

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Костромской государственный университет»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

## **Автоматизация управления**

Направление подготовки: 270304 Управление в технических системах  
Направленность Информационное и техническое обеспечение цифровых систем  
управления

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

**Кострома  
2020**

- Рабочая программа дисциплины «Автоматизация управления» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом ФГОС ВО Утвержден приказом Минобрнауки России от 20.10.2015 №1171
- в соответствии с учебным планом направления подготовки 270304 «Управление в технических системах» (уровень бакалавриата), направленность «Информационное и техническое обеспечение цифровых систем управления». Год начала подготовки 2020.

Разработал:

Староверов Борис Александрович, профессор кафедры АМТ, д.т.н



Рецензент: Воронова Лариса Викторовна, доцент кафедры АМТ, к.т.н., доцент.

УТВЕРЖДЕНО:

На заседании кафедры АМТ

Протокол заседания кафедры №1\_ от 31.08. 2020 \_\_ г.

Заведующий кафедрой АМТ

Староверов Б.А., д.т.н., профессор



## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

### Цель дисциплины:

- овладение общими принципами построения математических моделей нелинейных процессов и объектов автоматизации и управления;
- освоение методов расчета, анализа и синтеза нелинейных систем автоматизации и управления;
- освоение методов синтеза оптимальных систем автоматизации и управления;
- освоение методов расчета, анализа и синтеза систем прямого цифрового управления. **Задачи**

### дисциплины:

- освоение принципов функционирования и получения математических моделей нелинейных процессов и объектов автоматизации и управления;
- овладение методами точного и приближенного анализа и синтеза нелинейных процессов автоматизации и управления;
- овладение основами синтеза оптимальных систем автоматизации и управления;
- приобретение навыков в проведении расчетов процессов автоматизации при прямом цифровом управлении;
- приобретение навыков в использовании вычислительной техники для теоретических расчетов систем автоматизации и управления при их проектировании.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

### знать:

- принципы функционирования и методы получения математических моделей нелинейных процессов и объектов автоматизации и управления;
- точные и приближенные методы расчета нелинейных процессов автоматизации и управления;
- основы синтеза оптимальных систем автоматизации и управления;
- методы расчета, анализа и синтеза систем прямого цифрового управления. **уметь:**
- представлять математические модели нелинейных процессов и объектов автоматизации и управления;
- рассчитывать точность и устойчивость нелинейных процессов автоматизации и управления;
- определять оптимальные законы и цифровые алгоритмы управления процессами автоматизации;
- применять вычислительную технику для расчета нелинейных и оптимальных процессов управления техническими системами.

### владеть:

- навыками получения математических моделей нелинейных процессов и объектов автоматизации и управления;
- аналитическими методами анализа и синтеза нелинейных систем и с использованием вычислительной техники;
- основными методами синтеза оптимальных законов и алгоритмов прямого цифрового управления процессами и объектами автоматизации;
- вычислительной техникой для расчетов нелинейных и оптимальных процессов управления техническими системами.

### освоить компетенции:

ПК-2: способностью проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных средств с целью получения математических моделей процессов и объектов автоматизации и управления;

ПК-5: способностью осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования систем и средств автоматизации и управления

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Дисциплина относится к вариативной части обязательных дисциплин учебного плана (Б1.В.ОД.12.). Изучается в 5 и 6 семестрах обучения.

Изучение дисциплины основывается на ранее освоенных дисциплинах: высшая математика, информационные технологии управления, информационнокоммуникационные технологии, физика, теория автоматического управления.

Изучение дисциплины является основой для освоения последующих дисциплин/практик: автоматизированные системы управления техническими объектами (междисциплинарный проект), технологические процессы автоматизированных производств, интегрированные системы управления, научно-исследовательская работа, выпускная квалификационная работа.

### 4. Объем дисциплины

#### 4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием академических (астрономических) часов и виды учебной работы

Виды учебной работы,	Очная форма	Очно-заочная	Заочная
Общая трудоемкость в зачетных единицах	9	-	-
Общая трудоемкость в часах	324	-	-
Аудиторные занятия в часах, в том числе:	144	-	-
Лекции	72	-	-
Практические занятия	-	-	-
Лабораторные занятия	72	-	-
Самостоятельная работа в часах	108	-	-
в том числе курсовой проект (работа)		-	-
Контроль	72	-	-
Форма промежуточной аттестации	Экзамен Экзамен		

#### 4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося

Виды учебных занятий	Очная форма Час	Очно-заочная	Заочная Час
Лекции	72	-	-
Практические занятия	-	-	-
Лабораторные занятия	72	-	-
Консультации	4	-	-
Зачет/экзамен		-	-
Экзамен/экзамены	0,7	-	-
Курсовые работы	-	-	-
Курсовые проекты		-	-
Всего	148,7	-	-

#### 5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам), с указанием количества часов и видов занятий

## 5.1 Тематический план учебной дисциплины

### Очная форма обучения

№	Название раздела, темы	Всего Час	ИКР	Контроль	Аудиторные занятия час			Самостоятельная работа Час
					Лекц.	Практ.	Лаб.	
1	Особенности нелинейных САУ и методы исследования устойчивости	12			2		2	8
2	Методы исследования нелинейных систем в пространстве состояния	20			6		6	8
3	Исследование нелинейных систем методом гармонической линеаризации и условия его применения.	18			6		4	8
4	Определение оптимального управления, критерии оптимальности	16			4		4	8
5	Применение вариационного исчисления для решения задач оптимального управления	16			4		4	8
6	Применение принципа максимума и динамического программирования для решения задач оптимального управления	22			6		8	8
7	Синтез оптимальных законов управления	18			6		4	8
8	Особенности управления систем автоматического управления с запаздыванием	16			4		4	8
9	Системы прямого цифрового управления их математическое описание	20			6		6	8
10	Методы исследование цифровой САУ	20			6		6	8
11	Синтез цифровых типовых регуляторов	22			6		8	8
12	Синтез непрерывных регуляторов состояний	24			8		8	8
13	Синтез дискретных регуляторов состояний	24,3			8		8	8,3
	Всего	247,3			72		72	103,3
	Контроль	72		72				
	Экзамен	4,7	4,7					
	ИТОГО	324	4,7		72		72	103,3

### 5.2. Содержание

Раздел 1. Особенности нелинейные систему автоматического управления (САУ) и

### **методы исследования устойчивости**

Особенности статических и динамических свойств нелинейных систем. Устойчивость нелинейных САУ. Виды устойчивости нелинейных САУ Теоремы устойчивости Ляпунова. Критерий устойчивости Попова, условия применимости. Применения критерия Попова к системам с релейными регуляторами типа: идеальное реле, реле с гистерезисом, реле с зоной нечувствительности.

**Раздел 2. Методы исследования нелинейных систем в пространстве состояний** Переход от описания объекта управления передаточной функцией к описанию в пространстве состояний. Фазовая плоскость для описания поведения системы управления. Определение переходного процесса по фазовой траектории. Определение переходного процесса и параметров автоколебаний для САУ с релейными регуляторами типа: идеальное реле, реле с гистерезисом, реле с зоной нечувствительности. Получение скользящего режима и его особенности.

### **Раздел 3. Исследование нелинейных систем методом гармонической линеаризации и условия его применения.**

Идея метода гармонической линеаризации, условия его применимости. Определение коэффициентов гармонической линеаризации. Графоаналитический метод определения параметров автоколебаний с помощью гармонической линеаризации нелинейного регулятора. Определение параметров автоколебаний в САУ с объектом высокого порядка и релейными регуляторами типа: идеальное реле, реле с гистерезисом, реле с зоной нечувствительности.

### **Раздел 4. Определение оптимального управления, критерии оптимальности**

Оптимальное управление. Исходные данные, необходимые для синтеза оптимального управления. Виды критериев оптимальности и их физический смысл. Прямой метод определения оптимальных коэффициентов регулятора по квадратичному интегральному критерию

### **Раздел 5. Применение вариационного исчисления для решения задач оптимального управления**

Задачи Бернулли. Теорема Эйлера. Уравнение Эйлера - Лагранжа и его применение для синтеза оптимального управления. Представление уравнений Эйлера - Лагранжа в канонической форме. Определение оптимальных законов уравнения для объектов первого и второго порядка методом Эйлера - Лагранжа

### **Раздел 6. Применение принципа максимума и динамического программирования для решения задач оптимального управления**

Принцип максимума Понтрягина. Основные идеи, игольчатая вариация. Технология применения принципа максимума для определения оптимальных законов управления при ограничениях на управляющее воздействие. Определение оптимальных законов уравнения для объектов первого и второго порядка.

Метод динамического программирования. Аналитическая форма. Метод динамического программирования. Алгоритм вычисления оптимальной траектории. Связь между принципом максимума и динамическим программированием. Определение оптимальных законов уравнения для объектов первого и второго порядка.

### **Раздел 7. Синтез оптимальных законов управления**

Синтез программного управления, оптимального по быстродействию. Теорема об «п»- интегралах. Синтез замкнутой САУ, оптимальной по быстродействию и по быстродействию и расходу ресурсов. Упрощённый закон оптимального управления по быстродействию. Аналитическое конструирование регуляторов. Оптимальное управление по расходу энергии. Получение уравнения Риккати. Методика аналитического конструирования оптимальной САУ.

### **Раздел 8. Особенности управления систем автоматического управления (САУ) с запаздыванием**

Описание систем с запаздыванием. Определение устойчивости систем с запаздыванием. Приближенная аппроксимация передаточной функции запаздывания. Компенсация запаздывания, регулятор Смита.

### **Раздел 9. Системы прямого цифрового управления их математическое описание**

Функциональная схема цифровой САУ. Виды квантования. Описание цифровых систем с помощью разностных уравнений. Формирующий элемент нулевого порядка. Дискретное преобразование Лапласа и его свойства. Таблица Z преобразований. Получение импульсных передаточных функций из разностного уравнения

### **Раздел 10. Методы исследование цифровой САУ**

Методика получения передаточной функции импульсной замкнутой САУ. Определение установившегося значения и ошибки (точности). Условия устойчивости, определение устойчивости методом билинейного преобразования. Построение переходных процессов импульсных САУ. Частотные характеристики импульсных САУ. Теорема Котельникова- Шенона и ее применение для определения периода квантования.

### **Раздел 11. Синтез цифровых типовых регуляторов**

Цифровой ПИД - регуляторы их синтез. Синтеза цифровых компенсационных регуляторов.

Апериодический регулятор.

### **Раздел 12. Синтез непрерывных регуляторов состояний**

Описание объектов управления в непрерывном пространстве состояний. Синтез непрерывных регуляторов состояний. Синтез динамических непрерывных регуляторов состояний.

### **Раздел 13. Синтез дискретных регуляторов состояний**

Описание объектов управления в дискретном пространстве состояний. Синтез дискретных регуляторов состояний. Синтез динамических дискретных регуляторов состояний. Алгоритм компьютерной реализации дискретного наблюдателя и регулятора состояний

## **6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины 6.1.**

### **Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине**

#### **Очная форма обучения**

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Задание	Часы	Методические рекомендации по выполнению задания	Форма контроля
1	Особенности нелинейных САУ и методы исследования устойчивости	Изучение лекционного материала. Оформление отчета по лабораторной работе Решение задач на тему «Виды статических и динамических режимов нелинейных САУ»	8	Изучение лекционного материала: - прочитайте текст. - Уточните непонятные термины. - Ответьте на контрольные вопросы по лекционному материалу, используя рекомендуемую литературу. - Оформить лабораторную работу в соответствии с требованиями, подготовить ответы на вопросы в методическом руководстве к работам	Письменно-устная защита проведенных расчетов и результатов лабораторных работ
2	Методы исследования	Изучение лекционного материала.	8	Изучить лекционный материал Оформить лабораторную	Письменно-устная защита

	нелинейных систем в пространстве состояния	Оформление отчетов по лабораторной работе Изучение методики исследования типового динамического звена с выводом всех характеристик		работу Подготовить ответы на вопросы	проведенных расчетов и результатов лабораторных работ
3	Исследование нелинейных систем методом гармонической линеаризации и условия его применения.	Изучение лекционного материала. Оформление отчетов по лабораторной работе	8	Изучить лекционный материал Оформить лабораторную работу Подготовить ответы на вопросы	Письменно-устная защита проведенных расчетов и результатов лабораторных работ
4	Определение оптимального управления, критерии оптимальности	Изучение лекционного материала. Оформление отчетов по лабораторной работе	8	Изучить лекционный материал Оформить лабораторную работу Подготовить ответы на вопросы	Письменно-устная защита проведенных расчетов и результатов лабораторных работ
5	Определение оптимального управления, критерии оптимальности	Изучение лекционного материала. Оформление отчетов по лабораторной работе	8	Изучить лекционный материал Оформить лабораторную работу Подготовить ответы на вопросы	Письменно-устная защита проведенных расчетов и результатов лабораторных работ
6	Применение принципа максимума и динамического программирования для решения задач оптимального управления	Изучение лекционного материала. Оформление отчетов по лабораторной работе	8	Изучить лекционный материал Оформить лабораторную работу Подготовить ответы на вопросы	Письменно-устная защита проведенных расчетов и результатов лабораторных работ
7	Синтез оптимальных законов управления	Изучение лекционного материала. Оформление отчетов по лабораторной работе	8	Изучить лекционный материал Оформить лабораторную работу Подготовить ответы на вопросы	Защита проведенных расчетов и результатов лабораторных работ
8	Особенности управления систем	Изучение лекционного материала.	29	Изучить лекционный материал Оформить лабораторную работу	Письменно-устная защита проведенных



	автоматического управления с запаздыванием	Оформление отчетов по лабораторной работе		работу Подготовить ответы на вопросы	расчетов и результатов лабораторных работ
9	Системы прямого цифрового управления их математическое описание	Изучение лекционного материала. Оформление отчетов по лабораторной работе	8	Изучить лекционный материал Оформить лабораторную работу Подготовить ответы на вопросы	Письменно-устная защита проведенных расчетов и результатов лабораторных работ
10	Методы исследование цифровой САУ	Изучение лекционного материала. Оформление отчетов по лабораторной работе	8	Изучить лекционный материал Оформить лабораторную работу Подготовить ответы на вопросы	Письменно-устная защита проведенных расчетов и результатов лабораторных работ
11	Синтез цифровых типовых регуляторов	Изучение лекционного материала. Оформление отчетов по лабораторной работе	8	Изучить лекционный материал Оформить лабораторную работу Подготовить ответы на вопросы	Письменно-устная защита проведенных расчетов и результатов лабораторных работ
12	Синтез непрерывных регуляторов состояний	Изучение лекционного материала. Оформление отчетов по лабораторной работе	8	Изучить лекционный материал Оформить лабораторную работу Подготовить ответы на вопросы	Письменно-устная защита проведенных расчетов и результатов лабораторных работ
13	Синтез дискретных регуляторов состояний	Изучение лекционного материала. Оформление отчетов по лабораторной работе	8,3	Изучить лекционный материал Оформить лабораторную работу Подготовить ответы на вопросы	Письменно-устная защита проведенных расчетов и результатов лабораторных работ
	ИТОГО		103,3		

## 6.2. Тематика и задания для лабораторных занятий

**Лабораторная работа 1.** Исследование статических и динамических свойств нелинейных САУ.  
**Лабораторные работы 2.** Исследование устойчивости нелинейных САУ **Лабораторная работа 3.** Исследование нелинейных САУ на фазовой плоскости. **Лабораторная работа 4.** Исследование нелинейных САУ методом гармонической линеаризации.  
**Лабораторная работа 5.** Оценка физических параметров переходных процессов, оптимальных по квадратичному интегральному критерию  
**Лабораторная работа 6.** Исследование разомкнутых оптимальных систем управления **Лабораторная работа 7.** Исследование замкнутых оптимальных систем управления **Лабораторная работа 8.** Исследование устойчивости САУ с запаздыванием **Лабораторная работа 9.** Исследование регулятора Смита для систем с запаздыванием **Лабораторная работа 10.** Исследование устойчивости цифровых (импульсных) САУ **Лабораторная работа 11.** Исследование типовых цифровых регуляторов **Лабораторная работа 12.** Исследование цифровых апериодических регуляторов **Лабораторная работа 13.** Синтез и исследование статических регуляторов состояния **Лабораторная работа 14.** Синтез и исследование динамических регуляторов состояния

## 7. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

### *а) основная:*

1. Гайдук А.Р., Беляев В.Е., Пьявченко Т.А Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB: учеб. [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Изд-во: Лань, 2017. — 464 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/90161>.
2. Ощепков А.Ю. Системы автоматического управления: применение, моделирование в MATLAB [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — Изд-во : Лань, 2013. — 208 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5848>.

### *б) дополнительная*

3. Методы исследования нелинейных систем автоматического управления: учебное пособие/сост. Л. В. Воронова, Б.А. Староверов - 1-е изд. - Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2010.- 48 с.
4. Староверов Б.А. Цифровые системы автоматического управления техническими объектами: Учебное пособие. - Кострома: Изд-во Костромского государственного технологического ун-та, 2005. - 93 с.
5. Теория автоматического управления : учебное пособие/Б.И. Коновалов, Ю.М. Лебедев - [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Изд-во: Лань, 2016. — 224 с. — Режим доступа: <https://eJanbook.com/book/71753>.
6. Теория автоматического управления: задачи и решения: учебное пособие/Л.Д. Певзнер, — [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Изд-во: Лань, 2016. — 604 с. — Режим доступа: <https://eJanbook.com/book/755161>.

### *в) методические указания*

7. Староверов, Б. А. Исследование устойчивости импульсных систем регулирования [Электронный ресурс] : метод. указ. к лаб. работе / Б. А. Староверов, М. А. Смирнов. - Кострома : КГТУ, 2013. - 12 с.: табл.
8. Староверов, Б. А. Синтез регуляторов и наблюдателей состояния [Электронный ресурс] : метод. указ. к лаб. раб. ТАУ-16 / Б. А. Староверов, М. А. Смирнов ; сост.

Б.А. Староверов, М.А. Смирнов. - Кострома : КГТУ, 2013. - 15 с.: рис.

7. Федюкин В.М., Староверов Б.А. Исследование типовых динамических звеньев / [Электронный ресурс]: Аннотированный каталог СПО в КГТУ: Кострома, — КГТУ, — РИО, 1998. — Режим доступа: <http://ksu.edu.ru/nauchnaya-biblioteka.html>

9. Федюкин В.М., Староверов Б.А. Исследование точности в установившемся режиме / [Электронный ресурс]: Аннотированный каталог СПО в КГТУ: Кострома, — КГТУ, — РИО, 1998. — Режим доступа: <http://ksu.edu.ru/nauchnaya-biblioteka.html>

10. Федюкин В.М., Староверов Б.А. Исследование устойчивости систем автоматического регулирования / [Электронный ресурс]: Аннотированный каталог СПО в КГТУ: Кострома, — КГТУ, — РИО, 1998. — Режим доступа: <http://ksu.edu.ru/nauchnaya-biblioteka.html>

11. Федюкин В.М., Староверов Б.А. Исследование работы типовых линейных регуляторов / [Электронный ресурс]: Аннотированный каталог СПО в КГТУ: Кострома, — КГТУ, — РИО, 1998. — Режим доступа: <http://ksu.edu.ru/nauchnaya-biblioteka.html>

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

*Информационно-образовательные ресурсы:*

1. *Федеральный портал «Российское образование»;*
2. *Официальный сайт министерства образования и науки Российской Федерации*

*Электронные библиотечные системы:*

1. ЭБС «Лань»
2. ЭБС «Университетская библиотека online»
3. ЭБС «Znanium»

## **9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Лекционная аудитория должна быть оснащена презентационным оборудованием (персональный компьютер, мультимедийный проектор, экран, программа для создания и проведения презентаций).

Компьютерный класс:

Процессор

Pentium 4, 1 ГГц и выше.

Операционная система

Windows XP или более поздняя версия.

Память 1 ГБ ОЗУ Дисковое пространство 40 ГБ

Монитор Super VGA (800 x 600) или более высокое разрешение с 256 цветами. Программное обеспечение:

- MS Office
- SMath Studio (MathCad 15 при наличии лицензии)
- Scilab 2.7 ( MATLAB при наличии лицензии)
- WinMikal (разработанное в университете ПО, не требующее лицензии)