

**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**  
**НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

<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.15
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	8 семестр - 4;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	144 часа
<b>Лекции</b>	8 семестр - 28 часа;
<b>Практические занятия</b>	8 семестр - 14 часов;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	8 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	8 семестр - 99,5 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 Контрольная работа	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	8 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

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

В.Ю. Ляпин

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

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

Н.И. Почернина

Заведующий выпускающей  
кафедрой

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

А.В. Волков

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** освоение студентами методов исследования динамики нелинейных и дискретных систем автоматического 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 профессионального владения выпускниками теоретическими основаниями и практическими методами анализа динамики оптимизированных по определяющим показателям работоспособности и качества в нелинейной или дискретной постановке 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
РПК-1 Способен к конструкторской деятельности в сфере автоматизированных гидравлических и пневматических систем и агрегатов	ИД-ЗРПК-1 Выполняет расчеты элементов объектов профессиональной деятельности	знать: - Средства компьютерных и сетевых информационных технологий для отыскания и анализа предметных данных в сфере проблем оптимизированного управления/регулирования энергетическими/гидроэнергетическими устройствами/машинами с учетом характерных нелинейностей, либо при наличии дискретно действующих устройств; - Современные приемы поиска, анализа и обобщения основных источников научно-технической информации в предметной области дисциплины, включающих основополагающие понятия теории линейных систем управления сложными объектами; - Существо системного подхода к исследованию динамики процессов регулирования энергетических, в т.ч. гидроэнергетических машин с нелинейными динамическими звеньями (д.з.); - Принципы ранжирования и установление адаптационных свойств САУ/САР с нелинейными д.з. дискретно действующими подсистемами в зависимости от конструктивных особенностей

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		<p>конкретного объекта исследования/проектирования;</p> <p>- Закономерности динамических процессов в нелинейных системах и регулирования энергетических объектов и способы их совершенствования.</p> <p>уметь:</p> <p>- Осуществлять выбор наиболее эффективного решения при разработке структуры САУ энергетическим объектом при наличии нелинейных д.з., либо дискретно действующих элементов;</p> <p>- Применять в необходимых объемах для задач управления техническими системами аппараты теорий интегродифференциального исчисления для одного независимого аргумента, а также теорий рядов Фурье, гармонического баланса;</p> <p>- Проводить расчеты временных характеристик устройств регулирования с нелинейными и дискретными элементами;</p> <p>- Профессионально обосновывать принятые структурно-технические решения при наличии нелинейных и дискретно действующих воздействий.</p>

## 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 исчисление
- знать основы теории и методов решения линейных и нелинейных алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными и переменными коэффициентами
- знать основы теорий функций комплексного переменного и операционного исчисления
- знать формализм рядов Тейлора, Фурье
- знать законы и фундаментальные законы и уравнения начала термодинамики механики сплошных сред в одномерной глобально равновесной постановке
- уметь использовать указанные знания законов, закономерностей и методов преобразований для составления замкнутых систем дифференциальных уравнений САУ первого порядка относительно обобщенных координат динамики однозначно связанных с исходными параметрами предмета исследования

- уметь применять теорию гармонического баланса к аппроксимации Фурье нелинейных периодических функций времени
- уметь системно анализировать способы модуляции импульсных сигналов для дискретных САР

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	Нелинейные САР (Н/САР), характеристики нелинейности	14	8	4	-	2	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Нелинейные САР (Н/САР), характеристики нелинейности"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Нелинейные САР (Н/САР), характеристики нелинейности" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Нелинейные САР (Н/САР), характеристики нелинейности"</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизадоч по разделу "Нелинейные САР (Н/САР), характеристики нелинейности". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: повышение качественных показателей электрогидравлической САР сложного объекта (жестко-лопастные гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника</p>
1.1	Основные понятия. Статические и динамические нелинейности	14		4	-	2	-	-	-	-	-	-	8	

													турбореактивного двигателя самолета; стола фрезерного станка с числовым программным управлением) <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], §§ 16.1-16.4 [2], §§ 11.1-11.2 [3], с.5-11 [5], §§ 11.1-11.2
2	Точные методы исследования динамики Н/САР	28	6	-	4	-	-	-	-	-	18	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Точные методы исследования динамики Н/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: повышение качественных показателей электрогидравлической САР сложного объекта (жестко-лопастные гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя самолета; стола фрезерного станка с числовым программным управлением)
2.1	Методы фазовых траекторий, точечных преобразований, припасовывания, сечений пространства параметров	13	3	-	2	-	-	-	-	-	8	-	повышение качественных показателей электрогидравлической САР сложного объекта (жестко-лопастные гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя самолета; стола фрезерного станка с числовым программным управлением)
2.2	Прямой метод Ляпунова	15	3	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Точные методы исследования динамики Н/САР" <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Точные методы исследования динамики Н/САР" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Точные методы исследования динамики Н/САР" <b><u>Изучение материалов литературных</u></b>

													<b><u>источников:</u></b> [1], §§ 17.1-17.2 [2], §§ 11.3-11.6 [3], с.12-16 [5], §§ 11.1-11.2
3	Приближенные методы исследования Н/САР, формализм метода гармонической линеаризации нелинейности	16	4	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Приближенные методы исследования Н/САР, формализм метода гармонической линеаризации нелинейности". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: повышение качественных показателей электрогидравлической САР сложного объекта (жестко-лопастные гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя самолета; стола фрезерного станка с числовым программным управлением)
3.1	Виды уравнений при статических и динамических нелинейностях	16	4	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Приближенные методы исследования Н/САР, формализм метода гармонической линеаризации нелинейности" <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Приближенные методы исследования Н/САР, формализм метода гармонической линеаризации нелинейности" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Приближенные методы исследования



														Н/САР, формализм метода гармонической линеаризации нелинейности" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], §§ 18.1 [2], §§ 11.8.1 [3], с.17-22 [4], с.32 [5], §§ 11.8.1
4	Исследование устойчивости и автоколебаний гармонически линеаризованных Н/САР	17	5	-	2	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Исследование устойчивости и автоколебаний гармонически линеаризованных Н/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: повышение качественных показателей электрогидравлической САР сложного объекта (жестко-лопастные гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя самолета; стола фрезерного станка с числовым программным управлением)
4.1	Общие положения. Способы определения периодических решений. Основной аналитический метод и его обобщения	17	5	-	2	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Исследование устойчивости и автоколебаний гармонически линеаризованных Н/САР" <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Исследование устойчивости и автоколебаний гармонически линеаризованных Н/САР" подготовка к выполнению заданий на практических

													занятиях <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Исследование устойчивости и автоколебаний гармонически линеаризованных Н/САР" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], § 18.2 [2], § 11.8.3 [4], с.32 [5], § 11.8.3
5	Дискретные САР (Д/САР) и способы модуляции импульсных сигналов	17	5	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Дискретные САР (Д/САР) и способы модуляции импульсных сигналов".
5.1	Понятие о дискретных САР	17	5	-	2	-	-	-	-	-	10	-	Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: повышение качественных показателей электрогидравлической САР сложного объекта (жестко-лопастные гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя самолета; стола фрезерного станка с числовым программным управлением) <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Дискретные САР (Д/САР) и способы модуляции импульсных сигналов" <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Дискретные САР (Д/САР) и способы модуляции импульсных сигналов" подготовка к выполнению заданий на практических

													занятиях <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Дискретные САР (Д/САР) и способы модуляции импульсных сигналов" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], §§14.1, 15.1-15.3 [2], §§ 7.1, 7.3-7.6 [4], с.32 [5], §§ 7.1, 7.3-7.6
6	Разностные уравнения, Z-преобразование и его применение	16	4	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Разностные уравнения, Z-преобразование и его применение"
6.1	Понятие импульсного фильтра	16	4	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Разностные уравнения, Z-преобразование и его применение" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизадоч по разделу "Разностные уравнения, Z-преобразование и его применение". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: повышение качественных показателей электрогидравлической САР сложного объекта (жестко-лопастные гидротурбины; курса полета летательного аппарата; сопла воздухозаборника турбореактивного двигателя самолета; стола фрезерного станка с числовым программным управлением) <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение

													дополнительного материала по разделу "Разностные уравнения, Z-преобразование и его применение" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], §§ 14.2-14.7
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	28	-	14	-	2	-	-	0.5	66	33.5	
	Итого за семестр	144.0	28	-	14		2		-	0.5		99.5	

**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. Нелинейные САР (Н/САР), характеристики нелинейности

##### 1.1. Основные понятия. Статические и динамические нелинейности

Составление уравнений динамики Н/САР. Характерные нелинейные динамические звенья и их уравнения. Особенности динамического состояния Н/САР. Влияние начальных условий. Явление автоколебаний. Метода расщепления структуры Н/САР. Общий вид уравнений динамики линейной и «сильно» нелинейной подсистем САР. Примеры САР с типовыми нелинейностями. Обобщенные координаты. Их связь с физическими переменными. Математическая модель динамики Н/САР в виде замкнутой системы дифференциальных уравнений первого порядка относительно обобщенных координат системы.

#### 2. Точные методы исследования динамики Н/САР

2.1. Методы фазовых траекторий, точечных преобразований, припасовывания, сечений пространства параметров

Примеры для консервативных и неконсервативных систем второго и более высоких порядков.

##### 2.2. Прямой метод Ляпунова

Теоремы Ляпунова об устойчивости и неустойчивости САП, в т.ч. Н/САР. Свойство достаточности теоремы об устойчивости Н/САР. Проблема отыскания функции Ляпунова. Примеры практического применения.

#### 3. Приближенные методы исследования Н/САР, формализм метода гармонической линеаризации нелинейности

##### 3.1. Виды уравнений при статических и динамических нелинейностях

Принимаемый вид нелинейных зависимостей выходных переменных от входных в нелинейной подсистеме Н/САР. Ряды Фурье, их свойства. Процедура гармонической линеаризации нелинейного дифференциального уравнения. Физическая трактовка принимаемых допущений. Свойство фильтра линейной части Н/САР. Применение теории устойчивости линейных САР. Коэффициенты гармонической линеаризации статических характеристик и квазистатических нелинейных характеристик звеньев: релейных, с зоной нечувствительности и насыщением. Примеры из предметной области специальности: САР стабилизации частоты вращения рабочего колеса жестколопастной гидротурбины.

#### 4. Исследование устойчивости и автоколебаний гармонически линеаризованных Н/САР

4.1. Общие положения. Способы определения периодических решений. Основной аналитический метод и его обобщения

Графический и алгебраический способы отыскания периодических решений Н/САР. Установление устойчивости периодических решений. Использование полинома Михайлова. Аналитический критерий устойчивости периодических решений, примеры его применения из предметной области специальности. Устойчивость равновесного состояния системы. Области возможных динамических и установившихся состояний Н/САР. Варианты видов границ этих областей при различных практических существенных нелинейностях.

#### 5. Дискретные САР (Д/САР) и способы модуляции импульсных сигналов

### 5.1. Понятие о дискретных САР

Преимущества Д/САР. Этапы преобразования непрерывного сигнала в импульсную последовательность. Квантование по времени и уровню. Структура и уравнения импульсных модуляторов. Структурная схема и уравнения действия Д/САР с амплитудно-импульсной, частотно-импульсной и широтно-импульсной модуляциями входного непрерывного сигнала. Области их применения. Структурные схемы Д/САР с импульсно-кодовой модуляцией, Д/САР с применением специализированных компьютеров, элементов струйной автоматики.

## 6. Разностные уравнения, Z-преобразование и его применение

### 6.1. Понятие импульсного фильтра

Решетчатые функции. Решетчатые аналоги первых и вторых производных непрерывных функций. Разностные уравнения. Z-преобразование. Единичная импульсная функция. Основные правила и теоремы Z-преобразования. Решение разностных уравнений. Примеры. Дискретно-передаточные функции. Исследование устойчивости Д/САР.

### 3.3. Темы практических занятий

1. Решение задачи определения устойчивости Н/САР с нелинейной статической характеристикой гидроусилителя прямым методом Ляпунова, применительно к САР жестколопастной гидротурбины;
2. Нахождение передаточной функции и пример решения разностного уравнения на основе Z-преобразования для гидроприводной дискретной САР;
3. Решение задач преобразования непрерывных сигналов в дискретные на основе широтно, частотно- и амплитудно-импульсных модуляций;
4. Построение областей возможных динамических состояний гидрофицированных САР линейных и с нелинейностями в золотниковом гидроусилителе в виде сухого трения и насыщения применительно к САР жестколопастной гидротурбины;
5. Рассмотрение задач отыскания периодических решений и установление условий их устойчивости в гидроприводных Н/САР с нелинейностями в виде зоны нечувствительности и насыщения;
6. Определение и анализ коэффициентов в гармонически линеаризованных уравнениях динамики динамических звеньев с нелинейными расходными и перепадными статическими характеристиками;
7. Установление устойчивости равновесного состояния Н/САР второго порядка методами фазовых траекторий, точечных преобразований и припасовывания.

### 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), характеристики 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 нелинейности"
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"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Нелинейные САР (Н/САР), характеристики 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 нелинейности"
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"

### **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	
<b>Знать:</b>								
Закономерности динамических процессов в нелинейных системах и регулирования энергетических объектов и способы их совершенствования	ИД-ЗРПК-1	+						Тестирование/Типовые нелинейности, их формализация, терминология. Основные отличия динамических состояний нелинейных САР от их линеаризированных моделей
Принципы ранжирования и установление адаптационных свойств САУ/САР с нелинейными д.з. дискретно действующими подсистемами в зависимости от конструктивных особенностей конкретного объекта исследования/проектирования	ИД-ЗРПК-1		+					Тестирование/Типовые нелинейности, их формализация, терминология. Основные отличия динамических состояний нелинейных САР от их линеаризированных моделей
Существо системного подхода к исследованию динамики процессов регулирования энергетических, в т.ч. гидроэнергетических машин с нелинейными динамическими звеньями (д.з.)	ИД-ЗРПК-1					+		Контрольная работа/Определение коэффициентов гармонической линеаризации для динамических звеньев (д.з.) с характерными нелинейностями. Повышение качественных показателей электрогидравлической САР сложного объекта
Современные приемы поиска, анализа и обобщения основных источников научно-технической информации в предметной области дисциплины, включающих основополагающие понятия теории линейных систем управления сложными объектами	ИД-ЗРПК-1			+				Тестирование/Структуры и принципы действия модуляторов дискретных сигналов, их применения
Средства компьютерных и сетевых информационных технологий для отыскания и анализа предметных данных в сфере проблем оптимизированного	ИД-ЗРПК-1				+			Контрольная работа/Определение коэффициентов гармонической линеаризации для динамических звеньев



управления/регулирования энергетическими/гидроэнергетическими устройствами/машинами с учетом характерных нелинейностей, либо при наличии дискретно действующих устройств							(д.з.) с характерными нелинейностями. Повышение качественных показателей электрогидравлической САР сложного объекта
<b>Уметь:</b>							
Профессионально обосновывать принятые структурно-технические решения при наличии нелинейных и дискретно действующих воздействий	ИД-3РПК-1		+				Тестирование/Типовые нелинейности, их формализация, терминология. Основные отличия динамических состояний нелинейных САР от их линеаризованных моделей
Проводить расчеты временных характеристик устройств регулирования с нелинейными и дискретными элементами	ИД-3РПК-1			+			Тестирование/Структуры и принципы действия модуляторов дискретных сигналов, их применения
Применять в необходимых объемах для задач управления техническими системами аппараты теорий интегродифференциального исчисления для одного независимого аргумента, а также теорий рядов Фурье, гармонического баланса	ИД-3РПК-1					+	Контрольная работа/Определение коэффициентов гармонической линеаризации для динамических звеньев (д.з.) с характерными нелинейностями. Повышение качественных показателей электрогидравлической САР сложного объекта
Осуществлять выбор наиболее эффективного решения при разработке структуры САУ энергетическим объектом при наличии нелинейных д.з., либо дискретно действующих элементов	ИД-3РПК-1						Контрольная работа/Цели и способы модуляции импульсных сигналов в дискретных САР

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

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

**8 семестр**

Форма реализации: Смешанная форма

1. Определение коэффициентов гармонической линеаризации для динамических звеньев (д.з.) с характерными нелинейностями. Повышение качественных показателей электрогидравлической САР сложного объекта (Контрольная работа)
2. Структуры и принципы действия модуляторов дискретных сигналов, их применения (Тестирование)
3. Типовые нелинейности, их формализация, терминология. Основные отличия динамических состояний нелинейных САР от их линеаризованных моделей (Тестирование)
4. Цели и способы модуляции импульсных сигналов в дискретных САР (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Экзамен (Семестр №8)*

Итоговая оценка определяется по итогам текущего контроля успеваемости и экзаменационной оценки

В диплом выставляется оценка за 8 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 регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов . – 3-е изд., испр . – М. : Наука, 1975 . – 768 с.;
2. Булкин, А. Е. Автоматическое регулирование энергоустановок : учебное пособие для вузов по специальности "Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели" направления "Энергомашиностроение" / А. Е. Булкин . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 508 с. - ISBN 978-5-383-00208-7 .  
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=4176>;
3. Моргунов, Г. М. Сборник задач по курсу "Теория автоматических систем": Ч.2. Нелинейные и дискретные системы / Г. М. Моргунов, А. М. Попов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 1997 . – 88 с. - ISBN 5-7046-0221-5 : 5000.00 .;
4. 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://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=3264>;

5. 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)

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

### 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
	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
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	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
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Г-05, Мастерская каф. "ГГМ"	стеллаж для хранения инвентаря

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Нелинейная теория систем управления

(название дисциплины)

## 8 семестр

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

- КМ-1 Типовые нелинейности, их формализация, терминология. Основные отличия динамических состояний нелинейных САР от их линеаризированных моделей (Тестирование)
- КМ-2 Структуры и принципы действия модуляторов дискретных сигналов, их применения (Тестирование)
- КМ-3 Определение коэффициентов гармонической линеаризации для динамических звеньев (д.з.) с характерными нелинейностями. Повышение качественных показателей электрогидравлической САР сложного объекта (Контрольная работа)
- КМ-4 Цели и способы модуляции импульсных сигналов в дискретных САР (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	Нелинейные САР (Н/САР), характеристики нелинейности					
1.1	Основные понятия. Статические и динамические нелинейности		+			
2	Точные методы исследования динамики Н/САР					
2.1	Методы фазовых траекторий, точечных преобразований, приспособывания, сечений пространства параметров		+			
2.2	Прямой метод Ляпунова		+			
3	Приближенные методы исследования Н/САР, формализм метода гармонической линеаризации нелинейности					
3.1	Виды уравнений при статических и динамических нелинейностях			+		
4	Исследование устойчивости и автоколебаний гармонически линеаризованных Н/САР					
4.1	Общие положения. Способы определения периодических решений. Основной аналитический метод и его обобщения				+	
5	Дискретные САР (Д/САР) и способы модуляции импульсных сигналов					
5.1	Понятие о дискретных САР				+	
6	Разностные уравнения, Z-преобразование и его применение					

6.1	Понятие импульсного фильтра				+
		Вес КМ, %:	25	25	25