

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
теории функций и геометрии



Семенов Е.М.

11.04.2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.О.15 Элементы теории управления системами

Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

02.04.01 Математика и компьютерные науки

2. Профиль подготовки/специализация:

Математический анализ и приложения

Математическое и компьютерное моделирование

3. Квалификация выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

Кафедра теории функций и геометрии

6. Составители программы: Мелешенко Петр Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры теории функций и геометрии

7. Рекомендована: Научно-методическим Советом математического факультета, протокол №0500-03 от 24.03.2022 г.

8. Учебный год: 2023/2024

Семестр(ы): 4

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Цели изучения дисциплины:

- формирование у студента прочных знаний по основам вариационного исчисления, численным методам оптимизации;
- выработка у студента навыков, связанных с практическим применением методов оптимизации при решении прикладных задач.

Задачи дисциплины:

- воспитание у студента культуры мышления, связанной с рациональным выбором решений в различных областях человеческой деятельности.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Элементы теории управления системами» относится к учебным дисциплинам обязательной части блока Б1 основной образовательной программы направления подготовки 02.04.01 Математика и компьютерные науки - Магистр.

Курс является логическим продолжением преподавания предметов: «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Вариационные методы в естествознании», и «Моделирование динамических процессов», и осуществляет разумный баланс между общеобразовательным содержанием выбранного профиля и его дальнейшей профессиональной направленностью, что, несомненно, повышает профессиональное самоопределение обучающихся и уровень их социальной адаптации.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-2	Способен создавать и исследовать новые математические модели в естественных науках, совершенствовать и разрабатывать концепции, теории и методы	ОПК-2.1	Владеет навыками создания и исследования новых математических моделей в естественных науках	Знать: современные методы разработки и реализации математических моделей
		ОПК-2.2	Умеет использовать их в профессиональной деятельности	Уметь: строить математические модели изучаемых систем; решать задачи, используя аналитические методы и программные средства
		ОПК-2.3	Имеет практический опыт создания и исследования подобных математических моделей	Владеть: современными методами разработки и реализации математических моделей

			и разработки теорий и методов для их описания	
ОПК-3	Способен самостоятельно создавать прикладные программные средства на основе современных информационных технологий и сетевых ресурсов, в том числе отечественного производства	ОПК-3.1	Обладает фундаментальными знаниями в области прикладного программирования и информационных технологий	Знать: современные методы прикладного программирования, пакеты вычислительных программ и основы информационных технологий
		ОПК-3.2	Умеет использовать их в профессиональной деятельности	Уметь: разрабатывать прикладные программные продукты моделирования современных систем в рамках современных пакетов вычислительных программ
		ОПК-3.3	Имеет практический опыт применения программных средств, используемых при построении математических моделей в естественных науках	Владеть: современными методами использования программных средств при моделировании прикладных задач естественных наук

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. (в соответствии с учебным планом) — 3/108.

Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен) экзамен.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			12 семестр	№ семестра
Контактная работа		30	30	
в том числе:	лекции	10	10	
	практические			
	лабораторные	20	20	
Самостоятельная работа		42	42	
Контроль		36	36	
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации				

ЭКЗАМЕН				
Итого:	108	108		

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	История развития и основные понятия теории управления системами.	Историческая справка о возникновении систем управления. Перспективы развития систем управления. Определение основных понятий и элементов системы управления. Основные структурные единицы и разновидности систем управления.	-----
1.2	Математическое описание систем управления. Передаточные функции.	Математические модели систем управления. Понятие о передаточных функциях. Преобразования Фурье и Лапласа. Амплитудно-частотные характеристики.	-----
1.3	Структурные схемы. Типовые звенья систем управления.	Понятие о структурных схемах систем управления. Типовые звенья систем управления и их основные характеристики.	-----
1.4	Устойчивость систем управления. Критерии устойчивости.	Понятие устойчивости системы управления. Критерий Рауса-Гурвица. Частотный критерий Михайлова. Амплитудно-фазо-частотный критерий Найквиста. Теоремы Ляпунова об устойчивости.	-----
1.5	Основные виды регуляторов систем управления. Линейные и нелинейные системы управления.	Виды регуляторов систем управления: П-, И-, ПИД-регуляторы. Основные особенности работы регуляторов. Понятие о нелинейных системах управления.	
2. Лабораторные занятия			
2.1	История развития и основные понятия теории управления системами.	Историческая справка о возникновении систем управления. Перспективы развития систем управления. Определение основных понятий и элементов системы управления. Основные структурные единицы и разновидности систем управления.	-----
2.2	Математическое описание систем управления. Передаточные функции.	Математические модели систем управления. Понятие о передаточных функциях. Преобразования Фурье и Лапласа. Амплитудно-частотные характеристики.	-----
2.3	Структурные схемы. Типовые звенья систем управления.	Понятие о структурных схемах систем управления. Типовые звенья систем управления и их основные характеристики.	-----

2.4	Устойчивость систем управления. Критерии устойчивости.	Понятие устойчивости системы управления. Критерий Рауса-Гурвица. Частотный критерий Михайлова. Амплитудно-фазо-частотный критерий Найквиста. Теоремы Ляпунова об устойчивости.	-----
2.5	Основные виды регуляторов систем управления. Линейные и нелинейные системы управления.	Виды регуляторов систем управления: П-, И-, ПИД-регуляторы. Основные особенности работы регуляторов. Понятие о нелинейных системах управления.	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1	История развития и основные понятия теории управления системами.	2		4	4	8	18
2	Математическое описание систем управления. Передаточные функции.	2		4	8	8	22
3	Структурные схемы. Типовые звенья систем управления.	2		4	10	10	26
4	Устойчивость систем управления. Критерии устойчивости.	2		4	10	6	22
5	Основные виды регуляторов систем управления. Линейные и нелинейные системы управления.	2		4	10	4	20
	Итого:	10		20	42	36	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В процессе освоения дисциплины студенты должны посетить лекционные и лабораторные занятия и сдать экзамен.

Указания для освоения теоретического и практического материала и сдачи экзамена:

1. Обязательное посещение лабораторных занятий по дисциплине с конспектированием излагаемого преподавателем материала в соответствии с расписанием занятий.
2. Получение в библиотеке рекомендованной учебной литературы и электронное копирование рабочей программы с методическими рекомендациями, конспекта лекций.

3. Копирование (электронное) перечня вопросов к экзамену по дисциплине, а также списка рекомендованной литературы из рабочей программы дисциплины.

4. При подготовке к лабораторным занятиям по дисциплине необходимо изучить рекомендованный преподавателем материал, иметь при себе конспекты соответствующих тем и необходимый справочный материал.

5. Рекомендуется следовать советам преподавателя, связанным с освоением предлагаемого материала, провести самостоятельный Интернет - поиск информации (видеофайлов, файлов-презентаций, файлов с учебными пособиями) по ключевым словам курса и ознакомиться с найденной информацией при подготовке к зачёту по дисциплине.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Певзнер, Леонид Давидович. Теория систем управления : [учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению подгот. 220400 - "Управление в технических системах"] / Л.Д. Певзнер .— Изд. 2-е, испр. и доп. — Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2013 .— 420 с. : ил., табл. — (Учебники для вузов. Специальная литература) .— Библиогр.: 412 .— Предм. указ.: 413-417 .— ISBN 978-5-8114-1566-3.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Певзнер, Леонид Давидович. Практикум по математическим основам теории систем : [учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению 220200 - "Автоматизация и управление"] / Л.Д. Певзнер .— Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2013 .— 399 с. : ил., табл. — (Учебники для вузов. Специальная литература) .— Библиогр.: с. 393 .— Указ.: с. 394-397 .— ISBN 978-5-8114-1411-6.
3	Черноусько, Феликс Леонидович. Методы управления нелинейными механическими системами / Ф.Л. Черноусько, И.М. Ананьевский, С.А. Решмин .— М. : Физматлит, 2006 .— 326 с. : ил .— Библиогр.: с.320-326 .— ISBN 5-9221-0678-3.
4	Пантелеев, Андрей Владимирович. Теория управления в примерах и задачах : [учебное пособие для студентов вузов] / А.В. Пантелеев, А.С. Бортакковский .— Москва : Высшая школа, 2003 .— (Прикладная математика для вузов) .— ISBN 5-06-004136-0.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
5	Теория автоматического управления (https://ru.wikipedia.org/wiki/Теория_автоматического_управления)
6	Основы теории управления (https://ikt.muctr.ru/novosti/10-ucheba/71-osnovy-teorii-upravleniya)

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

Данный курс направлен на формирование навыков математического моделирования сложных динамических систем с управлением обучающихся на основе ключевых компетенций, способствующих овладению опытом в сфере математического моделирования. В течение всего курса студенты получают презентации и лабораторные работы с описанием к выполнению, и применяют данный образец к своему заданию.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

Осуществляется интерактивная связь с преподавателем через сеть интернет, проводятся индивидуальные онлайн консультации.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Для проведения лабораторных занятий требуется аудитория-компьютерный класс на группу студентов, оборудованная маркерной и интерактивной доской, мультимедийным проектором с экраном, компьютер преподавателя и персональные компьютеры слушателей с подключением к Internet.

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	История развития и основные понятия теории управления системами.	ОПК-2	ОПК - 2.1 ОПК - 2.2	Промежуточная аттестация – экзамен, Лабораторная работа 1
2.	Математическое описание систем управления. Передаточные функции.	ОПК-2 ОПК-3	ОПК - 2.1 ОПК - 2.2 ОПК - 2.3 ОПК - 3.1 ОПК - 3.2 ОПК - 3.3	Промежуточная аттестация – экзамен, Лабораторная работа 2
3.	Структурные схемы. Типовые звенья систем управления.	ОПК-2 ОПК-3	ОПК - 2.1 ОПК - 2.2 ОПК - 2.3 ОПК - 3.1 ОПК - 3.2 ОПК - 3.3	Промежуточная аттестация – экзамен, Лабораторная работа 3
4.	Устойчивость систем управления. Критерии устойчивости.	ОПК-2 ОПК-3	ОПК - 2.1 ОПК - 2.2 ОПК - 2.3 ОПК - 3.1 ОПК - 3.2 ОПК - 3.3	Промежуточная аттестация – экзамен, Лабораторная работа 4
5	Основные виды регуляторов си-	ОПК-2 ОПК-3	ОПК - 2.1 ОПК - 2.2	Промежуточная аттестация – экзамен, Лабораторная работа 5

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	стем управления. Линейные и нелинейные системы управления.		ОПК - 2.3 ОПК - 3.1 ОПК - 3.2 ОПК - 3.3	
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Экзаменационные билет

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей (устный опрос и контрольная работа) и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в форме устного опроса и также выполнения контрольной работы. Кроме того, учитывается успешное выполнение индивидуальных лабораторных работ.

Лабораторная работа 1.

Цель работы состоит в решении аналитическим методом и с использованием метода преобразования Лапласа неоднородных дифференциальных уравнения первого и второго порядков и получении уравнения кривой разгона.

Кривая разгона является одной из основных динамических характеристик систем управления. Уравнение кривой разгона может быть получено экспериментальным путем (если это не противоречит функционированию исследуемого объекта) или путем решения дифференциального уравнения, которое описывает динамику объекта. Поведение систем автоматического регулирования (САР) в процессе функционирования представляет собой сочетание статических и динамических режимов. Для проведения теоретических исследований САР и её отдельных элементов необходимо иметь уравнения, описывающие их поведение при изменяющихся внешних воздействиях. Эти уравнения представляют собой выраженные в математической форме соотношения, связывающие входные и выходные сигналы и воздействия.

Лабораторная работа 2.

Целью работы является преобразование заданной структурной схемы и определении передаточной функции сложной автоматической системы.

Автоматические системы представляются не только в виде принципиальной и функциональной схемы, но и в виде структурной схемы. В каждой схеме вся система делится на звенья направленного действия, различающийся по своим динамическим свойствам. На структурной схеме звенья САУ изображаются в виде прямоугольника. При этом конкретное устройство автоматической системы может быть представлено несколькими звеньями, которые передают сигнал только в одном направлении – от выхода к входу, и, наоборот. Одно звено может объединить несколько конкретных устройств САУ. Разделяют САУ на звенья в зависимости от вида дифференциального уравнения или передаточной функции. Большинство реальных САУ имеют многоконтурные структуры с большим чис-

лом взаимосвязанных звеньев. Методы анализа и синтеза САУ, разработаны для одноконтурных систем, необходимо, привести заданную схему к одноконтурной. Предлагаемые структурные схемы САУ близки к реальным системам. Звенья, входящие в них, могут быть соединены между собой последовательно, параллельно или встречно-параллельно (сигнал направлен от входа к выходу, а сигнал обратной связи – от выхода к входу). Часто структурные схемы имеют перекрестные связи, которые вначале нужно устранить, используя правила эквивалентного преобразования. То есть схему необходимо привести к виду, где имеет место только последовательное, параллельное и встречно-параллельное соединение звеньев САУ. Под эквивалентным преобразованием понимают такое преобразование, при котором одна схема последовательно замещается другой с сохранением динамических характеристик системы.

Лабораторная работа 3.

Цель работы заключается в получении по известному дифференциальному уравнению передаточной функции объекта; по передаточной функции получить аналитические выражения для всех частотных характеристик объекта; построить графики частотных характеристик.

Частотные характеристики описывают передаточные свойства САУ и её элементов в режиме установившихся гармонических колебаний, вызванных внешним гармоническим воздействием. Зная частотные характеристики элемента или системы, можно определить их реакцию на гармонические воздействия различных частот. Частотные характеристики широко используются в теории и практике автоматического управления, что обусловлено следующими причинами:

- реально встречающиеся воздействия, как правило, могут быть представлены в виде суммы гармоник различных частот на основе преобразования Фурье;
- в установившемся режиме гармонические сигналы передаются линейными системами без искажения;
- не возникает затруднений в экспериментальном исследовании поведения систем при гармонических входных воздействиях.

Лабораторная работа 4.

Цель работы состоит в исследовании устойчивости заданной структурной схемы (разомкнутой или замкнутой системы); построить годограф Михайлова и сделать заключение об устойчивости объекта по критерию Михайлова; построить амплитудно-фазовую характеристику объекта без обратной связи и по критерию Найквиста оценить устойчивость замкнутой системы.

Понятие устойчивости является важнейшей качественной оценкой динамических свойств САУ. Под устойчивостью понимают способность системы восстанавливать исходное состояние равновесия после снятия внешнего возмущения.

Различают три типа систем:

- устойчивые системы, выведенные из состояния равновесия каким-либо внешним возмущением, после снятия этого возмущения возвращаются в исходное состояние равновесия;
- нейтральные системы после снятия возмущения приходят в состояние равновесия, отличное от исходного;

- неустойчивые системы, в них не устанавливается равновесие после снятия возмущения.

На практике для оценки устойчивости систем применяются алгебраический критерий Рауса-Гурвица; частотный критерий Михайлова; амплитудно-фазо-частотный критерий Найквиста.

Лабораторная работа 5.

Цель работы состоит в исследовании смесителя как объекта регулирования, выборе структуры системы регулирования и расчете оптимальных настроек, а также в оценке качества разработанной системы.

Математическое моделирование, т.е. выбор структуры системы автоматического регулирования и расчет оптимальных параметров регуляторов является важным этапом проектирования систем регулирования реальных технологических процессов. Объект регулирования характеризуется следующими группами параметров: X регулирующие воздействия; Y переменные, характеризующие состояние процесса; Z возмущения. В реальных условиях возникает задача стабилизации или регулирования Y посредством изменения X для компенсации Z . Анализ технологического процесса как объекта регулирования включает оценку статических и динамических его свойств по каждому каналу регулирования (т.е. канала от каждого управления и возмущения к каждому параметру состояния) с целью построения одноконтурных систем регулирования. Характеристикой канала регулирования является передаточная функция, т.е. отношение выходного и входного сигналов, преобразованных по Лапласу. При моделировании систем автоматического регулирования требуется выбрать структуру системы, т.е. определить канал регулирования и его передаточную функцию, и вторая задача: выбрать структуру регулятора и рассчитать числовые значения его параметров (настроек). На практике используются следующие типовые законы регулирования:

- пропорциональный (П);
- интегральный (И);
- пропорционально-интегральный (ПИ);
- пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД);

В теории автоматического регулирования разработаны методы расчета систем регулирования с учётом критериев качества, а также приближенные методы, например, метод Циглера-Никольса.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Промежуточная аттестация включает в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

1. Определение системы управления. Базовые элементы.
2. Структурные элементы системы управления.
3. Математические модели систем управления.
4. Передаточные функции.
5. Преобразования Лапласа и Фурье.
6. Передаточные функции и дифференциальные уравнения. Нули и полюса.
7. Положение полюсов на комплексной плоскости и свойства системы.

8. Структурные схемы систем управления.
9. Основные звенья систем управления.
10. Устойчивость систем управления.
11. Критерий устойчивости Рауса-Гурвица.
12. Частотный критерий Михайлова.
13. Амплитудно-фазо-частотный критерий Найквиста.
14. Задача синтеза управления. Типовые регуляторы.
15. Линейные и нелинейные системы управления.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<ul style="list-style-type: none"> - обучающийся полно усвоил учебный материал; - проявляет навыки анализа, обобщения, критического осмысления и восприятия информации; - материал изложен грамотно, в определенной логической последовательности, точно используется терминология; - показано умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами, применять их в новой ситуации; - обучающимся продемонстрирована сформированность и устойчивость компетенций, умений и навыков; - могут быть допущены одна–две неточности при освещении второстепенных вопросов. 	Пороговый уровень и выше порогового	отлично
<p>ответ удовлетворяет в основном требованиям на оценку «отлично», но при этом имеет место один из недостатков:</p> <ul style="list-style-type: none"> - в усвоении учебного материала допущены небольшие пробелы, не искажившие содержание ответа; 	Пороговый уровень	хорошо
<ul style="list-style-type: none"> - неполно или непоследовательно раскрыто содержание материала, но показано общее понимание вопроса и продемонстрированы умения, достаточные для дальнейшего усвоения материала; - имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии, описании математических законов, - при неполном знании теоретического материала выявлена недостаточная сформированность компетенций, умений и навыков, обучающийся не может применить теорию в новой ситуации. 	Ниже порогового и пороговый уровень	удовлетворительно
<ul style="list-style-type: none"> - не раскрыто основное содержание учебного материала; - обнаружено незнание или непонима- 	Ниже порогового уровня	неудовлетворительно

<p>ние большей или наиболее важной части учебного материала;</p> <ul style="list-style-type: none">- допущены ошибки в определении понятий, при использовании терминологии,- не сформированы компетенции, отсутствуют соответствующие знания, умения и навыки.		
---	--	--