

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
от 30.11.2022 г. протокол № 13

Рабочая программа дисциплины

Численные методы исследования динамических систем с помощью пакета Matlab

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки
01.03.02 Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы
Математическое моделирование и вычислительная математика

Форма обучения
очная

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

Код дисциплины Б1.В.ДВ.08.02 «Численные методы исследования динамических систем с помощью пакета Matlab»

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.08.02 «Численные методы исследования динамических систем с помощью пакета Matlab» относится к части ООП направления подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика», формируемой участниками образовательных отношений.

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-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	Знать: – основные факты из математического анализа, геометрии и алгебры, теории обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений математической физики, и других математических дисциплин, на которые опирается изучение численных методов исследования динамических систем. – дополнительные принципы, факты, понятия и методы из предметной области.	Собеседование
	ПК-6.2. Умеет самостоятельно проводить расчётные работы, выбирать и применять современные программные комплексы, пакеты прикладных программ и автоматизированные системы,	Знать: – основные принципы, факты, понятия, аналитические и численные методы, изучаемые в дисциплине: ▪ постановку задачи численного исследования динамических систем; ▪ область применения численных методов исследования динамических систем. – методы обработки экспериментальных данных.	Собеседование

	обрабатывать и анализировать полученные результаты		
	ПК-6.3. Имеет практический опыт применения современного программного обеспечения для решения прикладных задач	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - решать задачи исследования динамических систем с помощью применения численных методов: <ul style="list-style-type: none"> ▪ анализировать работу алгоритмов, оценить точность их работы, выявить возможности и ограничения алгоритмов; ▪ сравнить работу различных алгоритмов; ▪ оценить эффективность решения на конкретных примерах; ▪ подобрать алгоритм для решения поставленной задачи. - доказывать ранее изученные в рамках дисциплины математические утверждения; - решать математические задачи и проблемы теории численных методов исследования динамических систем, аналогичные ранее изученным, но более высокого уровня сложности; -- решать математические задачи, которые требуют некоторой оригинальности мышления. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – математическим пакетом MatLab для решения возникающих задач. 	<p>Дискуссия</p> <p>Задача (практическое задание)</p>

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	Всего	В том числе
--	-------	-------------

тем дисциплины	(часы)	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы. Из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Постановка задачи численного исследования динамических систем	11	3	3		6	5
2. Классификация динамических систем по типу времени, размерности, наличию симметрий, инвариантов. Численные методы построения отображения Пуанкаре для потоковых систем.	10	1	3		4	6
3. Анализ локальных бифуркаций. Численные методы поиска периодических орбит, их продолжение по параметру. Численные методы исследования глобальных бифуркаций, анализ поведения инвариантных многообразий седловых состояний равновесия и периодических орбит.	13	2	3		5	8
4. Двухпараметрический анализ динамических систем с помощью применения методов построения карт периодических режимов, показателей Ляпунова, средней дивергенции.	20	6	4		10	10
5. Исследования типичных сценариев возникновения хаоса в динамических системах. Классификация хаотических режимов.	17	4	3		7	10
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

Самостоятельная работа заключается в ознакомлении с теоретическим материалом по учебникам и монографиям, указанным в списке литературы, подготовке теоретических и практических заданий к семинарам. Отдельные вопросы программы, включены как дополнительные, излагаемые в виде обзора и выносятся на самостоятельную проработку студентов, обсуждаются на семинарских занятиях.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов опирается на рекомендуемую учебную литературу и интернет-источники, которые отражены в разд. 6.

Методические материалы для самостоятельной работы по темам семинаров могут включать использование источников, доступных в библиотеке ННГУ: Кузнецов А. П. и др. «Бифуркации отображений» / Учебно-научное издание – Саратов: ООО Издательский центр «Наука», 2012, 196 с. (21 экз); Кузнецов С. П. Динамический хаос //М.: Физматлит. – 2001. – Т. 296. – С. 10. (10 экз.).

Контроль самостоятельной работы – по итогам проведения опросов по теории, по итогам выступлений на дискуссиях, выполнения практических 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 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.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с	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 незначительными недочетами, выполнены все задания в полном	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

			объеме.	недочетами.		объеме.	
<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 для зачета

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1. Основные бифуркации состояний равновесия потоковых систем	ПК-6
2. Седло-узловая бифуркация	ПК-6
3. Бифуркация сложного узла, сложного седла	ПК-6

4. Бифуркация Андронова-Хопфа (мягкая и жесткая потери устойчивости)	ПК-6
5. Основные локальные бифуркации неподвижных точек отображений	ПК-6
6. Седло-узловая (касательная бифуркация)	ПК-6
7. Бифуркация вилка	ПК-6
8. Бифуркация Неймарка-Сакера	ПК-6
9. Треугольник устойчивости	ПК-6
10. Нелокальные бифуркации в потоковых системах	ПК-6
11. Теорема Шильникова о сложной структуре в окрестности петли седло-фокуса	ПК-6
12. Гомоклинические пересечения и касания. Гомоклиническая структура.	ПК-6
13. Классификация аттракторов в динамических системах	ПК-6
14. Алгоритмы поиска неподвижных и периодических точек	ПК-6
15. Алгоритм построения инвариантных многообразий	ПК-6
16. Алгоритмы построения отображения Пуанкаре. Метод половинного деления, интерполяции, Эно.	ПК-6
17. Алгоритм Бинетина расчета спектра показателей Ляпунова	ПК-6
18. Карты периодических режимов и показателей Ляпунова, дивергенций.	ПК-6
19. Исследование локальных и глобальных бифуркаций в двумерном отображении Эно	ПК-6
20. Переход к хаосу через каскад бифуркаций удвоения периода	ПК-6
21. Переход к хаосу через разрушение тора (по сценариям Афраймовича-Шильникова)	ПК-6
22. Аттрактор Шильникова	ПК-6
23. Аттрактор Лоренца	ПК-6
24. Аттрактор Ресслера	ПК-6
25. Бифуркационный анализ трехмерного отображения Эно.	ПК-6

5.2.2. Типовые практические задания для оценки сформированности компетенции ПК-6

1. Построить карту режимов и карту показателей Ляпунова для двумерного отображения Эно. Изучить сценарий перехода к хаосу, возникающий при изменении параметра.

2. Запрограммировать алгоритм поиска периодических точек. Продемонстрировать работу алгоритма на двумерном каком-нибудь двумерном отображении. Продолжить периодическую точку по параметру до бифуркации.

5.2.3. Типовые практические задания для оценки сформированности компетенции «ПК-6»

1. Запрограммировать алгоритм продолжения неподвижной точки по параметру до бифуркации.

2. Написать алгоритм расчета показателей Ляпунова для точечных отображений.

5.2.4. Темы дискуссий

1. Треугольник устойчивости неподвижной точки.
2. Анализ локальных бифуркаций в отображении Эно.
3. Многомерный метод секущих для поиска периодических точек.
4. Метод Эно построения отображения Пуанкаре, метод интерполяции для поиска пересечения траектории и секущей.
5. Гомоклиническая траектория Пуанкаре. Гомоклиническая структура.
6. Теорема Л.П. Шильникова о сложной структуре в окрестности петли седло-фокуса. Примеры.

Порядок подготовки и проведения. Дискуссии включают в себя ряд тем, освоение которых предполагает самостоятельное предварительное изучение студентами дополнительного теоретического материала, выходящего за пределы материала, представленного в лекциях.

Проведение дискуссий состоит из сообщений студентов и дискуссионного обсуждения круга поставленных в сообщениях проблем, обсуждение индивидуальных заданий.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

Шильников Л. П. и др. Методы качественной теории в нелинейной динамике //Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. – 2003. [В режиме онлайн-просмотра доступна через Электронную онлайн-читальню. URL: <http://bookree.org/reader?file=450578&pg=3> – онлайн-доступ свободный].

Кузнецов С. П. Динамический хаос //М.: Физматлит. – 2001. – Т. 296. – С. 10. [В режиме онлайн-просмотра доступна через Электронную онлайн-читальню. URL: <http://bookree.org/reader?file=451987&pg=3> – онлайн-доступ свободный].

б) дополнительная литература:

1. Шильников Л. П. Гомоклинические траектории: От Пуанкаре до наших дней //Математические события XX века. М.: ФАЗИС. – 2003. – С. 465. [Доступна электронная версия публикации в журнале «Математика в высшем образовании» №5, 2007. URL: http://www.unn.ru/math/no/5/_nom5_006_shilnikov.pdf – доступ свободный]
2. Чен К., Джиблин П., Ирвинг А. Matlab в математических исследованиях. – М.: Мир, 2001. [В режиме онлайн-просмотра доступна через Электронную онлайн-читальню. URL: <http://bookree.org/reader?file=470716&pg=5> – онлайн-доступ свободный].

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Современная цифровая образовательная среда РФ. [сайт]. Учебные курсы.

URL: <https://online.edu.ru/public/courses?faces-redirect=true>

2. Во время практических занятий используется лицензионное программное обеспечение: 10 комплектов математического пакета MATLAB, установленных в лаб. 220 (2 корп) ННГУ (лицензионное ПО приобретено в 2006/2007 гг при выполнении нац. проекта «Образование», ключ у системного администратора).

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Презентационное оборудование для компьютерных демонстраций (лаборатория 218, 220 корп.2).

Наличие рекомендованной литературы.

Компьютерный класс для выполнения практикумов на 12 рабочих мест с установленным лицензионным программным обеспечением нужной комплектации (лаборатория 220, корп.2):

– операционные системы семейства Microsoft Windows, – лицензия по подписке Microsoft Imagine; – математический пакет MatLab (лицензионное ПО приобретено в 2006/2007 гг при выполнении нац. проекта «Образование», бессрочная лицензия, ключ у системного администратора).

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

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

Автор: к.ф.-м.н., доцент. ТУиДС Казаков А.О.

Заведующий кафедрой ТУиДС, д.ф.-м.н. Осипов Г.В.

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

от 30.11.2022 года, протокол № 3.