**Приложение 2**

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 ученого совета ННГУ

протокол от

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_

**Рабочая программа дисциплины**

|  |
| --- |
| **КАЧЕСТВЕННО-ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ-2** |

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

|  |
| --- |
| **бакалавриат** |

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

|  |
| --- |
| **01.03.02 Прикладная математика и информатика** |

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

|  |
| --- |
| **Системный анализ, исследование операций и управление** |

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

|  |
| --- |
| **очно-заочная** |

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2020

1. **Место и цели дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина относится к части, формируемая участниками образовательных отношений.

Код дисциплины **Б1.В.ДВ.03.01** Качественно-численные методы исследования нелинейных динамических систем-2

Дисциплина Б1.B.ДВ.03.01, Качественно-численные методы исследования нелинейных динамических систем-2 относится к части ООП направления подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика, формируемой участниками образовательных отношений.

1. **Планируемые результаты обучения**

соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Формируемые компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине ), в соответствии с индикатором достижения компетенции** | | **Наименование оценочного средства** |
| **Индикатор достижения компетенции** | **Результаты обучения**  **по дисциплине** |
| ***УК-2.***  *Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений* | ***УК-2.1****. Знает необходимые для осуществления профессиональной деятельности фундаментальные основы используемой науки, а также соответствующие правовые нормы* | ***Знать*** *основные положения качественной теории динамических систем и теории бифуркаций, термины и подходы, применяемые для анализа поведения конкретных динамических объектов, включая такие понятия, как состояние, динамическая система, оператор эволюции, фазовое пространство, фазовые траектории, устойчивость, регулярные и хаотические аттракторы, автоколебания, области притяжения, фазовые и параметрические портреты движений, знать основные бифуркации нелинейных динамических систем и механизмы перехода к хаотическим режимам.* | *Собеседование* |
| ***УК-2.2.*** *Умеет определять круг задач в рамках избранных видов профессиональной деятельности, планировать собственную деятельность, исходя из имеющихся ресурсов;* ***с****оотносить главное и второстепенное, решать поставленные задачи в рамках избранных видов профессиональной деятельности* | ***Уметь*** *определять круг задач в рамках избранных видов профессиональной деятельности, планировать собственную деятельность, исходя из имеющихся ресурсов;* ***с****оотносить главное и второстепенное, решать поставленные задачи в рамках избранных видов профессиональной деятельности* | *Задача (практическое задание)* |
|  | ***УК-2.3.*** *Имеет практический опыт решения задач в области избранных видов профессиональной* | ***Владеть*** *основными методами и представлениями о технологии вычислительного эксперимента по исследованию динамики конкретных объектов и систем.* | *Задача (практическое задание)* |
| ***ПК-13.***  *Способен участвовать в исследовании математических моделей в естественных науках и технике* | ***ПК-13.1****. Знает методы создания, анализа и исследования математических моделей в естественных науках и технике*  ***ПК-13.3.*** *Умеет корректно использовать методы создания, анализа и исследования математических моделей, умеет применять численные и аналитические методы решения базовых математических задач и классических задач естествознания в практической деятельности* | ***Знать*** *методы, позволяющие анализировать процессы в системах различной природы.* | *Собеседование* |
|  | ***ПК-13.3.*** *Умеет корректно использовать методы создания, анализа и исследования математических моделей, умеет применять численные и аналитические методы решения базовых математических задач и классических задач естествознания в практической деятельности* | ***Уметь р****азрабатывать алгоритмы решения задач динамики.* | *Задача (практическое задание)* |
|  | ***ПК-13.4.*** *Владеет навыками использования математических методов обработки информации, полученной в результате экспериментальных исследований* | ***Владеть*** *навыками использования математических методов обработки информации, полученной в результате экспериментальных исследований* | *Задача (практическое задание)* |

1. **Структура и содержание дисциплины** 
   1. **Трудоемкость дисциплины**

|  |  |
| --- | --- |
| **Общая трудоемкость** | **2 ЗЕТ** |
| **Часов по учебному плану** | **72** |
| **в том числе** |  |
| **контактная работа:**  **- занятия лекционного типа**  **- занятия семинарского типа**  **- текущий контроль (КСР)** | **17**  **16**  **1** |
| **самостоятельная работа** | **55** |
| **Промежуточная аттестация – экзамен** |  |

* 1. **Содержание дисциплины**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине** | **Всего**  **(часы)** | в том числе | | | | |
| **контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы**  из них | | | | **Самостоятельная**  **работа, часы** |
| **Занятия лекционного типа** | **Занятия семинарского типа** | **Лабораторные работы** | **Всего**  **контактных часов** |
| Тема 1. Вынужденные колебания систем с нелинейной восстанавливающей силой. Уравнение Дуффинга. | 18 | 4 |  |  | 4 | 14 |
| Тема 2. Автоколебательные системы при периодическом внешнем воздействии. Явление захватывания. | 18 | 4 |  |  | 4 | 14 |
| Тема3. Параметрические колебания | 18 | 4 |  |  | 4 | 14 |
| Тема 4. Компьютерное моделирование динамики неавтономных нелинейных систем. | 17 | 4 |  |  | 4 | 13 |
| Текущий контроль | 1 |  |  |  | 1 |  |
| **Итоговая аттестация. Зачет.** |  |  |  |  |  |  |
| **Итого** | **72** |  |  |  | **17** | **55** |

Текущий контроль успеваемости реализуется в форме опросов на занятиях семинарского типа. Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (зачет)

* 1. **Содержание разделов дисциплины**

1. Введение. Вынужденные колебания систем с нелинейной восстанавливающей силой. Уравнение Дуффинга.

1.1 Краткая характеристика курса, его структура и задачи. Характеристика литературных источников. Роль качественных и численных методов при исследовании динамических систем (ДС). ДС и их классификация. Типы колебаний ДС. Вынужденные колебания линейных систем с одной степенью свободы.

1.2. Постановка задач для анализа гармонических колебаний.

1.3. Применение метода Ван-дер-Поля.

1.3. Построение резонансных кривых. Анализ устойчивости периодических движений.

1.4. О методе Пуанкаре для неавтономных систем.

1.5. Субгармонические колебания. Действие двух гармонических сил.

2. Автоколебательные системы при периодическом внешнем воздействии. Явление захватывания.

2.1. Постановка задачи.

2.2. Построение «резонансных» кривых.

2.3. Устойчивость гармонических колебаний.

2.4. Явление захватывания.

2.5. Анализ движения при больших значениях расстройки.

3. Параметрические колебания.

3.1. Физические примеры.

3.2. Теория Флоке. Устойчивость. Параметрический резонанс.

3.3. Системы второго порядка.

3.4. Параметрические колебания маятника при скачкообразном изменении его длины.

3.5. Обращенный маятник с вибрирующей точкой подвеса.

3.6. Границы областей параметрического резонанса для уравнения Матьё.

3.7. Влияние нелинейности на ограничение параметрических колебаний.

4. Компьютерное моделирование в исследовании неавтономных динамических систем.

4.1. Понятие о качественно-численном исследовании конкретных неавтономных динамических систем.

4.2. Алгоритмы и приемы численного исследования неавтономных ДС.

4.3. Алгоритмы и приемы численного исследования границ .

1. **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Наполнение объема часов самостоятельной работы обучающихся предусмотрено в виде обработки и осмысления информации, полученной в ходе лекционных занятий, а также в виде выполнения заданий для индивидуальной и самостоятельной работы, подготовки к контрольной работе и к экзамену. Самостоятельная работа может происходить как в читальном зале библиотеки, так и в домашних условиях.

Текущий контроль самостоятельной работы осуществляется в виде оценки успешности выполнения этих заданий.

**Тематика самостоятельной работы**

1. Неавтономные динамические системы первого порядка.

2. Неавтономные динамические системы второго порядка.

3. Алгоритмы и приемы численного исследования существования и устойчивости неподвижных точек точечного отображения конкретных неавтономных ДС.

1. **Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:**
   1. **Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)** | **Шкала оценивания сформированности компетенций** | | | | | | | |
| **плохо** | **неудовлетворительно** | **удовлетворительно** | **хорошо** | **очень хорошо** | **отлично** | | **превосходно** |
| Не зачтено | | Зачтено | | | | | |
| Знания | Отсутствие знаний теоретическогоматериала.  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 ошибки. | 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, без ошибок. | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. | |
| Умения | Отсутствие минималь­ных умений. Невозмож­ность оценить наличие умений вследствие отказа обучающего­ся от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки. | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущест­венными  недочетами, выполнены все задания в полном объеме. | Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов | |
| Навыки | Отсутствие владения материалом. 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. | Продемонст­рированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. | Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач. | |

**Шкала оценки при промежуточной аттестации**

|  |  |
| --- | --- |
| **Оценка** | **Уровень подготовки** |
| зачтено | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно» |
| Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» |
| Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» |
| Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» |
| 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 | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» |
| Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

**Критерии оценок за выполнение практических заданий**

**(каждое задание оценивается в 1 балл)**

|  |  |
| --- | --- |
| Практическое задание выполнено в полном объеме | 1  «отлично» |
| Практическое задание выполнено в полном объеме с некоторыми погрешностями | 0,75  «хорошо» |
| Практическое задание выполнено не в полном объеме с погрешностями | 0,5  «удовлетворительно» |
| Практическое задание не выполнено | 0  «неудовлетворительно |

**Критерии оценок за письменный опрос**

|  |  |
| --- | --- |
| Правильные ответы в % | Оценка |
| 90-100 | «отлично» |
| 70-89 | «хорошо» |
| 50-69% | «удовлетворительно» |
| менее 50 | «неудовлетворительно» |

* 1. **Типовые контрольные задания** для оценки результатов обучения, характеризующих

этапы формирования компетенций, и контроля сформированности компетенций.

**5.2.1. Контрольные вопросы**

|  |  |
| --- | --- |
| **Вопрос** | **Код компетенции** |
| 1. Понятие устойчивости движения. Анализ локальной устойчивости состояний равновесия динамических систем. | УК-2, ПК-13 |
| 2. Исследование устойчивости состояний равновесия с использованием метода функций Ляпунова. | УК-2 |
| 3. Динамические системы первого порядка. | УК-2 |
| 4. Типы состояний равновесия в двумерных динамических системах. Разбиение плоскости параметров характеристического уравнения по типу его корней. | УК-2 |
| 5. Устойчивость периодических движений динамических систем второго порядка. | УК-2, ПК-13 |
| 6. Метод точечных преобразований при исследовании периодических режимов динамических систем. Неподвижные точки точечного отображения автономных и неавтономных динамических систем. | УК-2 |
| 7. Точечные отображения, порождаемые фазовыми траекториями сшитой динамической системы. Символическая модель возможных периодических движений. | УК-2 |
| 8. Бифуркационные границы (С-бифуркационные границы) существования точечных отображений в усеченных по фозовым координатам фазовых пространствах. | УК-2, ПК-13 |
| 9. Приемы исследования динамических систем второго порядка: критерий отсутствия предельных циклов, циклы без контакта, поворот векторного поля | УК-2, ПК-13 |
| 10. Динамические системы с ударными взаимодействиями (виброударные системы). | УК-2, ПК-13 |
| 11. Аналитические условия (критерии) основных С-бифуркационных переходов. | УК-2, ПК-13 |
| 12. Бифуркация удвоения периода. | УК-2, ПК-13 |
| 13. Рождение субгармонических движений порядка 1/m. | УК-2, ПК-13 |
| 14. Применение метода точечных преобразований для исследования потери устойчивости из-за излома нелинейной характеристики динамической системы. | УК-2 |
| 15. Потеря устойчивости периодических движений динамических систем при возникновении соударений элементов динамической системы. | УК-2 |
| 16. Применение метода точечных отображений для исследования динамики систем с трением наследственного типа. | УК-2, ПК-13 |
| 17. Устойчивость неподвижной точки отображения Пуанкаре. Границы. | УК-2 |

**5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции** (для оценки компетенций УК-2, ПК-13)

Практическое задание №1

Тема**:** «Решение задач нахождения состояний равновесия и исследования их устойчивости в конкретных нелинейных динамических системах»

Задание состоит в исследовании состояний равновесия конкретных динамических систем второго и третьего порядка.

Цель задания:

Нахождение числа состояний равновесия, определение их координат и областей существования в пространстве параметров с применением критерия Рауса–Гурвица и определении характера состояний равновесия.

Практическое задание №2

Тема**:** «Решение задач исследования поведения конкретных нелинейных динамических систем на границах областей устойчивости»

Задание состоит в определении порога бифуркации Андронова–Хопфа в конкретных динамических системах второго порядка.

Цель задания:

Определение границы области устойчивости состояния равновесия исследуемой системы, вычисление первой ляпуновской величины и выяснении характера границы области устойчивости («опасная» или «безопасная»).

Практическое задание №3

Тема**:** «Решение задач отыскания неподвижных точек и их бифуркаций в конкретных одномерных и двумерных отображениях»

Задание состоит в исследовании конкретных одномерных и двумерных отображений.

Цель задания:

Для конкретных отображений найти неподвижные точки, определить их устойчивость и исследовать бифуркации.

Практическое задание № 4

Тема**:** «Построение фазовых портретов нелинейных консервативных динамических систем»

Задание состоит в построении фазовых портретов конкретных нелинейных консервативных осцилляторов.

Цель задания:

Для конкретных моделей нелинейных консервативных систем найти потенциальную функцию, уравнение интегральных кривых и построить фазовый портрет.

**5.2.3. Перечень вопросов для письменного опроса**

(для оценки компетенции УК-2)

1. Определение динамической системы.

2. Понятие состояния и пространства состояний динамических систем.

3. Понятие эволюционного оператора и фазовой траектории.

4. Основные классы динамических систем.

5. Понятие аттрактора динамической системы.

6. Дайте определение области притяжения аттрактора.

7. Типы аттракторов двумерных динамических систем.

8. Понятие бифуркации динамических систем.

9. Понятие устойчивости движения. Определение устойчивости по Ляпунову. Понятие асимптотической устойчивости, орбитной устойчивости, устойчивости по Пуассону.

10. Как проводится локальный анализ устойчивости состояний равновесия?

11. Теорема Гробана-Хартмана. Понятие топологической эквивалентности динамических систем.

12. Теорема Ляпунова об устойчивости состояния равновесия по первому приближению. Устойчивость состояний равновесия «в большом» и «в целом».

13. Критерий устойчивости Рауса-Гурвица.

14. Исследование устойчивости состояний равновесия с использованием метода функций Ляпунова.

15. Типы состояний равновесия в динамических системах второго порядка. Диаграмма разбиения плоскости корней характеристического уравнения на области с различным типом состояний равновесия в динамических системах второго порядка.

16. Особенности фазового пространства виброударных систтем.

17. Метод точечных преобразований для исследования предельных циклов двумерных динамических систем.

18. Теорема Кенигса об устойчивости неподвижной точки точечного преобразования отрезка без контакта в себя. Диаграмма Ламерея.

19. Бифуркационные границы устойчивости динамических систем с соударениями.

20. Дайте определение ляпуновского характеристического показателя.

21. Понятие грубости динамических систем. Негрубые траектории в динамических системах второго порядка. Перечислите простейшие бифуркации в динамических системах второго порядка.

22. Понятие параметрического резонанса.

**5.2.4. Задачи для оценки компетенции «УК-2, ПК-13»:**

**Задача 1.** Построить фазовый портрет системы  в зависимости от параметра β.

**Задача 2.** Для динамической системы  получить систему, линеаризованную в малой окрестности состояния равновесия:

**6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. Баутин Н.Н., Леонтович Е.А. Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости. М.: Наука, 1976, 1990,- 496 с. (31 экз.)

2. Некоркин В.И. Лекции по основам теории колебаний. Учебное пособие. – Нижний Новгород: Издательство Нижегородского госуниверситета, 2012. – 311 с. (34 экз.)

3. Горяченко В.Д. Элементы теории колебаний: Учебное пособие. – Красноярск: изд-во Красноярского университета, 1995. 430 с. (45 экз.)

б) дополнительная литература:

1. Неймарк Ю.И. Динамические системы и управляемые процессы. М.: Наука, 1976. 336 с.(37 экз.)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1.  Фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ, URL:

<http://www.unn.ru/books/resources.html>.. –

2. Электронная библиотечная система «Издательство Лань», 2016, [URL:режим](../../../AppData/Roaming/AppData/Roaming/Microsoft/Word/режим) доступа

[https://e.lanbook.com](https://e.lanbook.com/search?query=Дифференциальные+уровнения)

3. Научная электронная библиотека свободный доступ.

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

**7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

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 ВО ННГУ с учетом рекомендаций ООП ВО по направлению подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

Автор\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.С. Метрикин

Рецензент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ М.В.Иванченко

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики

от 24.02.2021 года, протокол № 5