

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
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
от 30.11.2022 г. протокол № 13

Рабочая программа дисциплины

Приближенные методы исследования динамических систем

(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

Математическое моделирование и вычислительная математика

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к факультативной части ООП.

Код дисциплины ФТД.01.

| № варианта | Место дисциплины в учебном плане образовательной программы | Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД |
|------------|--|--|
| 1 | ФТД. Факультативы | Дисциплина ФТД.01 «Приближенные методы исследования динамических систем» является факультативом в ООП направления подготовки 01.3.02 «Прикладная математика и информатика» |

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** | |
| ПК-5. Способен проектировать программное обеспечение | ПК-5.1. Знает типовые решения, библиотеки программных модулей, шаблоны, классы объектов, используемые при разработке программного обеспечения ПК-5.2. Знает методы и средства проектирования программного обеспечения ПК-5.3. Знает методы и средства проектирования баз данных | <i>Знает основные методы интегрирования наиболее часто встречающихся в теории дифференциальных уравнений и ее приложениях типов обыкновенных дифференциальных уравнений.</i> | <i>Задача (практическое задание)</i> |
| | ПК-5.4. Умеет использовать существующие типовые решения и шаблоны проектирования программного обеспечения | <i>Умеет интегрировать типовые дифференциальные уравнения первого порядка; находить общее решение линейного однородного уравнения с постоянными коэффициентами; интегрировать линейное неоднородное уравнение с постоянными коэффициентами.</i> | <i>Задача (практическое задание)</i> |
| | ПК-5.5. Умеет применять методы и средства проектирования программного обеспечения, структур данных, баз данных | <i>Владеет навыками интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений, навыками работы в математическом пакете Maple.</i> | <i>Задача (практическое задание)</i> |

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|-----------------------------|
| | Очная форма обучения |
| Общая трудоемкость | 1 ЗЕТ |
| Часов по учебному плану | 36 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | 33 |
| - занятия лекционного типа | 16 |
| - занятия семинарского типа | 16 |
| - занятия лабораторного типа | 0 |
| - текущий контроль (КСР) | 1 |
| самостоятельная работа | 3 |
| Промежуточная аттестация – зачет | |

3.2. Содержание дисциплины

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины | Всего (часы) | В том числе | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
|---|--------------|---|---------------------------|----------------------------|-----------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы. Из них | | | | |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Занятия лабораторного типа | Всего | |
| Введение Сущность приближенных методов и их связь с другими методами исследований | 2 | 1 | 1 | | 2 | |
| Применение методов теории размерности для нормализации уравнений и введения в них малого параметра Основные понятия теории размерности. Нормализация уравнений движения динамических систем. Варианты введения малого параметра при нормализации уравнений. О степенных разложениях по малому параметру, | 7 | 3 | 3 | | 6 | 1 |
| Исследование регулярно возмущенных уравнений Метод малого параметра Пуанкаре. Метод Пуанкаре Линдстедта для отыскания периодических решений. Асимптотическое разделение движений (метод усреднения). О линеаризации уравнений движения нелинейных динамических систем. Гармоническое приближение. Метод гармонической линеаризации | 9 | 4 | 4 | | 8 | 1 |
| Исследование сингулярно возмущенных уравнений Теорема Тихонова. Физический маятник в вязкой среде. Релаксационные колебания лампового генератора. Построение асимптотических разложений | 9 | 4 | 4 | | 8 | 1 |
| Разделение движений в системах с разрывными характеристиками Доопределение решения в точке разрыва. Пример: Релейное управление угловым движением космического аппарата. Скользящий режим. Релаксационные колебания маятника Фруда. | 8 | 4 | 4 | | 8 | |
| Текущий контроль (КСР) | 1 | | | | 1 | |
| Промежуточная аттестация – зачет | | | | | | |
| Итого | 36 | 16 | 16 | | 33 | 3 |

Текущий контроль успеваемости реализуется в формах опросов на занятиях семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (зачет).

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Наполнение объема часов самостоятельной работы обучающихся предусмотрено в виде обработки и осмысления информации, полученной в ходе лекционных занятий, подготовки к практическим занятиям, а также в виде выполнения заданий для индивидуальной и самостоятельной работы, подготовки к контрольной работе и к зачету. 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.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

4. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. 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 | | | |
| <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 незначительных ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. | 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. | 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 незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. | Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |

| | | | | | | | |
|---------------|--|---|--|---|---|---|--|
| <u>Навыки</u> | 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 | Превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно» |
| | Отлично | 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» |
| | Очень хорошо | 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» |
| | 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» |
| | 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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» |
| | Плохо | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1 Контрольные вопросы

| вопросы | Код формируемой компетенции |
|--|-----------------------------|
| 1. Основные понятия теории размерности. | ПК-5 |
| 2. Применение методов теории размерности для нормализации уравнений и введения в них малого параметра. | ПК-5 |
| 3. Варианты введения малого параметра при нормализации уравнений. О степенных разложениях по малому параметру. | ПК-5 |
| 4. Метод малого параметра Пуанкаре. Теорема Пуанкаре. | ПК-5 |
| 5. Примеры применения теоремы Пуанкаре в методе малого параметра. | ПК-5 |
| 6. Метод Пуанкаре – Линдстедта для отыскания периодических решений. Теорема Пуанкаре. | ПК-5 |
| 7. Алгоритм отыскания периодических решений методом Линдстедта – Пуанкаре. | ПК-5 |

| | |
|---|--------------|
| 8. Примеры применения метода Линдстедта – Пуанкаре для нахождения периодических движений конкретных систем, в том числе <ul style="list-style-type: none"> • диссипативных систем • автоколебательных систем • консервативных систем | <i>ПК-13</i> |
| 9. Метод Ван-дер-Поля. Разделение движений на быстрые и медленные. | ПК-5 |
| 10. Примеры применения метода Ван-дер-Поля к исследованию динамических систем: <ul style="list-style-type: none"> • диссипативных • автоколебательных • консервативных | ПК-5 |
| 11. Исследование с помощью метода Ван-дер-Поля динамики осцилляторов с линейным, квадратичным и кубическим законами трения. | ПК-5 |
| 12. Исследование методом Ван-дер-Поля динамики лампового генератора | ПК-5 |
| 13. Маятник с вибрирующей точкой подвеса. Уравнения движения | ПК-5 |
| 14. Маятник с вибрирующей точкой подвеса. Приведение уравнения колебаний к стандартной форме | ПК-5 |
| 15. Маятник с вибрирующей точкой подвеса. Построение первого приближения | ПК-5 |
| 16. Асимптотическое разделение движений для случая одной быстрой переменной. Построение высших приближений | ПК-5 |
| 17. Эквивалентная линеаризация нелинейных колебательных систем | ПК-5 |
| 18. Определение периода колебаний консервативных систем | ПК-5 |
| 19. Метод прямой линеаризации нелинейных уравнений движения | ПК-5 |
| 20. Метод оптимальной линеаризации нелинейных уравнений движения | ПК-5 |
| 21. Гармоническое приближение для нелинейных уравнений колебательных систем | ПК-5 |
| 22. Исходные положения метода гармонической линеаризации | ПК-5 |
| 23. Алгоритм вычислений коэффициентов гармонической линеаризации | ПК-5 |
| 24. Об устойчивости периодических решений, найденных методом гармонической линеаризации | ПК-5 |
| 25. Применение метода гармонической линеаризации к задаче о стабилизации вращения несбалансированного ротора | ПК-5 |
| 26. Применение метода гармонической линеаризации к исследованию автоколебаний в одной из следящих систем | ПК-5 |
| 27. О разделении движений в сингулярно возмущенных уравнениях. Пограничный слой | ПК-5 |
| 28. Теорема Тихонова для сингулярно возмущенных уравнений | ПК-5 |
| 29. Физический маятник в вязкой среде (сингулярный случай). | ПК-5 |
| 30. Релаксационные колебания лампового генератора | ПК-5 |
| 31. Построение асимптотических разложений для сингулярно возмущенных уравнений | ПК-5 |
| 32. Проблема разделения движений в системах с разрывными характеристиками. Доопределение решения в точке разрыва | ПК-5 |
| 33. Релаксационные колебания маятника Фроуда | ПК-5 |

5.2.2. Задания (оценочные средства), выносимые на зачет для оценки компетенции «ПК-5»

Задание 1

Используя метод Пуанкаре найти приближенное решение уравнения

$$\ddot{x} + \mu(\dot{x}^3 - \dot{x}) + x - \mu x^3 = m$$

Задание 2

Найти методом Линдстедта-Пуанкаре периодическое решение уравнения

$$\ddot{x} + \mu(a \dot{x}^3 + b \dot{x}) + x + \mu c x^3 = m$$

и выяснить, при каких условиях оно существует и является устойчивым.

Задание 3

Представить на фазовой плоскости «портрет» системы

$$\ddot{x} + \mu(x^4 - 3x^2 + 1)\dot{x} + x = 0$$

после ее эквивалентной линеаризации

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Алдошин Г. Т. Теория линейных и нелинейных колебаний: учебное пособие. 2-е изд., стер. - СПб.: Издательство: "Лань", 2013.- 320 с. (доступно в ЭБС «Лань», режим доступа: https://e.lanbook.com/book/4640#book_name).
2. Горяченко В. Д. - Элементы теории колебаний: учеб. пособие для студентов вузов. - Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1995. - 430 с (384 экз.).
3. Дьяконов В.П. Maple 10/11/12/13/14 в математических расчетах.- Издательство "ДМК Пресс", 2011.- 800 с. (доступно в ЭБС «Лань», режим доступа: https://e.lanbook.com/book/3034#book_name).

б) дополнительная литература:

1. Стрелков, С.П. Введение в теорию колебаний. [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2005. — 440 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/603>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Математический пакет Maple (лицензия)

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 ННГУ.

Используется следующее лицензионное программное обеспечение:

1. Операционные системы семейства Microsoft Windows, – лицензия по подписке Microsoft Imagine;

2. Математический пакет Maple, – лицензионное ПО приобретено в 2006/2007 гг при выполнении нац. проекта «Образование», бессрочная лицензия, ключ у системного администратора.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ 01.03.02 Прикладная математика и информатика.

Автор _____ Никифорова И.В.

Рецензент _____

Заведующий кафедрой ПМ _____ Иванченко М.В.

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

от 30.11.2022 года, протокол № 3.