

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Наименование образовательной программы: Автоматизированные гидравлические и пневматические системы и агрегаты

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ**

<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.04
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	7 семестр - 4;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	144 часа
<b>Лекции</b>	7 семестр - 32 часа;
<b>Практические занятия</b>	7 семестр - 32 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	7 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	7 семестр - 77,5 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> Тестирование Проверочная работа Решение задач Расчетно-графическая работа	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	7 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2023**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ляпин В.Ю.
	Идентификатор	Red42d7eb-LiapinVY-e216c286

(подпись)

В.Ю. Ляпин

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Почернина Н.И.
	Идентификатор	R1d8f33d8-PocherninaNI-bbd4793

(подпись)

Н.И. Почернина

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Волков А.В.
	Идентификатор	R369593e9-VolkovAV-775a725f

(подпись)

А.В. Волков

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** освоение студентами методов исследования в линеаризованной постановке динамики и структурного синтеза устройств и систем автоматизированного управления объектами энергетического/гидроэнергетического машиностроения

### Задачи дисциплины

- обеспечение необходимых и достаточных педагогических, системно-методических и материальных условий для успешного освоения обучающимися фундаментальных и прикладных разделов дисциплины;

- формирование способности профессионального владения выпускниками теоретическими основаниями и практическими методами анализа динамики и синтеза оптимизированных по определяющим показателям работоспособности и качества в линейной постановке отдельных элементов технических систем автоматического управления в области энергетического машиностроения;

- развитие у обучающихся навыков самостоятельной разработки конкурентоспособных элементов систем автоматического регулирования энергетических объектов и особо генерирующих машин гидроэнергетики.

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 к конструкторской деятельности в сфере автоматизированных гидравлических и пневматических систем и агрегатов	ИД-3 <sub>ПК-1</sub> Выполняет расчеты элементов объектов профессиональной деятельности	знать: - основные источники научно-технической информации в предметной области дисциплины (УК-1, ОПК-1); - современные методики синтеза линейных динамических звеньев в оптимизированных системах регулирования технических систем (ОПК-2, ПК-1, ПК-2); - фундаментальные и локальные законы преобразований и движений функций состояния в элементах управления техническими системами (ОПК-2); - математический формализм и компьютерно-информационное обеспечение моделирования динамических процессов в линеаризованной постановке (ОПК-1, ОПК-2); - основополагающие понятия теории линеаризованных систем управления сложными объектами, существо системного подхода к исследованию их динамики в процессах регулирования (УК-1, УК-2).  уметь: - разрабатывать физическую и математическую модель динамики

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		технических систем управления (ОПК-2, ПК-1, ПК-2); - осуществлять в линейной постановке структурно-параметрическую оптимизацию функционирования основных элементов технической системы в типовых режимах работы (ПК-1, ПК-2).

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Автоматизированные гидравлические и пневматические системы и агрегаты (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать дифференциальное и интегральное исчисления
- знать основы теорий обыкновенных линейных дифференциальных уравнений с постоянными и переменными коэффициентами
- знать основы теорий функций комплексного переменного и операционного исчисления
- знать фундаментальные законы классической механики, рядов и электротехники
- знать законы и основополагающие уравнения начала термодинамики, механики жидкости и газа в одномерной и глобальной равновесной постановке
- уметь использовать указанные знания законов, закономерностей и методов преобразований для составления замкнутых систем линейных дифференциальных уравнений от одного аргумента
- уметь использовать свойства линейных операторов для установления характера зависимости компонент уравнений от аргумента
- уметь осуществлять свертку замкнутой системы исходных линейных дифференциальных уравнений к одному и способов его решения для простейших случаев регулирования энергетических объектов, в т.ч. применительно к задачам гидроэнергетики

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 4 зачетных единицы, 144 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	Общие сведения о системах автоматического управление (САУ) техническими объектами.	12	7	4	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизадч по разделу "Общие сведения о системах автоматического управление (САУ) техническими объектами.". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: жестко-лопастной гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя летального аппарата; стола фрезерного станка с числовым программным управлением; манипулятора «захвата» специализированным компьютерным регулированием.</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Общие сведения о системах автоматического управление (САУ) техническими объектами."</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Общие сведения о системах автоматического</p>
1.1	Понятия автоматического управления, систем автоматического управления (САУ) и регулирования (САР)	12		4	-	4	-	-	-	-	-	-	4	

													управление (САУ) техническими объектами." <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], §§ 1.1-1.4 [3], §§ 1.1-1.4 [4], §§ 1.1-1.4
2	Обыкновенные линейные системы автоматического регулирования САР	12	4	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Обыкновенные линейные системы автоматического регулирования САР".
2.1	Дедуктивный подход к формированию физико-математической модели динамики САР	12	4	-	4	-	-	-	-	-	4	-	Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: жестко-лопастной гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя летального аппарата; стола фрезерного станка с числовым программным управлением; манипулятора «захвата» специализированным компьютерным регулированием <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Обыкновенные линейные системы автоматического регулирования САР" <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Обыкновенные линейные системы автоматического регулирования САР" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], §§ 3.1-3.2 [3], §§ 5.1.1-5.1.2; [4], §§ 5.1.1-5.1.2

3	Дифференциальные уравнения, передаточные функции и характеристики динамических звеньев и САР в целом	18	6	-	6	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Дифференциальные уравнения, передаточные функции и характеристики динамических звеньев и САР в целом". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: жестко-лопастной гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя летального аппарата; стола фрезерного станка с числовым программным управлением; манипулятора «захвата» специализированным компьютерным регулированием
3.1	Динамические звенья, их уравнения, временные характеристики	18	6	-	6	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Дифференциальные уравнения, передаточные функции и характеристики динамических звеньев и САР в целом" <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Дифференциальные уравнения, передаточные функции и характеристики динамических звеньев и САР в целом" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], §§ 4.1-4.7 [3], §§ 5.1-5.5 [4], §§ 5.1-5.5
4	Законы регулирования и структурные схемы САР	10	2	-	2	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Законы регулирования и структурные
4.1	Элементарные законы	10	2	-	2	-	-	-	-	-	6	-	

	регулируемая – пропорциональный, интегральный, изоморфный, с включением динамических звеньев дифференцирующего типа												<p>схемы САР"</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Законы регулирования и структурные схемы САР". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: жестко-лопастной гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя летательного аппарата; стола фрезерного станка с числовым программным управлением; манипулятора «захвата» специализированным компьютерным регулированием</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Законы регулирования и структурные схемы САР"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], §§ 5.3-5.5 [2], 24 с. [3], § 5.6 [4], § 5.6</p>
5	Устойчивость линейных САР и критерии устойчивости	12	3	-	3	-	-	-	-	-	6	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Устойчивость линейных САР и критерии устойчивости"</p>
5.1	Понятие об устойчивости САР	12	3	-	3	-	-	-	-	-	6	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Устойчивость линейных САР и критерии устойчивости"</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по</p>



														<p>разделу "Устойчивость линейных САР и критерии устойчивости". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: жестко-лопастной гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя летального аппарата; стола фрезерного станка с числовым программным управлением; манипулятора «захвата» специализированным компьютерным регулированием</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], §§6.1-6.5  [2], 24 с.  [3], §§ 7.1, 7.3-7.6;  [4], §§ 7.1, 7.3-7.6</p>
6	Переходные процессы в САР	11	3	-	3	-	-	-	-	-	5	-	<p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Переходные процессы в САР". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: жестко-лопастной гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя летального аппарата; стола фрезерного станка с числовым программным управлением; манипулятора «захвата» специализированным компьютерным регулированием</p>	
6.1	Переходная и вынужденная составляющие полного решения неоднородного обыкновенного линейного дифференциального уравнения динамики САР	11	3	-	3	-	-	-	-	-	5	-	<p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Переходные процессы в САР". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: жестко-лопастной гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя летального аппарата; стола фрезерного станка с числовым программным управлением; манипулятора «захвата» специализированным компьютерным регулированием</p>	

														<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Переходные процессы в САР"</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Переходные процессы в САР"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], §§ 7.1-7.5 [2], 24 с. [3], §§ 8.1, 8.2, 8.5, 8.6; [4], §§ 8.1, 8.2, 8.5, 8.6</p>
7	Показатели назначения и критерии качества САР	16	5	-	5	-	-	-	-	-	6	-	<p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Показатели назначения и критерии качества САР". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: жестко-лопастной гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя летального аппарата; стола фрезерного станка с числовым программным управлением; манипулятора «захвата» специализированным компьютерным регулированием</p>	
7.1	Целевые функции, их энергетическое обеспечение	16	5	-	5	-	-	-	-	-	6	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Показатели назначения и критерии качества САР"</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Показатели назначения и критерии качества САР"</p>	

													<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], §§ 9.1-9.3, 10.1-10.5 [2], 24 с. [3], §§ 9.1-9.5; [4], §§ 9.1-9.5
8	Повышение качества САР	17	5	-	5	-	-	-	-	-	7	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Повышение качества САР"
8.1	Общее понятие о корректирующих средствах и динамических звеньях	17	5	-	5	-	-	-	-	-	7	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Повышение качества САР" <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Повышение качества САР". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: жестко-лопастной гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя летального аппарата; стола фрезерного станка с числовым программным управлением; манипулятора «захвата» специализированным компьютерным регулированием <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 24 с. [3], §§ 10.1-10.5; [4], §§ 10.1-10.5
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>44</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>77.5</b>			

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – 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. Общие сведения о системах автоматического управления (САУ) техническими объектами.

1.1. Понятия автоматического управления, систем автоматического управления (САУ) и регулирования (САР)

САУ как «черный ящик». Внешние (входные) воздействия, управляющие и возмущающие. Ограничения; функции внутреннего динамического состояния; функции целей (выхода); функционал (показатель) качества. Формулировки проблем автоматического оптимального управления и оптимизационного регулирования технических систем. Существо системного подхода при анализе и синтезе САУ и САР. Цели и задачи исследования и проектирования САУ и САР. Неформальная классификация автоматических систем по целям регулирования, взаимосвязи входных и выходных сигналов, характеру внутренних динамических процессов, видам физико-математических моделей описания динамики систем, формированию сигналов для обработки. Принятая терминология. Примеры. Экстремальные САР двух- и трехпараметрического регулирования крупных гидротурбин. Принципиальные отличия математического описания функционирования линейных и нелинейных моделей САР.

### 2. Обыкновенные линейные системы автоматического регулирования САР

2.1. Дедуктивный подход к формированию физико-математической модели динамики САР

Фундаментальные и локальные законы динамики элементов САР, их математическая запись. Линеаризация исходных уравнений, ряд Тейлора для функций многих переменных. Принимаемые допущения. Геометрическая интерпретация. Примеры. Формы записи линейных дифференциальных уравнений в теории автоматического регулирования (ТАР). Применение операционного исчисления. Преобразования Фурье, Лапласа, Карсона-Хевисайда. Класс абсолютно интегрируемых функций. Основные свойства преобразований Лапласа и Фурье.

### 3. Дифференциальные уравнения, передаточные функции и характеристики динамических звеньев и САР в целом

3.1. Динамические звенья, их уравнения, временные характеристики

Передаточные, частотные передаточные функции и частотные характеристики динамических звеньев. Дуализм понятий полиномов и передаточных функций в первой и второй формах записи линеаризованных дифференциальных уравнений. Основные типовые динамических звенья – позиционные, интегрирующие, дифференцирующие; их характеристики и определяющие свойства. Системы дифференциальных уравнений динамики САР. Два способа преобразований: сведение к одному дифференциальному уравнению  $n$ -ого порядка и приведение к системе  $n$  дифференциальных уравнений первого порядка относительно обобщенных координат САР. Передаточные и частотные передаточные функции разомкнутой и замкнутой САР; их связи между собой и с полиномами дифференциальных уравнений динамики САР относительно ошибки регулирования и выходной переменной. Временные и частотные характеристики САР.

### 4. Законы регулирования и структурные схемы САР

4.1. Элементарные законы регулирования – пропорциональный, интегральный, изодромный, с включением динамических звеньев дифференцирующего типа

Сравнение по установившейся точности и быстродействию замкнутой САР. Комплексные законы регулирования. Выражения для передаточной функции разомкнутой системы. Физический смысл коэффициента усиления прямой цепи для различных законов регулирования. Понятия статических и астатических САР. Назначение и первоначальный вид структурной схемы САР. Преобразования структурных схем с восстановлением дифференциальных уравнений динамики разомкнутой и замкнутой САР. Примеры САР стабилизации частоты вращения гидротурбины Френсиса.

## 5. Устойчивость линейных САР и критерии устойчивости

### 5.1. Понятие об устойчивости САР

Необходимое и достаточное условия устойчивости. Случаи нахождения системы на границе устойчивости. Теоремы Ляпунова об устойчивости линеаризованных систем. Необходимое условие устойчивости. Алгебраический критерий устойчивости Гурвица, ограничения при его использовании. Критерий устойчивости Михайлова. Критерий устойчивости Найквиста, варианты формулировок. Пример исследования устойчивости САР жестколопастной гидротурбины. Построение областей устойчивости. D-разбиение. Примеры применений.

## 6. Переходные процессы в САР

6.1. Переходная и вынужденная составляющие полного решения неоднородного обыкновенного линейного дифференциального уравнения динамики САР

Задача Коши. Связь начальных условий при стремлении аргумента к нулю «слева» и «справа». Способы определения переходной функции вынужденной составляющей решения. Непосредственное решение исходного уравнения. Сведение неоднородного уравнения к однородному. Использование операционного метода решения исходного уравнения, вещественных частотных характеристик замкнутой САР. Применение компьютерной техники.

## 7. Показатели назначения и критерии качества САР

### 7.1. Целевые функции, их энергетическое обеспечение

Обеспечение устойчивости и показателей назначения как необходимые условия работоспособности САР. Общая характеристика критериев качества САР. Качества согласующиеся и конфликтующие. Критерии точности САР. Точность в типовых режимах работы. Роль внешних возмущающих воздействий, их учет. Оценка точности методом коэффициентов ошибок. Примеры. Критерии запаса устойчивости и быстродействия. Критерии временные, корневые, частотные. Варианты применения критериев качества в системах регулирования гидрофицированных объектов.

## 8. Повышение качества САР

### 8.1. Общее понятие о корректирующих средствах и динамических звеньях

Методы повышения точности. Увеличение коэффициента усиления разомкнутой цепи. Повышение порядка астатизма. Явление структурной неустойчивости. Применение изотропных устройств. Комбинированное управление. Введение неединичных обратных связей. Масштабирование по входу или выходу для статистических САР. Примеры. Повышение быстродействия введением в прямую цепь динамических звеньев дифференцирующего типа, увеличением значения среднегеометрического корня характеристического уравнения замкнутой САР, расширением полосы пропускания

амплитудно-частотной характеристики САР. Повышение запаса устойчивости введением пассивных корректирующих динамических звеньев (КДЗ). Виды КДЗ и предпочтения при их применении. Демпфирование САР подавлением высоких частот, с поднятием высоких частот, с подавлением средних частот.

### 3.3. Темы практических занятий

1. Составление систем дифференциальных уравнений САР объектов из предметной области специальности;
2. Построение временных и частотных характеристик типовых динамических звеньев в гидрофицированных САР, в т.ч. САР гидротурбин;
3. Оценки для управляющих воздействий на управляемые объекты при различных законах регулирования – элементарных и комплексных;
4. Составление структурных схем САР, их преобразования;
5. Оценки для показателей качества гидроприводных САР по точности, быстродействию и запасу устойчивости;
6. Применение критериев устойчивости Гурвица, Михайлова, Найквиста;
7. Построение переходных характеристик для статической и астатической САР первого порядка;
8. Применение методов повышения точности обработки входного сигнала, быстродействия и запаса устойчивости гидроприводных линейных САР;
9. Определение устойчивости линеаризованных САР с применением необходимого, а также необходимого и достаточного условий устойчивости;
10. Физико-математическое моделирование динамических процессов в характерных элементах комбинированных гидравлических САР. Составление исходных дифференциальных уравнений, их линеаризация с применением рядов Тейлора.

### 3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

### 3.5 Консультации

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

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Нелинейные САР (Н/САР), характерные нелинейности"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Точные методы исследования динамики Н/САР"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Приближенные методы исследования Н/САР, формализм метода гармонической линеаризации нелинейностей"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Исследование устойчивости и автоколебаний гармонически линеаризованных Н/САР"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Дискретные САР (Д/САР) и способы модуляции импульсных сигналов"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Разностные уравнения, Z-преобразование и его применение"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Показатели назначения и критерии качества САР"
8. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Повышение качества САР"

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Нелинейные САР (Н/САР), характерные нелинейности"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Точные методы исследования динамики Н/САР"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Приближенные методы исследования Н/САР, формализм метода гармонической линеаризации нелинейностей"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Исследование устойчивости и автоколебаний гармонически линеаризованных Н/САР"
5. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Дискретные САР (Д/САР) и способы модуляции импульсных сигналов"
6. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Разностные уравнения, Z-преобразование и его применение"
7. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Показатели назначения и критерии качества САР"
8. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Повышение качества САР"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены



### 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	5	6	7	8		
<b>Знать:</b>											
основополагающие понятия теории линеаризованных систем управления сложными объектами, существо системного подхода к исследованию их динамики в процессах регулирования (УК-1, УК-2)	ИД-3ПК-1			+							Тестирование/Критерий устойчивости Найквиста, его особенности и виды формулировок
математический формализм и компьютерно-информационное обеспечение моделирования динамических процессов в линеаризованной постановке (ОПК-1, ОПК-2)	ИД-3ПК-1	+									Тестирование/Системный подход при исследовании и проектировании САУ/САР; цели и задачи; терминология
фундаментальные и локальные законы преобразований и движений функций состояния в элементах управления техническими системами (ОПК-2)	ИД-3ПК-1					+					Решение задач/составление и линеаризация уравнений динамики динамических звеньев; передаточные функции, временные и частотные характеристики
современные методики синтеза линейных динамических звеньев в оптимизированных системах регулирования технических систем (ОПК-2, ПК-1, ПК-2)	ИД-3ПК-1				+						Проверочная работа/дифференциальные уравнения, передаточные функции и характеристики динамических звеньев (д.з.) САР
основные источники научно-технической информации в предметной области дисциплины (УК-1, ОПК-1)	ИД-3ПК-1		+								Тестирование/Типы динамических звеньев, характер их временных и частотных характеристик
<b>Уметь:</b>											
осуществлять в линейной постановке структурно-параметрическую оптимизацию функционирования основных элементов технической системы в типовых режимах работы (ПК-1, ПК-2)	ИД-3ПК-1						+				Решение задач/составление и линеаризация уравнений динамики динамических звеньев; передаточные функции, временные и частотные характеристики
разрабатывать физическую и	ИД-3ПК-1							+	+		Расчетно-графическая работа/расчетное

математическую модель динамики технических систем управления (ОПК-2, ПК- 1, ПК-2)																					исследование динамики электрогидравлической САУ сложного объекта
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

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

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

**7 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. расчетное исследование динамики электрогидравлической САР сложного объекта (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Смешанная форма

1. дифференциальные уравнения, передаточные функции и характеристики динамических звеньев (д.з.) САР (Проверочная работа)
2. Критерий устойчивости Найквиста, его особенности и виды формулировок (Тестирование)
3. Системный подход при исследовании и проектировании САУ/САР; цели и задачи; терминология (Тестирование)
4. составление и линеаризация уравнений динамики динамических звеньев; передаточные функции, временные и частотные характеристики (Решение задач)
5. Типы динамических звеньев, характер их временных и частотных характеристик (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Экзамен (Семестр №7)

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 7 семестр.

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

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

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

1. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов . – 4-е изд., перераб. и доп . – СПб. : Профессия, 2004 . – 752 с. – (Специалист) . - ISBN 5-939130-35-6 .;
2. Моргунов, Г. М. Управление техническими системами: Комплексные лабораторные работы : Методическое пособие по курсу "Управление техническими системами" по направлению "Технологические машины и оборудование" / Г. М. Моргунов, А. М. Попов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2004 . – 32 с.  
[http://elibr.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=3264](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=3264);
3. Булкин А. Е.- "Автоматическое регулирование энергоустановок", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2016 - (508 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72194](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72194);

4. Булкин, А. Е. Автоматическое регулирование энергоустановок : учебное пособие по направлению "Энергомашиностроение" / А. Е. Булкин . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Издательский дом МЭИ, 2017 . – 508 с. - ISBN 978-5-383-00994-9 ..

### 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. Антиплагиат ВУЗ.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Г-102(а), Мультимедийный класс	парта со скамьей, стол преподавателя, шкаф для хранения инвентаря, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки звуковые, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный, принтер
Помещения для самостоятельной работы	Г-205/2, Кабинет сотрудников каф. "ГГМ"	кресло рабочее, стеллаж, стул, шкаф, шкаф для документов, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, холодильник
Помещения для консультирования	Г-219/2, Преподавательская	кресло рабочее, стол преподавателя, стол, стул, шкаф, шкаф для документов, шкаф для одежды, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, многофункциональный центр, компьютер персональный, холодильник, кондиционер
	Г-208, Преподавательская	кресло рабочее, стол, стул, шкаф, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютер персональный

Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Г-05, Мастерская каф. "ГГМ"	стеллаж для хранения инвентаря
--	-----------------------------	--------------------------------

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Управление техническими системами

(название дисциплины)

#### 7 семестр

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

- КМ-1 Системный подход при исследовании и проектировании САУ/САР; цели и задачи; терминология (Тестирование)
- КМ-2 Типы динамических звеньев, характер их временных и частотных характеристик (Тестирование)
- КМ-3 Критерий устойчивости Найквиста, его особенности и виды формулировок (Тестирование)
- КМ-4 дифференциальные уравнения, передаточные функции и характеристики динамических звеньев (д.з.) САР (Проверочная работа)
- КМ-5 составление и линеаризация уравнений динамики динамических звеньев; передаточные функции, временные и частотные характеристики (Решение задач)
- КМ-6 расчетное исследование динамики электрогидравлической САР сложного объекта (Расчетно-графическая работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	6	8	10	12	14
1	Общие сведения о системах автоматического управления (САУ) техническими объектами.							
1.1	Понятия автоматического управления, систем автоматического управления (САУ) и регулирования (САР)		+					
2	Обыкновенные линейные системы автоматического регулирования САР							
2.1	Дедуктивный подход к формированию физико-математической модели динамики САР			+				
3	Дифференциальные уравнения, передаточные функции и характеристики динамических звеньев и САР в целом							
3.1	Динамические звенья, их уравнения, временные характеристики				+			
4	Законы регулирования и структурные схемы САР							
4.1	Элементарные законы регулирования – пропорциональный, интегральный, изодромный, с включением динамических звеньев дифференцирующего типа					+		
5	Устойчивость линейных САР и критерии устойчивости							

5.1	Понятие об устойчивости САР					+	
6	Переходные процессы в САР						
6.1	Переходная и вынужденная составляющие полного решения неоднородного обыкновенного линейного дифференциального уравнения динамики САР					+	
7	Показатели назначения и критерии качества САР						
7.1	Целевые функции, их энергетическое обеспечение						+
8	Повышение качества САР						
8.1	Общее понятие о корректирующих средствах и динамических звеньях						+
Вес КМ, %:		15	15	15	15	20	20