

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**НЕЛИНЕЙНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕОРИЯ ХАОСА**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 01.03.02 Прикладная математика и  
информатика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
6	2	72	0	15	0	57	0	3
Итого	2	72	0	15	0	57	0	

## АННОТАЦИЯ

Курс является введением в теорию динамических систем и ее приложения в различных областях науки, такие как биология, химия, метеорология и т.д., для студентов физико-математических специальностей университетов. Изучаемыми объектами в курсе являются эволюционирующие во времени детерминированные системы, описываемые при помощи систем обыкновенных дифференциальных уравнений в каноническом виде и дискретных отображений. Обсуждается ограниченность режимов нелинейной динамики в системах размерности один и два. Рассматриваются основные инструменты исследования нелинейной динамики систем, такие как исследование точек покоя, построение сечений Пуанкаре, построение бифуркационных диаграмм, расчет показателей Ляпунова по алгоритму Беннетина.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются: изучение таких повсеместно используемых инструментов теории динамических систем, как исследование устойчивости точек покоя в линейном приближении, конструирование сечений Пуанкаре и бифуркационных диаграмм, расчет спектров показателей Ляпунова и спектров мощности нелинейных динамических систем.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана с материалами следующих дисциплин, читаемых студентам физико-математических специальностей: численные методы, обыкновенные дифференциальные уравнения, линейная алгебра, математический анализ.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам численных методов и практикума на ЭВМ. Необходимо уметь работать с матрицами, решать дифференциальные уравнения, знать дифференциальное и интегральное исчисление, владеть различными высокоуровневыми языками программирования.

Полученные в результате освоения данной дисциплины навыки и знания могут быть использованы при подготовке дипломных проектов, а также при проведении научно-поисковых исследований.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УКЕ-1 [1] – Способен использовать знания естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	З-УКЕ-1 [1] – знать: основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования У-УКЕ-1 [1] – уметь: использовать математические методы в технических приложениях, рассчитывать

в поставленных задачах	основные числовые характеристики случайных величин, решать основные задачи математической статистики; решать типовые расчетные задачи В-УКЕ-1 [1] – владеть: методами математического анализа и моделирования; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем, основными приемами обработки экспериментальных данных, методами работы с прикладными программными продуктами
------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
Разработка математических моделей, алгоритмов и методов для решения различных задач.	Математические модели и алгоритмы.	ПК-2 [1] - Способен понимать, применять и совершенствовать современный математический аппарат  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.001	З-ПК-2[1] - знать современный математический аппарат, используемый при описании, решении и анализе различных прикладных задач; У-ПК-2[1] - использовать современный математический аппарат для построения математических моделей и алгоритмов решения различных прикладных задач; В-ПК-2[1] - владеть навыками применения современного математического аппарата для построения математических моделей различных процессов, для обработки экспериментальных, статистических и теоретических данных,

			для разработки новых алгоритмов и методов исследования задач различных типов
--	--	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</p>

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>6 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	0/8/0		25	КИ-8	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1
2	Второй раздел	9-15	0/7/0		25	КИ-15	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1
	<i>Итого за 6 Семестр</i>		0/15/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 6 Семестр</b>				50	3	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2,

							3- УКЕ- 1, У- УКЕ- 1, В- УКЕ- 1
--	--	--	--	--	--	--	---

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>6 Семестр</i>	0	15	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	0	8	0
1 - 4	<b>Тема 1.</b> Понятие динамической системы и аттрактора. Примеры. Исследование устойчивости точек покоя динамических систем. Ограниченность нелинейной динамики систем размерности один и два.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 8	<b>Тема 2.</b> Предельные циклы. Теорема Пуанкаре-Бенедиксона. Теория индекса.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-15</b>	<b>Второй раздел</b>	0	7	0
9 - 12	<b>Тема 3.</b> Более сложные аттракторы. Отображение Пуанкаре. Переход к хаосу через бифуркации удвоения периода. Бифуркационные диаграммы. Сценарии возникновения хаоса.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 15	<b>Тема 4.</b> Количественные характеристики регулярных и хаотических динамических режимов. Ляпуновские показатели. Алгоритм вычисления спектра показателей Ляпунова. Вычисление спектра мощности динамических систем.	Всего аудиторных часов		
		0	3	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Практические занятия сопровождаются различными демонстрационными материалами, реализованными в MATLAB и MAPLE. Данные материалы добавляют в курс элемент интерактивности и добавляют наглядности представляемой на занятиях теории.

Основное внимание в курсе направлено на решение практических задач и применимость изучаемых методов к прикладным исследованиям. На практических занятиях обсуждаются последние научные работы, новые методы теории динамических систем, рассказывается о работе с научной литературой. Обязательными являются самостоятельная работа студентов, выполнение индивидуальных заданий и работа с литературой. Помимо этого, студенты получают опыт самостоятельной подготовки законченных программ, улучшают навыки программирования в MATLAB, учатся систематизировать и представлять результаты исследований в виде отчетов.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-2	З-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
УКЕ-1	З-УКЕ-1	З, КИ-8, КИ-15
	У-УКЕ-1	З, КИ-8, КИ-15
	В-УКЕ-1	З, КИ-8, КИ-15

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-

балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ А 67 Аналитические модели детерминированного хаоса : , Москва: Физматлит, 2007
2. ЭИ Ф 65 Курс дифференциального и интегрального исчисления. В 3-х тт. Том 1 : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ М 30 Методы вычислительной математики : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. ЭИ М 71 Многоликий хаос : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2012



5. ЭИ С 79 Решение линейных дифференциальных уравнений : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2021

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 536 Т77 Введение в синергетику. Хаос и структуры : , Д. И. Трубецков, Москва: Едиториал УРСС, 2010

2. 53 К89 Динамический хаос: курс лекций : Учеб. пособие для вузов, Кузнецов С.П., М.: Физматлит, 2001

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

### **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

### **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

#### 1. Проведение практических занятий

В рамках курса предусмотрено проведение практических занятий, на которых объясняется принцип решения задач теории динамических систем и проходит защита домашнего задания по пройденным темам. Пользуясь полученным на семинарах материалом, студенты должны научиться решать поставленные перед ними задачи.

На занятиях обсуждаются и анализируются современные научные работы; проводится разбор вопросов, возникающих в процессе подготовки домашних заданий.

На каждом занятии отмечается посещаемость студентов.

При изучении курса студентам рекомендуется внимательно ознакомиться с программой дисциплины, взять в библиотеке рекомендованную литературу.

#### 2. Организация контроля успеваемости студентов

Организация контроля успеваемости студентов проводится с использованием фонда оценочных средств по данной дисциплине (ФОС). Фонд оценочных средств (ФОС) – является неотъемлемой частью учебно-методического комплекса учебной дисциплины и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу данной дисциплины.

Промежуточный контроль успеваемости по дисциплине выставляется на основе результатов защиты домашнего задания.

Итоговый контроль выставляется на основе зачета.

Для допуска к зачету необходимо сдать на положительную оценку три или более из предложенных в рамках текущего контроля заданий.

Для оценки образовательной достижений студентов используется 100 балльная шкала.

Весь необходимый для успешной сдачи всех заданий материал излагается на практических занятиях, посещение которых является обязательным. Практика показала, что в случае пропуска хотя бы одного занятия, сдача задания по соответствующей теме существенно осложняется.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

### **1. Проведение практических занятий**

В рамках курса предусмотрено проведение практических занятий, на которых объясняется принцип решения задач теории динамических систем и проходит защита домашнего задания по пройденным темам. Пользуясь полученным на семинарах материалом, студенты должны научиться решать поставленные перед ними задачи.

На занятиях обсуждаются и анализируются современные научные работы; проводится разбор вопросов, возникающих в процессе подготовки домашних заданий.

На каждом занятии отмечается посещаемость студентов.

На каждом занятии следует отмечать посещаемость студентов. Рекомендуется не допускать студентов до сдачи контрольных мероприятий регулярно пропускающих занятия. На первом занятии необходимо ознакомить студентов с программой дисциплины, а также предложить литературу, которая потребуется для успешного освоения материала.

### **2. Организация контроля успеваемости студентов**

Организация контроля успеваемости студентов проводится с использованием фонда оценочных средств по данной дисциплине (ФОС). Фонд оценочных средств (ФОС) – является неотъемлемой частью учебно-методического комплекса учебной дисциплины и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу данной дисциплины.

Промежуточный контроль успеваемости по дисциплине выставляется на основе результатов защиты домашнего задания.

Итоговый контроль выставляется на основе зачета.

Для допуска к зачету необходимо сдать на положительную оценку три или более из предложенных в рамках текущего контроля заданий.

Для оценки образовательной достижений студентов используется 100 балльная шкала.

Весь необходимый для успешной сдачи всех заданий материал излагается на практических занятиях, посещение которых является обязательным. Практика показала, что в случае пропуска хотя бы одного занятия, сдача задания по соответствующей теме существенно осложняется.

Автор(ы):

Лаврова София Федоровна