициенты регулятора согласно методу Зиглера-Николса

Тип регулятора	Вычисление значений характеристик				
	$K_P$	$T_n$	$T_v$	$K_I$	$K_D$
<b>P</b>	$0.5 \cdot K_{Crit}$	-	-	-	-
<b>PD</b>	$0.8 \cdot K_{Crit}$	-	$0.12 \cdot T_{Crit}$	-	$K_P \cdot T_v$
<b>PI</b>	$0.45 \cdot K_{Crit}$	$0.85 \cdot T_{Crit}$	-	$K_P / T_n$	-
<b>PID</b>	$0.6 \cdot K_{Crit}$	$0.5 \cdot T_{Crit}$	$0.12 \cdot T_{Crit}$	$K_P / T_n$	$K_P \cdot T_v$

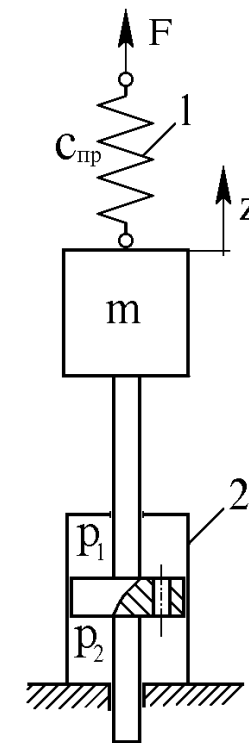
## 7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

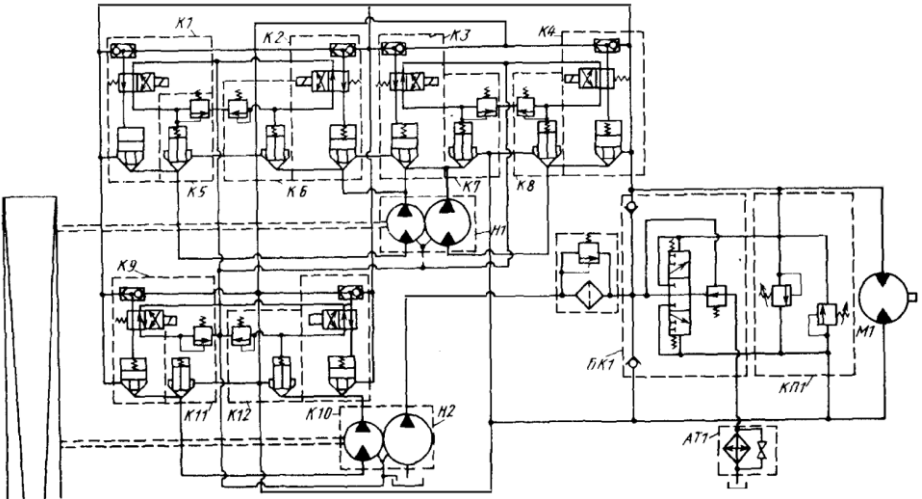
### а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
<b>ПК-8 готовностью принимать участие во внедрении автоматизированных систем управления производством</b>		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>– принципы построения следящих систем</li> <li>– их компонентную базу</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Статические характеристики гидравлических исполнительных механизмов дроссельного регулирования.</li> <li>2. Коэффициенты полезного действия гидроприводов с дроссельным регулированием.</li> <li>3. Динамические характеристики исполнительных механизмов дроссельного регулирования.</li> <li>4. Принципиальная и структурная схема ЭГСП с нежесткой опорой.</li> <li>5. Динамические характеристики ЭГСП с нежесткой опорой.</li> <li>6. Статические характеристики ЭГСП.</li> <li>7. Описание схемы и принцип действия электрогидропривода с обратной связью по скорости. Связь между элементами ЭГП с обратной связью по скорости.</li> <li>8. Особенности работы ЭГП с обратной связью по скорости на инерционную нагрузку</li> <li>9. Схема и принцип действия ЭГСП с механической обратной связью по положению. О добротности по скорости ЭГСП с механической обратной связью по положению</li> <li>10. Защита элементов ЭГСП от механических частиц. Конструктивные особенности гидробаков.</li> <li>11. Формирование компоновочных решений гидропривода.</li> <li>12. Определение приведенных параметров гидропривода и несущей системы.</li> <li>13. Функции гидросистемы и порядок ее проектирования.</li> <li>14. Получение принципиальной гидросхемы и расчеты по выбору гидрооборудования.</li> <li>15. Выбор элементов гидросистемы.</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>16. Тепловой расчет гидросистемы. Выбор трубопроводов.</p> <p>17. Динамические расчеты гидросистем</p> <p>18. Обеспечение устойчивости движения рабочих органов машин с гидроприводом.</p> <p>19. Стабилизация гидросистем.</p> <p>20. Стабилизация неустойчивых контуров гидросистемы. Следящие приводы</p> <p>21. Проектирование электрогидравлических систем</p> <p>22. Основные тенденции развития.</p> <p>23. Повышение демпфирования.</p> <p>24. Объемное регулирование.</p> <p>25. Цифровые электрогидравлические приводы.</p> <p>26. Особенности схемы надежности гидросистем.</p> <p>27. Порядок расчета безотказности гидросистем.</p> <p>28. Среднее время восстановления. Диагностика и резервирование.</p> <p>29. Требования к конструкции гидросистем</p> <p>30. Особенности гидроприводов горных машин и оборудования.</p> <p>31. Гидроприводы рабочего оборудования карьерного экскаватора (системы с разомкнутой циркуляцией и объемным регулированием)</p> <p>32. Гидроприводы бульдозера (системы с разомкнутой циркуляцией и позиционным управлением)</p> <p>33. Гидроприводы ходовой трансмиссии пневмоколесного погрузчика (реверсивные системы с замкнутой циркуляцией и объемным регулированием)</p> <p>34. Гидроприводы грузоподъемного механизма погрузочно-доставочной машины (системы с замкнутой циркуляцией, объемным регулированием и попутной нагрузкой)</p> <p>35. Ступенчато-регулируемые гидроприводы бетоносмесителя и бульдозера.</p> <p>36. Ступенчато-регулируемый гидропривод колесного погрузчика.</p> <p>37. Ступенчато-регулируемый гидропривод гусеничного тягача с дистанционным управлением</p> <p>38. Динамический расчет ступенчато-регулируемых гидроприводов</p> <p>39. Особенности последовательного соединения гидродвигателей в многопоточ-</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		ных ступенчато регулируемых гидроприводах
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>– квалифицированно проектировать</li> <li>– проводить расчет следящих систем</li> </ul>	<p><b>Примерные практические задания для зачета:</b>  Составить математическое описание в форме “вход-выход” системы, приведенной на следующей схеме.</p> <p>За выходную величину принять перемещение массы <math>m</math> от внешней силы <math>F</math>, а силу <math>F</math> - за входное воздействие.</p> <p>Составить математическое описание и определить передаточную функцию:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>а) без учета массы подвижных частей, силы трения и сжимаемости жидкости;</li> <li>б) без учета силы трения и сжимаемости жидкости, но с учетом массы подвижных частей;</li> <li>в) без учета сжимаемости жидкости, но с учетом силы трения и массы подвижных частей;</li> <li>г) с учетом сжимаемости жидкости, силы трения и массы подвижных частей.</li> </ol>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>– методами настройки, регулировки и ремонта следящих систем гидроприводов горных машин и оборудования, позволяющих с готовностью принимать участие во внедрении автоматизированных систем управления произ-</li> </ul>	<p><b>Примерные задания на решение задач из профессиональной области</b></p> <p>Приведена схема гидрообъемной трансмиссии гусеничного тягача. Укажите особенности данной схемы. Возможности регулировки и настройки. Приведите алгоритм расчета динамических расчета данного гидропривода.</p>



Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	ВОДСТВОМ	 <p>The diagram illustrates a complex water supply system. It features a main vertical pipe on the left side. The system is divided into several sections by dashed lines, each containing specific components: <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Top Section:</b> Contains four parallel branches labeled К1, К2, К3, and К4. Each branch includes a valve and a pump.</li> <li><b>Middle Section:</b> Features two pumps labeled Н1 and Н2, connected to a central horizontal pipe.</li> <li><b>Bottom Section:</b> Includes two parallel branches labeled К5 and К6, and another set of two parallel branches labeled К9 and К10. Each branch has a valve and a pump.</li> <li><b>Right Section:</b> Shows a control panel with a pressure gauge (ПА1), a valve (КП1), and a pump (М1).</li> <li><b>Bottom Right Section:</b> Contains a valve labeled АТ1.</li> </ul> </p>

## **б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Проектирование и расчет следящих систем гидроприводов горных машин и оборудования» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета.

Зачет по данной дисциплине проводится в виде ответов на тестовые задания. Тесты выкладываются на портале МГТУ.

### ***Показатели и критерии оценивания зачета:***

«Зачтено» - выставляется при условии, если студент показывает хорошие знания учебного материала по темам курса, знает основные положения проектирования и расчета следящих систем гидроприводов горных машин и оборудования, устройство и принцип работы гидроаппаратов. При этом студент логично и последовательно излагает материал, раскрывает смысл вопроса, дает удовлетворительные ответы на дополнительные вопросы.

«Не зачтено» - выставляется при условии, если студент владеет отрывочными знаниями по темам курса, дает неполные ответы на вопросы из основной литературы, рекомендованной к курсу.

### **Методические рекомендации для подготовки к зачету**

При подготовке к зачету у студента должен быть хороший учебник или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра. Конспектирование должно осуществляться обучающимся только лишь самостоятельно. Просмотр собственных конспектов позволяет обучающемуся быстро восстанавливать в памяти содержание источника.

В начале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения, используя при этом опорные конспекты лекций. При этом нужно обратить особое внимание на темы учебных занятий, пропущенных студентом по разным причинам.

Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) Основная литература:**

1. Иванов Г.М. и др. Проектирование гидравлических систем машин: Учеб. пособие для студентов вузов по специальностям « Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика ка», «Автоматизация технологиче-



ских процессов и производств в / Г.М. Иванов, С.А. Ермаков, Б.Л.Коробочкин, Р.М. Пасынков; Под общей редакцией Г.М. Иванова. \_М.: Машиностроение, 1992. – 224с.

2. Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управления. М.: Машиностроение, 1972.

#### б) Дополнительная литература:

1. Никитин А. А. Управление техническими системами: Учеб. пособие / А. А. Никитин.Красноярск: СФУ, 2007. 145 с.
2. Гидропривод и гидропневмоавтоматика станков /Федорец В.А., Педченко М.Н., Пичко М.Н. и др.–К.: Вища шк.,1987. – 375 с.
3. Viersma T.J. Investigation into the accuracy of hydraulic servomotors // Philips Res. Reports 1961, 16, p. 507–596, 1962, 17, p. 20–78.
4. Тумаркин М. М. Гидравлические следящие приводы.–М.: Машиностроение, 1966. – 296 с.
5. Коробочкин Б.Л., Тихенко В.Н. Гидравлическая следящая система с обратной связью по нагрузке. //Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления.– М.: Машиностроение, 1978. – Вып.5. – С.158–167.
6. Тихенко В.Н. Повышение точности гидроконтрольной системы прецизионных токарных станков // Металлорежущие станки: Респ. межвед. научно–техн. сб., 1983. – Вып. 11.
7. Тихенко В.Н., Гнатюк А.П., Волков А.А. Использование интегральных оценок качества при разработке следящих гидроприводов с обратными связями по нагрузке // Труды международной научно–технической конференции, К.; НТУУ КПИ, 1998. – Том1.
8. Панарин Г. М. Расчёт динамических характеристик систем управления с применением операционного метода решения дифференциальных уравнений. <http://www.twirpx.com/files/automation/tau/ft.article/>
9. Комбаров А. Н., Панарин Г. М., Лопырёв Н. Н. Практические вопросы проектирования следящих приводов. - М.: ЦНИИ информации, 1982. 164 с.

#### г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Пакеты прикладных программ MathCAD, AutoCAD, PCAD, INVENTOR, KOMPAS, APM MinMACHINE, FLUID-SIM-H, FLUID-SIM-P, ANSYS, Microsoft Excel, Word

[www.siemens.com/automation](http://www.siemens.com/automation)

<http://www.automation-drives.ru>

#### д) Периодически литература

- CADmaster» — бесплатный журнал, посвященный проблематике систем автоматизированного проектирования. Издается с 2000 года. Все статьи доступны в интернет-версии издания. Проверено 4 ноября 2010.
- «CAD/CAM/CAE Observer» — международный информационно-аналитический PLM журнал, выходит с 2000 года. Часть опубликованных статей в открытом доступе на сайте журнала. Проверено 4 ноября 2010.

- «Каталог САПР» — первое русскоязычное периодическое издание в виде каталога по программам и производителям САПР. Выходит раз в 1,5 года. Информация о каталоге размещена на сайте проекта "CAD по-русски".
- «EDA Express» — бесплатный журнал о технологиях проектирования и производства электронных устройств. Первое издание — 2000 год. Публикации доступны на сайте журнала.
- «isicad.ru» — электронный журнал о САПР, PLM и ERP, выходящий с 2004 года. Публикации доступны на сайте портала isicad.
- «Rational Enterprise Management» — информационно-аналитический журнал, посвященный вопросам комплексной автоматизации и информатизации промышленных предприятий.

### 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Тип и название аудитории	Оснащение аудитории
Лекционная аудитория	Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации, проекторы для лучшего восприятия лекционного материала
Лаборатория систем управления гидравлическими приводами	Стенды по следящему и пропорциональному гидроприводу – 2 шт.
Лаборатория моделирования и автоматизации процессов и машин	Стенд по регулируемому электроприводу
Аудитория для самостоятельной работ - аспирантская	Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета