

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
президиумом Ученого совета ННГУ
протокол от
«14» декабря 2021 г. № 4

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
Прикладная математика и информатика (общий профиль)
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения
Очная
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2022 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
3	ФТД. Факультативы	Дисциплина ФТД.01 «Приближенные методы исследования динамических систем» является факультативом в ООП направления подготовки 01.03.02 «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-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-13.2.: Знает математические методы обработки информации, полученной в результате экспериментальных исследований	Знает основные методы интегрирования наиболее часто встречающихся в теории дифференциальных уравнений и ее приложениях типов обыкновенных дифференциальных уравнений.	Задача (практическое задание)
	ПК-13.3.: Умеет корректно использовать методы создания, анализа и исследования математических моделей, умеет применять численные и аналитические методы решения базовых математических задач	Умеет интегрировать типовые дифференциальные уравнения первого порядка; находить общее решение линейного однородного уравнения с постоянными коэффициентами; интегрировать линейное неоднородное уравнение с постоянными коэффициентами.	Задача (практическое задание)

	<i>и классических задач естествознания в практической деятельности</i>		
	<i>ПК-13.4.: Владеет навыками использования математических методов обработки информации, полученной в результате экспериментальных исследований</i>	<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	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
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	39
Промежуточная аттестация – зачет	

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание 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	Занятия лабораторного типа	Всего	
Введение Сущность приближенных методов и их связь с другими методами исследований	4	1	1		2	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,	16	3	3		6	10

Исследование регулярно возмущенных уравнений Метод малого параметра Пуанкаре. Метод Пуанкаре Линдштедта для отыскания периодических решений. Асимптотическое разделение движений (метод усреднения). О линеаризации уравнений движения нелинейных динамических систем. Гармоническое приближение. Метод гармонической линеаризации	17	4	4		8	9
Исследование сингулярно возмущенных уравнений Теорема Тихонова. Физический маятник в вязкой среде. Релаксационные колебания лампового генератора. Построение асимптотических разложений	17	4	4		8	9
Разделение движений в системах с разрывными характеристиками Доопределение решения в точке разрыва. Пример: Релейное управление угловым движением космического аппарата. Скользящий режим. Релаксационные колебания маятника Фроуда.	17	4	4		8	9
Текущий контроль (КСР)	1				1	
Промежуточная аттестация – зачет						
Итого	72	16	16		33	39

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

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (зачет).

4. 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.

5. 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 полностью	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки,	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	ошибки.	ошибки.	негрубых ошибок	несущественных ошибок	без ошибок.	
<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 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 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.	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 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-13
2. Применение методов теории размерности для нормализации уравнений и введения в них малого параметра.	ПК-13
3. Варианты введения малого параметра при нормализации уравнений. О степенных разложениях по малому параметру.	ПК-13
4. Метод малого параметра Пуанкаре. Теорема Пуанкаре.	ПК-13
5. Примеры применения теоремы Пуанкаре в методе малого параметра.	ПК-13
6. Метод Пуанкаре – Линдstedта для отыскания периодических решений. Теорема Пуанкаре.	ПК-13
7. Алгоритм отыскания периодических решений методом Линдstedта – Пуанкаре.	ПК-13
8. Примеры применения метода Линдstedта – Пуанкаре для нахождения периодических движений конкретных систем, в том числе <ul style="list-style-type: none"> • диссипативных систем • автоколебательных систем • консервативных систем 	ПК-13
9. Метод Ван-дер-Поля. Разделение движений на быстрые и медленные.	ПК-13
10. Примеры применения метода Ван-дер-Поля к исследованию динамических систем: <ul style="list-style-type: none"> • диссипативных • автоколебательных • консервативных 	ПК-13
11. Исследование с помощью метода Ван-дер-Поля динамики осцилляторов с линейным, квадратичным и кубическим законами трения.	ПК-13
12. Исследование методом Ван-дер-Поля динамики лампового генератора	ПК-13
13. Маятник с вибрирующей точкой подвеса. Уравнения движения	ПК-13
14. Маятник с вибрирующей точкой подвеса. Приведение уравнения колебаний к стандартной форме	ПК-13
15. Маятник с вибрирующей точкой подвеса. Построение первого приближения	ПК-13
16. Асимптотическое разделение движений для случая одной быстрой переменной. Построение высших приближений	ПК-13
17. Эквивалентная линеаризация нелинейных колебательных систем	ПК-13
18. Определение периода колебаний консервативных систем	ПК-13
19. Метод прямой линеаризации нелинейных уравнений движения	ПК-13
20. Метод оптимальной линеаризации нелинейных уравнений движения	ПК-13
21. Гармоническое приближение для нелинейных уравнений колебательных систем	ПК-13
22. Исходные положения метода гармонической линеаризации	ПК-13

23. Алгоритм вычислений коэффициентов гармонической линеаризации	ПК-13
24. Об устойчивости периодических решений, найденных методом гармонической линеаризации	ПК-13
25. Применение метода гармонической линеаризации к задаче о стабилизации вращения несбалансированного ротора	ПК-13
26. Применение метода гармонической линеаризации к исследованию автоколебаний в одной из следящих систем	ПК-13
27. О разделении движений в сингулярно возмущенных уравнениях. Пограничный слой	ПК-13
28. Теорема Тихонова для сингулярно возмущенных уравнений	ПК-13
29. Физический маятник в вязкой среде (сингулярный случай).	ПК-13
30. Релаксационные колебания лампового генератора	ПК-13
31. Построение асимптотических разложений для сингулярно возмущенных уравнений	ПК-13
32. Проблема разделения движений в системах с разрывными характеристиками. Доопределение решения в точке разрыва	ПК-13
33. Релаксационные колебания маятника Фроуда	ПК-13

5.2.2. Задания (оценочные средства), выносимые на зачет для оценки компетенции «ПК-13»

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 Линдштедта-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 MicrosoftImagine;
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: к.ф.-м.н., доцент кафедры ПМ Никифорова И.В.

Рецензент: д.т.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева Ломакина Л.С.

Заведующий кафедрой ПМ: д.ф.-м.н. Иванченко М.В.

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

от 1 декабря 2021 года, протокол № 2.