

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Теория управления

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Математическое моделирование и вычислительная математика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.07 Теория управления относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-6: Способен изучать и применять программное обеспечение, проводить расчётные работы и выполнять обработку результатов исследований	ПК-6.1: Знает методы применения современных программных комплексов, пакетов прикладных программ и автоматизированных систем для решения прикладных задач при проведении исследований ПК-6.2: Умеет самостоятельно проводить расчётные работы, выбирать и применять современные программные комплексы, пакеты прикладных программ и автоматизированные системы, обрабатывать и анализировать полученные результаты ПК-6.3: Имеет практический опыт применения современного программного обеспечения для решения прикладных задач	ПК-6.1: Знает основные понятия теории устойчивости, современные методы исследования в области решения задач теории устойчивости. ПК-6.2: Умеет осуществлять анализ и выбор методов теории устойчивости к решению современных прикладных задач ПК-6.3: Имеет практический опыт применения базовых знаний и современного математического аппарата теории устойчивости при решении прикладных задач.	Контрольная работа	Экзамен: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	

аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	30
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	30
- КСР	2
самостоятельная работа	46
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
История развития теории устойчивости и качественной теории дифференциальных уравнений. Фазовое пространство и фазовые траектории	8	4	2	6	2
Устойчивость состояния равновесия (СР) автономных динамических систем (ДС), описываемых ОДУ n-го порядка. Уравнение возмущенного движения. Устойчивость по линейному приближению. Необходимый признак устойчивости. Критерии Рауса-Гурвица, Ляенара-Шипара и Эрмита-Гурвица, критерий Михайлова. Метод Д-разбиений. Понятие о робастной устойчивости.	20	5	5	10	10
Первый и второй методы А.М. Ляпунова. Теоремы Ляпунова по исследованию устойчивости по первому приближению СР. Функции Ляпунова. Теоремы второго метода Ляпунова. Область притяжения асимптотически устойчивого СР и примеры ее построения. Дополнения Барбашина-Красовского к теореме Ляпунова. Теоремы Ляпунова и Четаева о неустойчивости СР. Устойчивость левитации. Сравнение первого и второго метода.	32	8	10	18	14
Замкнутые фазовые траектории (ЗФТ) Устойчивость по Ляпунову и орбитная устойчивость. Автоколебания. Критерии отсутствия ЗФТ. Теоремы Дюлака и Бендиксона. Примеры автоколебательных систем.	24	7	7	14	10
Метод точечных отображений. Неподвижная точка и ее устойчивость. Диаграммы Ламерея и теорема Кенига. Кусочно-линейные системы и скользящие движения. Исследования динамики судна с релейным законом управления. Эволюционные уравнения с малым параметром при старшей производной. Устойчивые и неустойчивые «быстрые» и «медленные» движения. Разрывные автоколебания	22	6	6	12	10
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	144	30	30	62	46

Содержание разделов и тем дисциплины

1. История развития теории устойчивости и качественной теории дифференциальных уравнений. Фазовое пространство и фазовые траектории
2. Устойчивость состояния равновесия (СР) автономных динамических систем (ДС), описываемых ОДУ n -го порядка. Уравнение возмущенного движения. Устойчивость по линейному приближению. Необходимый признак устойчивости. Критерии Рауса-Гурвица, Ляпуна-Шипара и Эрмита-Гурвица, критерий Михайлова. Метод Д-разбиений. Понятие о робастной устойчивости.
3. Первый и второй методы А.М. Ляпунова. Теоремы Ляпунова по исследованию устойчивости по первому приближению СР. Функции Ляпунова. Теоремы второго метода Ляпунова. Область притяжения асимптотически устойчивого СР и примеры ее построения. Дополнения Барбашина-Красовского к теореме Ляпунова. Теоремы Ляпунова и Четаева о неустойчивости СР. Устойчивость левитации. Сравнение первого и второго метода.
4. Замкнутые фазовые траектории (ЗФТ) Устойчивость по Ляпунову и орбитная устойчивость. Автоколебания. Критерии отсутствия ЗФТ. Теоремы Дюлака и Бендиксона. Примеры автоколебательных систем.
5. Метод точечных отображений. Неподвижная точка и ее устойчивость. Диаграммы Ламерея и теорема Кенига. Кусочно-линейные системы и скользящие движения. Исследования динамики судна с релейным законом управления. Эволюционные уравнения с малым параметром при старшей производной. Устойчивые и неустойчивые «быстрые» и «медленные» движения. Разрывные автоколебания

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к промежуточному контролю успеваемости (экзамен).

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-6:

Контрольная работа №1

1. Назовите 10 ключевых слов по теории устойчивости движения.
2. Чем отличается асимптотическая устойчивость СР от устойчивости?

3. Сформулируйте теоремы Ляпунова его «прямого» метода.

Задачи

Исследовать устойчивость нулевого СР ДС:

$$\left\{ \dot{x} = e^x - e^{-3z}, \quad \dot{y} = 4z - 3 \sin(x+y) + 1 - \cos z, \quad \dot{z} = \ln(1+z-3x) + \sin(xyz) \right\}$$

2. Построить (для $0 < \mu \ll 1$) фазовые портреты ДС и исследовать возможность устойчивых разрывных предельных циклов для ДС $\mu \dot{x} = x(1-x^2) - y; \quad \dot{y} = x$. Является ли ДС автоколебательной?

Контрольная работа №2

1. Какова идея метода D-разбиений. Чему отвечает область D(κ)?
2. Как можно установить неустойчивость изолированного СР ДС?
3. В чем заключается процесс линеаризации уравнений относительно СР?

Задачи

1. Найти все СР ДС и исследовать их на устойчивость: $\dot{x} = \sqrt{x^2} + y - 5, \quad \dot{y} = y^2 - x - 7$
2. На плоскости параметров a и b выделите область $D(0)$ нулевого СР ДС:
 $a\ddot{x} + (a-b)\ddot{x} + a\dot{x}^2 + b\dot{x} + \sin x = 0$. Что будет на границе $D(0)$?

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-6

1. Определения устойчивости по Ляпунову и асимптотической устойчивости СР. Геометрическая интерпретация в пространстве Миньковского.
2. Процесс линеаризации уравнений ДС около изолированного СР. Подстановка Эйлера и характеристическое уравнение.
3. Классические теоремы Ляпунова его первого метода.
4. Критерии устойчивости. Построение области $D(0)$ в пространстве параметров ДС.
5. Метод Д-разбиений по одному комплексному или двум действительным параметрам. Робастная устойчивость.
6. Предельная ограниченность ДС. Теорема о предельной ограниченности.
7. Знакопеременные и знакопостоянные функции. Функции Ляпунова.
8. Формулировка и геометрическое доказательство теорем второго метода Ляпунова.
9. Методы построения функций Ляпунова. О построении области притяжения устойчивого СР.
10. Теорема Барбашина-Красовского. примеры.
11. Методы доказательства неустойчивости СР. Примеры.
12. Теорема Четаева. Примеры.
13. Сравнение первого и второго методов Ляпунова.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Горяченко Вадим Демьянович. Элементы теории колебаний : учеб. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2001. - 395 с. - ISBN 5-06-004166-2 : 80.85., 2 экз.
2. Горяченко Вадим Демьянович. Задачи по теории колебаний, устойчивости движения и качественной теории дифференциальных уравнений : учебное пособие. Ч. 1. Второй (прямой) метод А. М. Ляпунова / В. Д. Горяченко, А. Л. Пригоровский, В. М. Сандалов ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - 2-е изд., перераб. и доп. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2007. - 48 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=824708&idb=0>.
3. Горяченко Вадим Демьянович. Задачи по теории колебаний, устойчивости движения и качественной теории дифференциальных уравнений : учебно-методическое пособие. Ч. 2. Устойчивость в малом ; Критерии устойчивости ; Метод D-разбиений / В. Д. Горяченко, А. Л. Пригоровский, В. М. Сандалов ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - 2-е изд., перераб. и доп. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2009. - 30 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=849397&idb=0>.
4. Горяченко В. Д. Построение фазовых портретов динамических систем первого порядка. Бифуркации. Бифуркационные кривые : Учебно-методическое пособие. Ч. 3. Построение фазовых портретов динамических систем первого порядка. Бифуркации. Бифуркационные кривые / Горяченко В. Д., Пригоровский А. Л., Сандалов В. М. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2014. - 25 с. - Рекомендовано методической комиссией механико-математического факультета для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 010400 «Прикладная математика и информатика» 010800 «Механика и математическое моделирование». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из

коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Математика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730360&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Неймарк Юрий Исаакович. Математические модели в естествознании и технике : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению 510200 "Прикладная математика и информатика" и специальности 010200 "Прикладная математика и информатика" / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 2004. - 401 с. - ISBN 5-85746-496-X : 80.00., 156 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/ode.htm>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: проектор, экран

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.03.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Сандалов Владимир Михайлович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Игумнов Леонид Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.