

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 15.04.06 Мехатроника и робототехника

Наименование образовательной программы: Разработка компьютерных технологий управления и математического моделирования в робототехнике и мехатронике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ЭЛЕКТРОПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МОДУЛИ**  
**РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**


<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.01
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	2 семестр - 8;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	288 часа
<b>Лекции</b>	2 семестр - 16 часов;
<b>Практические занятия</b>	2 семестр - 48 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	2 семестр - 18 часов;
<b>Самостоятельная работа</b>	2 семестр - 201,2 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	2 семестр - 15,7 часов;
<b>Иная контактная работа</b>	2 семестр - 4 часа;
<b>включая:</b> <b>Решение задач</b> <b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Защита курсовой работы</b>	2 семестр - 0,3 часа;
<b>Экзамен</b>	2 семестр - 0,5 часа; всего - 0,8 часа

**Москва 2021**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883c

(подпись)


И.В. Меркурьев

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Свириденко О.В.
	Идентификатор	R9097b88f-SviridenkoOV-16830d5f

(подпись)


О.В.

Свириденко

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883c

(подпись)

И.В. Меркурьев

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** формирование знаний и умений в области автоматизированных электропневмогидравлических модулей (ЭпгМ), используемых в составе исполнительных частей современных мехатронных и робототехнических систем (МРтС), включая вопросы анализа условий применения, рационального структурирования и схмотехнического построения, моделирования основных процессов, выполнения необходимых расчётов, подбора модулей и их частей, а также экспертирования по совокупности назначенных показателей работоспособности и конкуренто-способности с учётом весовых коэффициентов.

### Задачи дисциплины

- освоение обучающимися терминологии, связанной с функциональным назначением, оценкой конкурентоспособности автоматизированных ЭпгМ для МРтС в условиях конкурентного социума;
- изучение обучающимися назначения, структур, особенностей функционирования, условий возможного, предпочтительного и безальтернативного использования ЭпгМ в составе МРтС;
- предоставление и закрепление у обучающихся информации о назначении, основных видах, схмотехнических и конструкционных особенностях, условиях применения электропневматических и электрогидравлических агрегатов (машин, аппаратов, комплектных автоматизированных приводов), используемых в составе ЭпгМ;
- овладение обучающимися современными подходами и сценарно-содержательными процедурами генерирования и экспертирования схмотехнических решений по ЭпгМ на основе системы ранжированных методов морфологической комбинаторики;
- изучение и освоение методов исследования физических процессов, имеющих место в статических и динамических режимах работы ЭпгМ в составе силовых систем МРтС с пониманием взаимосвязи данных процессов;
- освоение обучающимися методов и сценарно-содержательных аспектов расчёта характеристик и подбора гидро- и пневмомашин и аппаратуры для формируемых ЭпгМ применительно к МРтС конкретного назначения;
- изучение обучающимися основных методов экспериментального исследования характеристик машинно-аппаратной базы и ЭпгМ в целом с использованием современного стендового оборудования;
- формирование у обучающихся устойчивых навыков анализа предпроектной ситуации при разработке ЭпгМ для конкретной МРтС с целью обеспечения корректной постановки расчётно-проектной задачи и реализации проектного решения в условиях конкуренции;
- изучение методов комплексной оценки и экспертирования ЭпгМ по совокупности частных показателей функционального назначения – работоспособности (ПР) и показателей конкурентоспособности (ПК) на основе формируемых обобщённых функционалов конкурентоспособности, а также в многомерном пространстве Парето-Слейтера с учётом весовых коэффициентов частных ПК;
- ознакомление с информацией о современном состоянии и перспективах развития ЭпгМ, в том числе и прежде всего, применительно к гидрофицированным МРтС.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен разрабатывать техническое задание на проектирование мехатронных и	ИД-2ПК-1 Определяет технические и технико-экономические характеристики при проектировании	знать: - методы получения расчётных схем эквивалентного замещения, принципы и способы формирования расчётных структур модулей, определения обликов эквивалентных схем ЭпгМ и их частей..

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
робототехнических систем их подсистем, участвовать в разработке конструкторской и проектной документации в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями	мехатронных и робототехнических систем их подсистем и отдельных устройств с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматизации, измерительной и вычислительной техники, а также новых устройств и подсистем	уметь: - осуществлять расчёт ЭпгМ по критериям энергоадекватности, чувствительности, статической и динамической точности, быстродействию, статической и динамической жёсткости, формировать математические модели отдельных функциональных частей и ЭпгМ в целом.
ПК-1 Способен разрабатывать техническое задание на проектирование мехатронных и робототехнических систем их подсистем, участвовать в разработке конструкторской и проектной документации в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями	ИД-3 <sub>ПК-1</sub> Выбирает оптимальные решения при разработке мехатронных и робототехнических систем и их подсистем на основе анализа и обобщения отечественного и зарубежного опыта в области их проектирования	знать: - современное состояние и перспективы развития ЭпгМ для МРТС; - методы комплексной оценки, анализ работоспособности и конкурентоспособности ЭпгМ по совокупности частных показателей технического, эксплуатационного, экономического характера в многомерной постановке;
ПК-2 Способен организовывать и проводить исследования мехатронных и робототехнических систем и их подсистем с учетом требований заказчиков	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Разрабатывает действующие макеты и опытные образцы управляющих, информационных и исполнительных модулей мехатронных и робототехнических систем и проводит эксперименты с применением современных информационных технологий и технических средств	уметь: - исследовать влияние различных нагружающих факторов, а также особенностей построения ЭпгМ на энергетические, регулировочные и динамические показатели привода, находить способы нейтрализации негативного и усиления положительного влияния данных факторов на требуемые ПР и ПК привода..

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Разработка компьютерных технологий управления и математического моделирования в робототехнике и мехатронике (далее – ОПОП), направления подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать методы приведения составляющих нагрузки механической системы к выходному звену приводящего двигателя
- знать принцип работы и управления электродвигателей постоянного и переменного тока
- знать принцип действия и схемотехнические исполнения электромеханических преобразователей
- знать принцип действия, сравнительные характеристики датчиков и преобразователей неэлектрических величин
- знать правила составления и преобразования структурных схем систем автоматического регулирования и управления
- уметь читать кинематические, гидравлические и электрические принципиальные схемы
- уметь составлять и преобразовывать структурные схемы систем автоматического регулирования и управления
- уметь использовать современные пакеты для расчёта стационарного и нестационарного состояния автоматизированных комбинированных электро-пневмогидравлических систем

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Назначение ЭпгМ в составе МРтС. Морфологический метод генерирования вариантов модулей. Исходная и расчётная структуры ЭпгМ. Законы движения регулируемых органов МРтС. Статические характеристики. Критерии энергодостаточности, чувствительности и статической точности. Расчёт базовых параметров энергетического контура модулей	38	2	4	-	6	-	-	-	-	-	28	-	<p><b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Выполнить анализ индивидуального задания по курсовой работе. Установить облик эквивалентного гидродвигателя (ЭкД) и электрогидравлического усилителя. Привести все составляющие нагрузки к выходному звену ЭкД. Сформировать расчётную схему электрогидравлического следящего привода с эквивалентными частями и приведённой нагрузкой</p> <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Решение задач по первой части расчётно-графического задания: "Расчёт гидромеханического следящего привода (ГМСП/Д) по критериям энергодостаточности чувствительности и жёсткости в статических режимах работы».</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> В рамках данного раздела студенту необходимо ответить на контрольные вопросы лекций, проанализировать и представить решения задач, заданных для самостоятельного освоения и закрепления практической части материала дисциплины</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 15-36</p>
1.1	Назначение ЭпгМ в составе МРтС. Морфологический метод генерирования вариантов модулей. Исходная и расчётная структуры ЭпгМ. Законы движения	38		4	-	6	-	-	-	-	-	28	-	

	регулируемых органов МРТС. Статические характеристики. Критерии энергодостаточности, чувствительности и статической точности. Расчёт базовых параметров энергетического контура модулей												[2], стр. 12-19, 25-36, 39-66 [3], стр. 78-112 [4], стр. 89-118, 121-126 [5], стр. 10-36
2	Гидромеханический следящий привод с дроссельным управлением потоками жидкости как базовый исполнительный модуль силовой системы МРТС	60	4	-	12	-	-	-	-	-	44	-	<b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Получить аналитические соотношения и построить графики законов движения. скоростей и ускорений регулируемого органа, построить диаграммы нагрузки, определить базовые параметры электрогидравлического следящего привода с дроссельным управлением по критериям энергодостаточности, чувствительности и статической точности, осуществить подбор машинно-аппаратной базы привода; <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> В рамках данного раздела студенту необходимо ответить на контрольные вопросы лекций, проанализировать и представить решения задач, заданных для самостоятельного освоения и закрепления практической части материала дисциплины. <b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Решение задач по второй части расчётно-графического задания: «Анализ законов движения РО и расчёт базовых параметров привода по критериям энергодостаточности, чувствительности и точности в нестационарных режимах». <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>
2.1	Гидромеханический следящий привод с дроссельным управлением потоками жидкости как базовый исполнительный модуль силовой системы МРТС	60	4	-	12	-	-	-	-	-	44	-	

														[1], стр. 400-494 [2], стр. 68-157 [3], стр. 113-167 [6], стр. 10-25
3	Электрогидравлический следящий привод с дроссельным управлением потоками жидкости как комбинированный исполнительный модуль силовой системы МРТС	68	4	-	16	-	-	-	-	-	-	48	-	<b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Решение задач по третьей части расчетно-графического задания: "Анализ динамики ненагруженного и нагруженного ГМСП/Д. Расчёт базовых параметров подбор и оценка конкурентоспособности привода для силовой системы МРТС по энергетическим и динамическим показателям».
3.1	Электрогидравлический следящий привод с дроссельным управлением потоками жидкости как комбинированный исполнительный модуль силовой системы МРТС	68	4	-	16	-	-	-	-	-	-	48	-	<b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> В рамках данного раздела студенту необходимо сформировать математическую модель электрогидравлического следящего привода с дроссельным управлением, выполнить расчёт устойчивости, обеспечить требуемые запасы по устойчивости привода, рассчитать показатели динамической конкурентоспособности ненагруженного и нагруженного привода <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> В рамках данного раздела студенту необходимо ответить на контрольные вопросы лекций, проанализировать и представить решения задач, заданных для самостоятельного освоения и закрепления практической части материала дисциплины <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 159-212 [3], стр. 78-112 [5], стр. 59-94, 119-131
4	Шаговые электрогидростатические следящие приводы. Объёмные	50	4	-	14	-	-	-	-	-	-	32	-	<b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Решение задач по четвёртой части расчетно-графического задания: Расчёт базовых параметров и подбор привода для



	гидроприводы с машинным и частотным управлением. Автономные моноблочные электрогидростатические следящие приводы. Надёжность приводов. Современное состояние и перспективы развития													силовой системы МРТС по совокупности показателей энергодостаточности, чувствительности, точности слежения, устойчивости и быстродействия». Оформление расчётно-графической работы в соответствии с действующими стандартами <b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> - В рамках данного раздела студенту необходимо выполнить идентификацию и рассчитать абсолютные, безразмерные относительные и взвешенные значения частных показателей конкурентоспособности проектных вариантов электрогидравлического следящего привода с дроссельным управлением, построить лепестковые диаграммы, рассчитать значения аддитивных обобщённых функционалов конкурентоспособности, построить гистограмму функционалов для проектных вариантов, сформировать вывод о предпочтительности того или иного исполнения привода для конкретной робототехнической системы, оформить расчётно-пояснительную записку и представить её для проверки и последующей защиты работы <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> В рамках данного раздела студенту необходимо ответить на контрольные вопросы лекций, проанализировать и представить решения задач, заданных для самостоятельного освоения и закрепления практической части материала дисциплины <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 373-379, 422-423, 495-502 [2], стр. 214-293 [4], стр. 10-36 [5], стр. 210-218
4.1	Шаговые электрогидростатические следящие приводы. Объёмные гидроприводы с машинным и частотным управлением. Автономные моноблочные электрогидростатические следящие приводы. Надёжность приводов. Современное состояние и перспективы развития	50	4	-	14	-	-	-	-	-	32	-		

	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Курсовая работа (КР)	36.0		-	-	-	16	-	4	-	0.3	15.7	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>288.0</b>		<b>16</b>	<b>-</b>	<b>48</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>0.8</b>	<b>167.7</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>288.0</b>		<b>16</b>	<b>-</b>	<b>48</b>	<b>18</b>		<b>4</b>		<b>0.8</b>	<b>201.2</b>		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### 1. Назначение ЭпгМ в составе МРтС. Морфологический метод генерирования вариантов модулей. Исходная и расчётная структуры ЭпгМ. Законы движения регулируемых органов МРтС. Статические характеристики. Критерии энергодостаточности, чувствительности и статической точности. Расчёт базовых параметров энергетического контура модулей

1.1. Назначение ЭпгМ в составе МРтС. Морфологический метод генерирования вариантов модулей. Исходная и расчётная структуры ЭпгМ. Законы движения регулируемых органов МРтС. Статические характеристики. Критерии энергодостаточности, чувствительности и статической точности. Расчёт базовых параметров энергетического контура модулей

Роль и место ЭпгМ в силовых контурах мобильных и стационарных МРтС различного вида, исполнения и назначения. Функциональная структура ЭпгМ. Декомпозиционное представление и классификация ЭпгМ. Системно-креативный подход (СКП) как современная методология решения прямых и обратных инновационных задач в условиях рыночного социума. Морфологический метод генерирования и экспертирования вариантов ЭпгМ и его подсистем. Комбинированный электропневматический следящий (ЭПСП) и/или электрогидравлический привод (ЭГСП) как типовые исполнительные модули РС. ЭПСП и ЭГСП непрерывного и дискретного принципа действия с дроссельным, машинным (насосным, мо-торным, насос-моторным), машинно-дроссельным, электромашиным и комбинированным управлением потоками энергии газа или жидкости. Понятие контура управления (КУ) и энергетического контура (ЭК) привода. Эквивалентный гидродвигатель (ЭкГД), пневмодвигатель (ЭкПД) и усилитель – электрогидравлический (ЭкГУ) и электропневматический (ЭкПУ) привода. Статические характеристики ЭкГУ дроссельного принципа действия и ЭпгМ. Условие обеспечения энергодостаточности, чувствительности и статической точности привода. Типовые законы движения регулируемых органов МРтС. Приведённая нагрузка. Формирование диаграмм нагрузки (ДН), диаграмм мощности (ДМ), нахождение требуемой механической характеристики (МХ) привода. Расчёт базовых параметров ЭкГД и усилителя привода по критериям энергодостаточности, чувствительности и статической точности..

#### 2. Гидромеханический следящий привод с дроссельным управлением потоками жидкости как базовый исполнительный модуль силовой системы МРтС

2.1. Гидромеханический следящий привод с дроссельным управлением потоками жидкости как базовый исполнительный модуль силовой системы МРтС

Гидромеханический следящий привод с дроссельным управлением потоками энергии (ГМСП/Д) как базовый исполнительный модуль силовой системы МРтС. Структура, принцип действия, статические характеристики привода. Алгоритм синтеза параметров ГМСП/Д по критериям энергодостаточности, чувствительности и статической точности. Физические и математические модели ГМСП/Д. Исследование динамики линейных моделей ГМСП/Д. Динамическая точность и жёсткость ГМСП/Д. Физико-энергетическая природа потери устойчивости привода. Основные методы оценки динамического качества ГМСП/Д. Анализ влияния энергетических факторов и диссипативных параметров привода. Анализ влияния на динамику ГМСП/Д инерционности нагрузки, объёма полостей гидродвигателя и передаточного отношения силовой проводки, характерного параметра гидродвигателя и жёсткости узла закрепления привода..

#### 3. Электрогидравлический следящий привод с дроссельным управлением потоками жидкости как комбинированный исполнительный модуль силовой системы МРтС

3.1. Электрогидравлический следящий привод с дроссельным управлением потоками жидкости как комбинированный исполнительный модуль силовой системы МРтС

ЭГСП/Д как автоматизированные исполнительные модули МРтС. Электрогидравлические усилители мощности дроссельного принципа действия (ЭГУ). Классификация, назначение, структура, особенности построения ЭГУ. Электромеханические преобразователи (ЭМП). Классификация, принцип действия преобразователей, предпочтительные схемы ЭМП. Математическое моделирование ЭГУ и устройств контура управления ЭГСП/Д. Специфика моделирования ЭПСП/Д. Математические модели, структурные схемы и динамические характеристики ЭГСП/Д. Методы структурной и параметрической коррекции ЭГСП/Д и ГМСП/Д..

4. Шаговые электрогидростатические следящие приводы. Объёмные гидроприводы с машинным и частотным управлением. Автономные моноблочные электрогидростатические следящие приводы. Надёжность приводов. Современное состояние и перспективы развития

4.1. Шаговые электрогидростатические следящие приводы. Объёмные гидроприводы с машинным и частотным управлением. Автономные моноблочные электрогидростатические следящие приводы. Надёжность приводов. Современное состояние и перспективы развития

Шаговые электрогидравлические следящие приводы. Объёмные гидроприводы с машинным – насосным, моторным, насос-моторным управлением. Объёмные гидроприводы с частотным управлением. Схемы, преимущества, недостатки, области применения. Статические характеристики приводов. Математические модели и структурные схемы объёмного гидропривода с частотным и насосным управлением. Автономные моноблочные электрогидростатические следящие приводы. Надёжность комбинированного автоматизированного гидро-или пневмопривода. Современное состояние и перспективы развития электропневмогидравлических модулей робототехнических систем.

### 3.3. Темы практических занятий

1. Практическое занятие 1. Анализ исходной информации инновационного проекта и составление содержательной части технического задания на разработку (проектирование) ЭпгМ для МРтС конкретного назначения и исполнения. Формирование массивов ресурсных факторов, дестабилизирующих воздействий, ПР и ПК. Исследование ПК на конфликтность и локализация массива ПК ограниченным набором базовых показателей;
2. Практическое занятие 2. Канонизация частных ПК ЭпгМ для МРтС. Исходные ПК и показатели – антонимы. Переход от исходных к относительным, безразмерным и взвешенным частным ПК. Использование метода морфологической комбинаторики для экспертирования, оценка конкурсных схмотехнических вариантов и установления предпочтительного облика ЭпгМ применительно к МРтС общепромышленного назначения;
3. Практическое занятие 3. Декомпозиция структуры типового ЭпгМ. Идентификация контура энергетике и контура управления. Ана-лиз требований, предъявляемых к данным контурам, формирование частных ПР и ПК. Анализ структуры и специфики проявления нагружающих факторов ЭпгМ в конкретной МРтС;
4. Практическое занятие 4. Исследование структуры ЭпгМ для МРтС. Анализ составляющих нагрузки РО МРтС. Определение экви-валентного двигателя и усилителя ЭпгМ. Приведение составляющих нагрузки РО к выходному звену ЭкГД. Оценка схмотехнического облика конкурентоспособного ЭкГУ;
5. Практическое занятие 5. Законы движения РО. Расчёт диаграмм нагрузки и мощности ЭпгМ для типовых законов движения РО при различном сочетании

нагружающих факторов;

6. Практическое занятие 6. Установление желаемой механической характеристики, определение схмотехнического вида ЭпГМ и формирование алгоритма расчёта модуля по критерию энергодостаточности;

7. Практическое занятие 7. Анализ чувствительности и статической точности ЭпГМ. Формирование укрупнённого алгоритма расчёта базовых параметров приводов дроссельным управлением потоками энергии по критериям чувствительности, статической точности, энергодостаточности;

8. Практическое занятие 13. Решение задач по определению динамики линейной модели ненагруженного ГМСП/Д. Техничко-экономический смысл добротности привода по скорости;

9. Практическое занятие 14. Исследование предельных энергетических, регулировочных и динамических характеристик ГМСП/Д. Принципы и методы подбора комплектующих усилителей и двигателей привода;

10. Практическое занятие 8. Расчёт ЭпГМ по критериям чувствительности и статической точности. Принципы и методы подбора машинной базы для ЭпГМ;

11. Практическое занятие 9. Статические характеристики гидравлического усилителя и гидромеханического привода с дроссельным управлением потоками энергии. Определение параметров и характеристик устройств для работы в оптимальных и на нерасчётных режимах;

12. Практическое занятие 10. Синтез базовых параметров ГМСП/Д заданной структуры по критериям энергодостаточности, чувствительности статической точности для различных видов ДН;

13. Практическое занятие 15. Решение задач по исследованию влияния изменения различных факторов нагрузки на энергетические и динамические показатели ГМСП/Д;

14. Практическое занятие 16. Математическое моделирование одноканального нерезервированного ЭГСП/Д;

15. Практическое занятие 17. Решение задач по определению показателей и характеристик одноканального ЭГУ по известной параметрии усилителя;

16. Практическое занятие 18. Решение задач по исследованию влияния изменения различных факторов нагрузки на энергетические и динамические показатели ЭГСП/Д;

17. Практическое занятие 19. Исследование изменения статических и динамических показателей ЭГСП/Д разнесённого и моноблочного исполнений при абсолютно жёстком узле закрепления привода на силовой станине МРтС, а также с учётом конечной жёсткости узла;

18. Практическое занятие 20. Расчёт статических и динамических характеристик автоматизированного привода с заданными видами структурной коррекции.

Исследование влияния дополнительной обратной связи по скорости, ускорению движения выходного звена привода и динамическому перепаду давлений в ЭК привода;

19. Практическое занятие 21. Расчёт и построение статических (регулируемых и энергетических) характеристик комбинированного следящего привода с машинным и электромашинным управлением. Специфика записи уравнений привода с разомкнутым и замкнутым контуром циркуляции, а также сжимаемости рабочего тела и деформации стенок конструкции привода;

20. Практическое занятие 22. Исследование границы математического описания привода с моторным управлением как минимально-фазовой динамической системы автоматического регулирования. Решение проблемы линеаризации уравнений нестационарного состояния привода с разомкнутым и замкнутым контуром циркуляции рабочего тела;

21. Практическое занятие 23. Принципы, критерии и методы структурирования исполнительных частей комбинированных приводов с машинным управлением за счёт использования нескольких двигателей с механическими редукторами или

мультипликаторами;

22. Практическое занятие 24. Деловая игра по экспертированию представленных схемотехнических вариантов перспективного ЭпГМ для конкретной РС с применением метода морфологической комбинаторики. Анализ предпочтительности вариантов при различном назначении весовых коэффициентов, а также с учётом эволюции МРТС и ценностных ориентиров потребителей данной техники;

23. Практическое занятие 11. Анализ исходной физической модели ГМСП/Д.

Формирование системы допущений и математическое моделирование следящего привода для решения прямых и обратных динамических задач. Нелинейные и линейные модели привода. Ранжирование моделей привода;

24. Практическое занятие 12. Динамические ПР и ПК ГМСП/Д. Обсуждение проблем исследования динамики и формирования алго-ритмов синтеза ГМСП/Д по совокупности показателей функциональной пригодности и конкурентоспособности.

### 3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

### 3.5 Консультации

#### Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Обсуждение вопросов по формированию эквивалентной схемы электрогидравлического следящего привода с дроссельным управлением и приведению нагружающих факторов к выходному звену эквивалентного гидродвигателя привода
2. Обсуждение материалов по структуре и содержанию разделов курсовой работы. Разъяснение вопросов по построению законов движения, скоростей, ускорений регулируемых органов привода, построения диаграмм нагрузки, нахождения базовых параметров привода по критерию энергодостаточности, чувствительности и статической точности
3. Обсуждение материалов по вопросам формирования математической модели электрогидравлического следящего привода с дроссельным управлением, выполнения расчётов устойчивости, обеспечения требуемых запасов по устойчивости привода, особенностей расчёта показателей динамической конкурентоспособности ненагруженного и нагруженного привода
4. Обсуждение материалов по специфике идентификации и расчёту абсолютных, безразмерных относительных и взвешенных значений частных показателей конкурентоспособности проектных вариантов электрогидравлического следящего привода с дроссельным управлением, построения лепестковых диаграмм, нахождения аддитивных обобщённых функционалов конкурентоспособности, построения гистограмм данных функционалов для проектных вариантов, формулировки вывода о предпочтительности того или иного исполнения привода для конкретной робототехнической системы, оформления расчётно-пояснительной записки в соответствии с требованиями стандартов

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Консультации проводятся по разделу "Назначение ЭпГМ в составе МРТС. Морфологический метод генерирования вариантов модулей. Исходная и расчётная структуры ЭпГМ. Законы движения регулируемых органов МРТС. Статические характеристики. Критерии энергодостаточности, чувствительности и статической точности. Расчёт базовых параметров энергетического контура модулей"

2. Консультации проводятся по разделу "Гидромеханический следящий привод с дроссельным управлением потоками жидкости как базовый исполнительный модуль силовой системы МРТС"
3. Консультации проводятся по разделу "Электрогидравлический следящий привод с дроссельным управлением потоками жидкости как комбинированный исполнительный модуль силовой системы МРТС"
4. Консультации проводятся по разделу "Шаговые электрогидростатические следящие приводы. Объёмные гидроприводы с машинным и частотным управлением. Автономные моноблочные электрогидростатические следящие приводы. Надёжность приводов. Современное состояние и перспективы развития"

### 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ 2 Семестр

Курсовая работа (КР)

Темы:

- - ЭГСП/Д рулевой системы подводного робототехнического комплекса для шельфовых исследований
- - ЭГСП/Д подвижного лафета автомобильного шасси
- - ЭГСП/Д манипулятора промышленного робота
- - ЭГСП/Д системы автоматического сканирования геометрического расположения подвижного твердотельного объекта
- - ЭГСП/Д системы управления и стабилизации по тангажу автоматического беспилотного летательного аппарата
- ЭГСП/Д системы управления водоизмещением балластных цистерн для обеспечения статической устойчивости подводного аппарата.

#### График выполнения курсового проекта

Неделя	1 - 4	5 - 8	9 - 12	13 - 16	Зачетная
Раздел курсового проекта	1	2	3	4	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	10	25	35	30	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	10	35	70	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Ознакомление с заданием на КР. Расчёт приведённой нагрузки, формирование эквивалентной схемы ЭГСП/Д
2	Расчёт законов движения эквивалентного гидродвигателя, скоростных и тяговых характеристик, диаграммы нагрузки, расчёт привода по критерию энергодостаточности, подбор комплектующих привода
3	Формирование математической модели, расчёт частотных и временных характеристик ненагруженного и нагруженного ЭГСП/Д. Расчёт зоны нечувствительности, точности слежения, добротности привода по скорости.
4	Определение частных ПР, ПК, расчёт относительных безразмерных ПК и ОФК, формирование сводной таблицы ПР, ПК, ОФК, построение лепестковых диаграмм, выбор предпочтительного проектного варианта привода. Оформление КР.

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
<b>Знать:</b>						
методы получения расчётных схем эквивалентного замещения, принципы и способы формирования рас-чётных структур модулей, определения обликов эквивалентных схем ЭпгМ и их частей.	ИД-2пк-1		+			Решение задач/Классификация, схемотехнические исполнения, статические и динамические характеристики гидро-механических следящих приводов с дроссельным управлением для силовых систем МРтС
методы комплексной оценки, анализ работоспособности и конкурентоспособности ЭпгМ по совокупности частных показателей технического, эксплуатационного, экономического характера в многомерной поста-новке;	ИД-3пк-1		+			Решение задач/Морфологические «портреты» электропневмогидравлических модулей (ЭпгМ) для силовых систем мехатронных и робототехнических систем (МРтС).
современное состояние и перспективы развития ЭпгМ для МРтС	ИД-3пк-1				+	Контрольная работа/Схемотехнические исполнения, энергетические, регулировочные и динамические характеристики шаговых приводов, приводов с насосным, моторным и частотным управлением и автономных гидроприводов. Перспективы применения в приводах новых решений.
<b>Уметь:</b>						
осуществлять расчёт ЭпгМ по критериям энергодостаточности, чувствительности, статической и динамической точности, быстродействию, статической и динамической жёсткости, формировать математические модели отдельных функциональных частей и ЭпгМ в целом	ИД-2пк-1			+		Контрольная работа/Расчёт энергетических, регулировочных характеристик и зоны нечувствительности следящего привода с дроссельным управлением для заданных законов движения и структуры нагрузки регулируемых органов (РО) МРтС.



<p>исследовать влияние различных нагружающих факторов, а также особенностей построения ЭпгМ на энергетические, регулировочные и динамические показатели привода, находить способы нейтрализации негативного и усиления положительного влияния данных факторов на требуемые ПР и ПК привода.</p>	<p>ИД-1ПК-2</p>				<p>+</p>	<p>Контрольная работа/Схемотехнические исполнения, энергетические, регулировочные и динамические характеристики шаговых приводов, приводов с насосным, моторным и частотным управлением и автономных гидроприводов. Перспективы применения в приводах новых решений.</p>
---	-----------------	--	--	--	----------	--

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**2 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Классификация, схемотехнические исполнения, статические и динамические характеристики гидромеханических следящих приводов с дроссельным управлением для силовых систем МРТС (Решение задач)
2. Морфологические «портреты» электропневмогидравлических модулей (ЭпгМ) для силовых систем мехатронных и робототехнических систем (МРТС). (Решение задач)
3. Расчёт энергетических, регулировочных характеристик и зоны нечувствительности следящего привода с дроссельным управлением для заданных законов движения и структуры нагрузки регулируемых органов (РО) МРТС. (Контрольная работа)
4. Схемотехнические исполнения, энергетические, регулировочные и динамические характеристики шаговых приводов, приводов с насосным, моторным и частотным управлением и автономных гидроприводов. Перспективы применения в приводах новых решений. (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсовой работы является приложением Б.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Курсовая работа (КР) (Семестр №2)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

Экзамен (Семестр №2)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Зуев, Ю. Ю. Гидропневмопривод мехатронных и робототехнических устройств : учебное пособие по курсам "Гидропневмопривод мехатронных и робототехнических устройств", "Электропневмогидравлические модули робототехнических систем", "Гидропривод и гидропневмоавтоматика в системах управления" / Ю. Ю. Зуев, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2019- . Ч. 1 : Машинно-аппаратная база, принципиальные схемы и расчет параметров гидропневмоприводов в силовых системах цикловой автоматики мехатронных и робототехнических устройств / Ю. Ю. Зуев . – 2019 . – 504 с. - ISBN 978-5-7046-2099-0 .

[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10825;](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10825)

2. Зуев, Ю. Ю. Гидропневмопривод мехатронных и робототехнических устройств : учебное пособие по курсам "Гидропневмопривод мехатронных и робототехнических устройств", "Электропневмогидравлические модули робототехнических систем", "Гидропривод и гидропневмоавтоматика в системах управления" / Ю. Ю. Зуев, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2019- . Ч. 2 : Гидромеханические и электропневмогидравлические автоматизированные исполнительные модули мехатронных и робототехнических устройств / Ю. Ю. Зуев . – 2020 . – 368 с. - ISBN 978-5-7046-2245-1 . [http://elibr.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=11171](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=11171);
3. Зуев, Ю. Ю. Гидропневмооборудование и гидропневмопривод роботов. Сборник задач с методическими указаниями и решениями : учебное пособие по курсам "Гидропневмооборудование и гидропневмопривод роботов" и "Основы робототехники" по специальности "Роботы и робототехнические системы" / Ю. Ю. Зуев, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 272 с. - ISBN 978-5-383-00060-1 .;
4. Зуев, Ю. Ю. Основы создания конкурентноспособной техники и выработки эффективных решений : учебное пособие для вузов по направлению 140600 "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / Ю. Ю. Зуев . – М. : Изд-во МЭИ, 2006 . – 402 с. - ISBN 5-903072-05-4 .;
5. Зуев, Ю. Ю. Электрогидравлический следящий привод. Расчет основных параметров : учебное пособие по курсу "Динамика и управление комбинированными гидро- и пневмосистемами" по специальности "Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика" / Ю. Ю. Зуев, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Издательский дом МЭИ, 2012 . – 164 с. - ISBN 978-5-383-00661-0 . [http://elibr.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=3457](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=3457);
6. Свешников В. К.- "Станочные гидроприводы", (5-е изд., перераб. и доп.), Издательство: "Машиностроение", Москва, 2008 - (640 с.) [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=778](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=778).

## **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. Scilab;
6. SimInTech (студенческая версия).

## **5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:**

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elibr.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
13. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
14. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>

#### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Б-411, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Б-411, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Б-411, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Б-413, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Электропневмогидравлические модули робототехнических систем

(название дисциплины)

#### 2 семестр

#### Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Морфологические «портреты» электропневмогидравлических модулей (ЭпгМ) для силовых систем мехатронных и робототехнических систем (МРТС). (Решение задач)
- КМ-2 Классификация, схемотехнические исполнения, статические и динамические характеристики гидромеханических следящих приводов с дроссельным управлением для силовых систем МРТС (Решение задач)
- КМ-3 Расчёт энергетических, регулировочных характеристик и зоны нечувствительности следящего привода с дроссельным управлением для заданных законов движения и структуры нагрузки регулируемых органов (РО) МРТС. (Контрольная работа)
- КМ-4 Схемотехнические исполнения, энергетические, регулировочные и динамические характеристики шаговых приводов, приводов с насосным, моторным и частотным управлением и автономных гидроприводов. Перспективы применения в приводах новых решений. (Контрольная работа)

#### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Назначение ЭпгМ в составе МРТС. Морфологический метод генерирования вариантов модулей. Исходная и расчётная структуры ЭпгМ. Законы движения регулируемых органов МРТС. Статические характеристики. Критерии энергодостаточности, чувствительности и статической точности. Расчёт базовых параметров энергетического контура модулей					
1.1	Назначение ЭпгМ в составе МРТС. Морфологический метод генерирования вариантов модулей. Исходная и расчётная структуры ЭпгМ. Законы движения регулируемых органов МРТС. Статические характеристики. Критерии энергодостаточности, чувствительности и статической точности. Расчёт базовых параметров энергетического контура модулей		+			
2	Гидромеханический следящий привод с дроссельным управлением потоками жидкости как базовый исполнительный модуль силовой системы МРТС					
2.1	Гидромеханический следящий привод с дроссельным управлением потоками жидкости как базовый исполнительный модуль силовой системы МРТС			+		
3	Электрогидравлический следящий привод с дроссельным управлением потоками жидкости как комбинированный исполнительный модуль силовой системы МРТС					

3.1	Электрогидравлический следящий привод с дроссельным управлением потоками жидкости как комбинированный исполнительный модуль силовой системы МРТС			+	
4	Шаговые электрогидростатические следящие приводы. Объёмные гидроприводы с машинным и частотным управлением. Автономные моноблочные электрогидростатические следящие приводы. Надёжность приводов. Современное состояние и перспективы развития				
4.1	Шаговые электрогидростатические следящие приводы. Объёмные гидроприводы с машинным и частотным управлением. Автономные моноблочные электрогидростатические следящие приводы. Надёжность приводов. Современное состояние и перспективы развития				+
Вес КМ, %:		20	30	30	20

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Электропневмогидравлические модули робототехнических систем

(название дисциплины)

2 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовой работе:**

- КМ-1 Оценка выполнения первого раздела КР: Расчёт приведённой нагрузки, формирование эквивалентной схемы ЭГСП/Д.
- КМ-2 Оценка выполнения второго раздела КР: Расчёт законов движения эквивалентного гидродвигателя, скоростных и тяговых характеристик, диаграммы нагрузки, расчёт привода по критерию энергодостаточности, подбор комплектующих привода. Соблюдение графика выполнения КР.
- КМ-3 Оценка выполнения третьего раздела КР: Формирование математической модели, расчёт частотных и временных характеристик ненагруженного и нагруженного ЭГСП/Д. Расчёт зоны нечувствительности, точности слежения, добротности привода по скорости. Соблюдение графика выполнения КР.
- КМ-4 Оценка выполнения четвёртого раздела КР: Определение частных ПР, ПК, расчёт относительных безразмерных ПК и ОФК, формирование сводной таблицы ПР, ПК, ОФК, построение лепестковых диаграмм, выбор предпочтительного проектного варианта привода. Оценка качества оформления КР.

**Вид промежуточной аттестации – защита КР.**

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Ознакомление с заданием на КР. Расчёт приведённой нагрузки, формирование эквивалентной схемы ЭГСП/Д		+			
2	Расчёт законов движения эквивалентного гидродвигателя, скоростных и тяговых характеристик, диаграммы нагрузки, расчёт привода по критерию энергодостаточности, подбор комплектующих привода			+		
3	Формирование математической модели, расчёт частотных и временных характеристик ненагруженного и нагруженного ЭГСП/Д. Расчёт зоны нечувствительности, точности слежения, добротности привода по скорости.				+	
4	Определение частных ПР, ПК, расчёт относительных безразмерных ПК и ОФК, формирование сводной таблицы ПР, ПК, ОФК, построение лепестковых диаграмм, выбор предпочтительного проектного варианта привода. Оформление КР.					+
Вес КМ, %:			10	25	35	30