

**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

**Оценочные материалы
по дисциплине
Нелинейная теория систем управления**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	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

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. РПК-1 Способен к конструкторской деятельности в сфере автоматизированных гидравлических и пневматических систем и агрегатов

ИД-3 Выполняет расчеты элементов объектов профессиональной деятельности

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

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)

БРС дисциплины

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Нелинейные САР (Н/САР), характеристики нелинейности					
Основные понятия. Статические и динамические нелинейности	+				
Точные методы исследования динамики Н/САР					
Методы фазовых траекторий, точечных преобразований, припасовывания, сечений пространства параметров	+				
Прямой метод Ляпунова	+				
Приближенные методы исследования Н/САР, формализм метода гармонической линеаризации нелинейности					
Виды уравнений при статических и динамических нелинейностях			+		

Исследование устойчивости и автоколебаний гармонически линеаризованных Н/САР				
Общие положения. Способы определения периодических решений. Основной аналитический метод и его обобщения			+	
Дискретные САР (Д/САР) и способы модуляции импульсных сигналов				
Понятие о дискретных САР			+	
Разностные уравнения, Z-преобразование и его применение				
Понятие импульсного фильтра				+
Вес КМ:	25	25	25	25

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
РПК-1	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	Структуры и принципы действия модуляторов дискретных сигналов, их применения (Тестирование) Цели и способы модуляции импульсных сигналов в дискретных САР (Контрольная работа) Типовые нелинейности, их формализация, терминология. Основные отличия динамических состояний нелинейных САР от их линеаризированных моделей (Тестирование) Определение коэффициентов гармонической линеаризации для динамических звеньев (д.з.) с характерными нелинейностями. Повышение качественных показателей электрогидравлической САР сложного объекта (Контрольная работа)

		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 конкретного объекта исследования/проектирования Закономерности динамических процессов в нелинейных системах и регулирования энергетических объектов и способы их совершенствования Уметь: Осуществлять выбор наиболее эффективного	
--	--	---	--

		решения при разработке структуры САУ энергетическим объектом при наличии нелинейных д.з., либо дискретно действующих элементов Применять в необходимых объемах для задач управления техническими системами аппараты теорий интегродифференциального исчисления для одного независимого аргумента, а также теорий рядов Фурье, гармонического баланса Проводить расчеты временных характеристик устройств регулирования с нелинейными и дискретными элементами Профессионально обосновывать принятые структурно-технические решения при наличии нелинейных и дискретно действующих воздействий	
--	--	---	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Типовые нелинейности, их формализация, терминология. Основные отличия динамических состояний нелинейных САР от их линеаризованных моделей

Формы реализации: Смешанная форма

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в период аудиторных занятий. Продолжительность контроля составляет 20 минут. Работы выполняются индивидуально по вариантам заданий

Краткое содержание задания:

Нелинейности типа зоны нечувствительности и насыщения; математическая аппроксимация данных нелинейности. Построить качественно переходные процессы в Н/САР при внутреннем неустойчивом предельном цикле, а внешнем – устойчивом

Контрольные вопросы/задания:

Знать: Закономерности динамических процессов в нелинейных системах и регулирования энергетических объектов и способы их совершенствования	1.Для случая внешнем – неустойчивом, а внутреннем – устойчивом предельных циклах привести анализ влияния на характер переходного процесса в Н/САР в зависимости от начального условия
Знать: Принципы ранжирования и установление адаптационных свойств САУ/САР с нелинейными д.з. дискретно действующими подсистемами в зависимости от конструктивных особенностей конкретного объекта исследования/проектирования	1.Нелинейность типа люфта и гистерезиса. Математическая аппроксимация данных нелинейностей
Уметь: Профессионально обосновывать принятые структурно-технические решения при наличии нелинейных и дискретно действующих воздействий	1.Составление уравнений динамики Н/САР

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-2. Структуры и принципы действия модуляторов дискретных сигналов, их применения

Формы реализации: Смешанная форма

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в период аудиторных занятий. Продолжительность контроля составляет 20 минут. Работы выполняются индивидуально по вариантам заданий

Краткое содержание задания:

структура, действие и область применения преобразователя с модулированием по уровню

Контрольные вопросы/задания:

Знать: Современные приемы поиска, анализа и обобщения основных источников научно-технической информации в предметной области дисциплины, включающих основополагающие понятия теории линейных систем управления сложными объектами	1.структура, действие и область применения частотно-амплитудного модулятора
Уметь: Проводить расчеты временных характеристик устройств регулирования с нелинейными и дискретными элементами	1.Аналитический критерий устойчивости периодических решений, примеры его применения из предметной области специальности

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-3. Определение коэффициентов гармонической линеаризации для динамических звеньев (д.з.) с характерными нелинейностями. Повышение качественных показателей электрогидравлической САР сложного объекта

Формы реализации: Смешанная форма

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Индивидуальная задача выдается каждому студенту на 45 минут

Краткое содержание задания:

д.з. с релейной статической нелинейностью, включая зону нечувствительности

Контрольные вопросы/задания:

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	1.Расходная характеристика гидроусилителя с сухим трением и насыщением.
Знать: Существо системного подхода к исследованию динамики процессов регулирования энергетических, в т.ч. гидроэнергетических машин с нелинейными динамическими звеньями (д.з.)	1.математический формализм и компьютерно-информационное обеспечение моделирования динамических процессов в нелинейной и дискретной постановках
Уметь: Применять в необходимых объемах для задач управления техническими системами аппараты теорий интегродифференциального исчисления для одного независимого аргумента, а также теорий рядов Фурье, гармонического баланса	1.Разностные уравнения. Z-преобразование. Единичная импульсная функция. Разработка физической и математической модели динамики нелинейных и локально дискретно действующих технических систем управления

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-4. Цели и способы модуляции импульсных сигналов в дискретных САР

Формы реализации: Смешанная форма

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Индивидуальная задача выдается каждому студенту на 45 минут

Краткое содержание задания:

Формирование модулятора с квантованием сигнала по амплитуде и по времени. Область применения

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: Осуществлять выбор наиболее эффективного решения при разработке структуры САУ энергетическим объектом при наличии нелинейных д.з., либо дискретно действующих элементов	1. Структурная схема и уравнения действия Д/Сар с амплитудно-импульсной, частотно-импульсной и широтно-импульсной модуляциями входного непрерывного сигнала
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

. Теоретические вопросы

1. Фундаментальные законы физики, используемые в теории УТС. Примеры.
2. Критерии точности установившегося режима работы линейных САР

Практическое задание

Применить метод фазовых траекторий для анализа динамики консервативной системы второго порядка.

Процедура проведения

Индивидуальный опрос студентов по темам экзаменационного билета

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-ЗрПК-1 Выполняет расчеты элементов объектов профессиональной деятельности

Вопросы, задания

1. Теоретические вопросы

1. Уравнение механики жидкости и газа, используемые при описании динамики гидропневмоустройств в системах УТС. Примеры.
2. Временные быстродействия и запаса устойчивости.

Практическое задание

Применить метод фазовых траекторий для анализа динамики неконсервативной (с кулоновским трением) системы второго порядка.

2. Теоретические вопросы

1. Исходные уравнения неустановившегося состояния динамических звеньев УТС. Примеры.
2. Частотные критерии быстродействия и запасов устойчивости

Практическое задание

Применить метод точечных преобразований, построить (качественно) функции преобразований для устойчивого, неустойчивого и бифуркационного предельных циклов Н/САР

3. Теоретические вопросы

1. Понятие линейного оператора и линейного уравнения. Примеры таких операторов и уравнений в теории УТС.
2. Методы повышения точности систем УТС

Практическое задание

Получить аналитическое выражение для коэффициентов гармонически линеаризованного уравнения д/состояния релейного звена с гистерезисом и зоной нечувствительности. Рассмотреть частотные случаи и дать качественный анализ характера изменений этих коэффициентов в зависимости от значений амплитуды входного гармонического сигнала

4. Теоретические вопросы

1. Описание динамики САР дифференциальными уравнениями: обыкновенными, с постоянными и переменными коэффициентами, с переменными параметрами. Примеры.
2. Методы повышения быстродействия Л/САР.

Практическое задание

Получить аналитическое выражение для коэффициентов гармонически линеаризованной статической, нелинейной характеристики д/звена с зоной нечувствительности и насыщения. Рассмотреть частные случаи

5. Теоретические вопросы

1. Формулировка проблем оптимального управления и оптимизированного регулирования.
2. Корректирующие средства и динамические звенья. Назначение и способы применения

Практическое задание

Представить качественно вид переходного процесса для собственных движений системы 2-го порядка, описываемой уравнением $0,4y'' + y' + 0,5 = 0$, $y(0+) = y'(0+) = 1$.

6. Теоретические вопросы

1. Применение методологии системного подхода в теории УТС. Понятия САУ и САР. Структуры. Иерархия структур. Индуктивный и дедуктивный подходы к задачам анализа и синтеза систем УТС. Понятие динамического звена.
2. Метод фазовых траекторий для исследования собственных движений нелинейных САР.

Практическое задание

Получить выражение для установившейся ошибки замкнутой системы, если

$$W_{рег} = \frac{k_1}{s(1+T_1s)}, \quad W_{по} = k_0(1+T_0s), \quad W_{зос} = -1, \quad g(t) = 1 \times t$$

7. Теоретические вопросы

1. Применение методологии системного подхода в теории УТС. Понятия САУ и САР. Структуры. Иерархия структур. Индуктивный и дедуктивный подходы к задачам анализа и синтеза систем УТС. Понятие динамического звена.
2. Метод фазовых траекторий для исследования собственных движений нелинейных САР

Практическое задание

Получить выражение для установившейся ошибки замкнутой системы, если

$$W_{рег} = \frac{k_1}{s(1+T_1s)}, \quad W_{по} = k_0(1+T_0s), \quad W_{зос} = -1, \quad g(t) = 1 \times t$$

8. Теоретические вопросы

1. Прямой метод Ляпунова в проблеме исследования устойчивости нелинейных систем УТС, его существо.
 2. Методы повышения запасов устойчивости Л/САР
- Определить область расположения кривой переходного процесса САР, если $y_0 = 2; = 0,1; \quad t_{п} = 0,5с; \quad t_3 = 0,06с; = 0,1с; = 0,03с$

9. Теоретические вопросы

1. Теорема Ляпунова об устойчивости реальных САР по результатам анализа устойчивости их линейных моделей.
2. Оценка точности Л/САР при гармоническом входном сигнале и по методу коэффициентов ошибок

10. Практическое задание

Получить критерии точности при движении САР с постоянным ускорением

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что такое теория автоматического управления (ТАУ).

Ответы:

- А) Совокупность знаний, позволяющих создавать и вводить в действие автоматические системы управления технологическими процессами с заданными характеристиками.
Б) Теория создания автоматизированных систем управления технологическими процессами с участием человека-оператора.
В) Раздел теории управления, разработанный для решения задач регулирования, то есть поддержания заданного значения частоты вращения, температуры, давления в технических устройствах (например, в паровых машинах).

Верный ответ: Совокупность знаний, позволяющих создавать и вводить в действие автоматические системы управления технологическими процессами с заданными характеристиками.

2. Что является объектом изучения ТАУ.

Ответы:

- А) Автоматическая система управления (АСУ).
Б) Автоматы, выполняющие одноразовые, или многократные операции.
В) Системы управления, поддерживающие заданный режим работы.

Верный ответ: Автоматическая система управления (АСУ).

3. Основной метод исследования в ТАУ.

Ответы:

- А) Математическое моделирование.
Б) Физическое моделирование.
В) Натурные исследования.

Верный ответ: Математическое моделирование.

4. К современным тенденциям в автоматизации производства относятся.

Ответы:

- А) Создание машин и оборудования со встроенными микропроцессорными средствами измерения, контроля и регулирования.
Б) Создание машин и оборудования с увеличенным сроком эксплуатации.
В) Создание машин и оборудования с минимальными массогабаритными характеристиками.

Верный ответ: Создание машин и оборудования со встроенными микропроцессорными средствами измерения, контроля и регулирования.

5. Что такое принцип обратной связи.

Ответы:

- А) Управление техническим объектом с использованием информации о результатах управления называется принципом обратной связи.
Б) Динамические звенья с дублирующими связями.
В) Создание машин и оборудования с минимальными массогабаритными характеристиками.

Верный ответ: Управление техническим объектом с использованием информации о результатах управления называется принципом обратной связи.

6. Что называется передаточной функцией объекта.

Ответы:

- А) Функция, описывающая связь между выходом и входом объекта при нулевых начальных условиях.
Б) Функция, описывающая связь между выходом и входом объекта при ненулевых начальных условиях.
В) Функция, описывающая связь между выходом и входом объекта при ненулевых возмущающих воздействиях.

Верный ответ: Функция, описывающая связь между выходом и входом объекта при нулевых начальных условиях.

7. Что называется переходной функцией.

Ответы:

- А) Реакция звена или САУ на единичное ступенчатое входное воздействие.
 - Б) Реакция звена или САУ на единичное гармоническое входное воздействие.
 - В) Реакция звена или САУ на единичное линейное входное воздействие.
- Верный ответ: Реакция звена или САУ на единичное ступенчатое входное воздействие.

8. Что такое весовая функция.

Ответы:

- А) Реакция звена или САУ на единичное импульсное входное воздействие.
 - Б) Реакция звена или САУ на единичное гармоническое входное воздействие.
 - В) Реакция звена или САУ на единичное линейное входное воздействие.
- Верный ответ: Реакция звена или САУ на единичное импульсное входное воздействие.

9. Какая САУ считается нелинейной.

Ответы:

- А) Нелинейной САУ называется такая система, которая содержит хотя бы одно звено, описываемое нелинейным уравнением.
 - Б) Нелинейной САУ называется такая система, все звенья которой описываются нелинейными уравнениями.
 - В) Нелинейной САУ называется такая система, которая не содержит линейных звеньев.
- Верный ответ: Нелинейной САУ называется такая система, которая содержит хотя бы одно звено, описываемое нелинейным уравнением.

10. Какие два вида устойчивого состояния имеет нелинейная система управления.

Ответы:

- А) Устойчивость состояния равновесия и устойчивость автоколебаний.
 - Б) Устойчивость системы при «больших» и «малых» возмущениях.
 - В) Устойчивость на пределах изменения входных параметров.
- Верный ответ: Устойчивость состояния равновесия и устойчивость автоколебаний.

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «Отлично» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «Хорошо» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «Удовлетворительно» выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но, либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из этого же раздела дисциплины

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «Неудовлетворительно» выставляется студенту, который: а) не ответил на вопросы экзаменационного билета и не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из билета; б) не смог решить, либо наметить правильный путь решения другой задачи, выданной взамен задачи из билета; в) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Итоговая оценка определяется по итогам текущего контроля успеваемости и экзаменационной оценки