

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета  Гусев П.Ю.
«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
« Модели динамического хаоса »

Направление подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника

Направленность 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Квалификация выпускника Исследователь. Преподаватель-исследователь

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

Автор программы



/ Батаронов И.Л./

Заведующий кафедрой
Высшей математики и
физико-математического
моделирования



/ Батаронов И.Л./

Руководитель ОПОП



/ Батаронов И.Л./

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Цель изучения дисциплины состоит в изучении и практическом освоении методологии математического моделирования, выбора численных методов решения моделей динамического хаоса в рамках выбранной области исследования.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Задачи освоения дисциплины состоят в следующем:

- сформировать у обучающихся целостную методологию математического моделирования объектов из области исследования;
- освоить методологию выбора численных методов решения моделей динамического хаоса в рамках области исследования;
- освоить методику анализа моделей динамического хаоса для задач в области исследования.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Модели динамического хаоса» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Модели динамического хаоса» направлен на формирование следующих компетенций:

УК-3 – готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач

ОПК-2 – владением культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий

ОПК-7 – владением методами проведения патентных исследований, лицензирования и защиты авторских прав при создании инновационных продуктов в области профессиональной деятельности

ПК-3 – готовностью реализовать математические и алгоритмические модели в виде программных компонент и баз данных.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие
-------------	--------------------------------------

	сформированность компетенции
УК-3	знать основные модели динамического хаоса
	уметь применять модели динамического хаоса для выполнения работ в научном коллективе
	владеть методами теории динамического хаоса для решения комплексных задач
ОПК-2	знать основные базы данных и знаний по моделям динамического хаоса
	уметь применять поисковые системы для получения научной информации
	владеть методами применения моделей динамического хаоса
ОПК-7	знать основные патентные базы данных
	уметь применять патентный поиск для решения инновационных задач
	владеть методами защиты интеллектуальной собственности
ПК-3	знать основные программные средства для исследования моделей динамического хаоса
	уметь применять методы алгоритмизации задач с использованием моделей динамического хаоса
	владеть методами использования программных продуктов для численного исследования моделей динамического хаоса

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Модели динамического хаоса» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
Аудиторные занятия (всего)	10	10
В том числе:		
Лекции	10	10
Практические занятия (ПЗ)	–	–
Самостоятельная работа	98	98
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Динамические системы и хаос.	Аттракторы. Хаос. Гиперболические множества. Подкова Смейла.	2		20	22
2	Гомоклинические структуры	Гомоклинические траектории. Рождение подков из гомоклинической картины. Гомоклинические касания и дикие гиперболические множества. Символическая динамика.	2		20	22
3	Хаотические аттракторы динамических систем	Странные и хаотические аттракторы. Гиперболические аттракторы. Стохастические и другие аттракторы.	3		29	32
4	Эргодические аспекты динамического хаоса	Показатели Ляпунова. Энтропия. Размерностные характеристики. Оценка энтропии и размерности. Статистические свойства динамических систем.	3		29	32
Итого			10		98	108

Практическая подготовка при освоении дисциплины проводится путем непосредственного выполнения обучающимися отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью, способствующих формированию, закреплению и развитию практических навыков и компетенций по профилю соответствующей образовательной программы на лекционных занятиях.

№ п/п	Семестр	Перечень выполняемых обучающимся отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью	Формируемые профессиональные компетенции
1	4	Разработка и анализ модели динамического хаоса для объектом исследования	ПК-3

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА РЕФЕРАТОВ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение реферата.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
УК-3	знать основные модели динамического хаоса	Активная работа на лекционных занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять модели динамического хаоса для выполнения работ в научном коллективе	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами теории динамического хаоса для решения комплексных задач	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-2	знать основные базы данных и знаний по моделям динамического хаоса	Активная работа на лекционных занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять поисковые системы для получения научной информации	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами применения моделей динамического хаоса	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-7	знать основные патентные базы данных	Активная работа на лекционных занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять патентный поиск для решения инновационных задач	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами защиты интеллектуальной собственности	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	знать основные программные средства для исследования моделей динамического хаоса	Активная работа на лекционных занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять методы алгоритмизации задач с использованием моделей динамического хаоса	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами использования программных продуктов для численного исследования моделей динамического хаоса	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 4 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
УК-3	знать основные модели динамического хаоса	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь применять модели динамического хаоса для выполнения работ в научном коллективе	Решение стандартных практических задач	Выполнение индивидуального практического задания в области исследования	Невыполнение индивидуального практического задания в области исследования
	владеть методами теории динамического хаоса для решения комплексных задач	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение индивидуальной прикладной задачи в области исследования	Невыполнение индивидуальной прикладной задачи в области исследования
ОПК-2	знать основные базы данных и знаний по моделям динамического хаоса	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь применять поисковые системы для получения научной информации	Решение стандартных практических задач	Выполнение индивидуального практического задания в области исследования	Невыполнение индивидуального практического задания в области исследования
	владеть методами применения моделей динамического хаоса	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение индивидуальной прикладной задачи в области исследования	Невыполнение индивидуальной прикладной задачи в области исследования
ОПК-7	знать основные патентные базы данных	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь применять патентный поиск для решения инновационных задач	Решение стандартных практических задач	Выполнение индивидуального практического задания в области исследования	Невыполнение индивидуального практического задания в области исследования
	владеть методами защиты интеллектуальной собственности	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение индивидуальной прикладной задачи в области исследования	Невыполнение индивидуальной прикладной задачи в области исследования
ПК-3	знать основные программные средства для исследования моделей динамического хаоса	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь применять методы алгоритмизации задач с использованием моделей динамического хаоса	Решение стандартных практических задач	Выполнение индивидуального практического задания в области исследования	Невыполнение индивидуального практического задания в области исследования
	владеть методами использования программных продуктов для численного	Решение прикладных задач в конкретной	Выполнение индивидуальной прикладной задачи в	Невыполнение индивидуальной прикладной задачи в

исследования моделей динамического хаоса	предметной области	области исследования	области исследования
--	--------------------	----------------------	----------------------

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

Не предусмотрено методикой оценки.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Построить фазовую траекторию математического маятника с возбуждающей силой на частоте 4 Гц.

2. Построить фазовую траекторию странного аттрактора Лоренца для начальных условий $x_1 = -8$, $x_2 = 8$, $x_3 = 27$.

3. Построить временную траекторию цепи Чуа с параметрами $p = 9$, $q = 14,286$, $M_1 = -1/7$, $M_0 = 2/7$.

4. Построить фазовую траекторию решения уравнения Дуффинга с параметрами $p = 0,4$, $p_1 = -2,1$, $\omega = 3,8$, $q = 2$.

5. Построить фазовую траекторию системы Рослера для параметров $\varepsilon = 0,3$, $f = 0,4$, $\mu = 8,5$.

6. Построить временную траекторию модели химической реакции типа диффузии с параметрами $c_1 = 7$, $c_2 = -6$, $l = 1$.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Исследовать фазовый портрет математического маятника с возбуждающей силой.

2. Исследовать фазовый портрет странного аттрактора Лоренца .

3. Построить фазовый портрет цепи Чуа от параметров p, q .

4. Исследовать фазовый портрет решений уравнения Дуффинга от параметра ω .

5. Построить фазовый портрет системы Рослера для параметра μ .

6. Исследовать фазовый портрет модели химической реакции типа диффузии от параметра l .

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Аттракторы. Хаос.

Гиперболические множества.

Подкова Смейла.

Гомоклинические траектории.
 Рождение подков из гомоклинической картины.
 Гомоклинические касания и дикие гиперболические множества.
 Символическая динамика.
 Странные и хаотические аттракторы.
 Гиперболические аттракторы.
 Стохастические и другие аттракторы.
 Показатели Ляпунова.
 Энтропия. Размерностные характеристики.
 Оценка энтропии и размерности.
 Статистические свойства динамических систем.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для экзамена

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по аттестационным заданиям, каждое из которых содержит 1 вопрос и 3 задачи. Правильный ответ на вопрос оценивается 5 баллов, каждая задача оценивается в 5 баллов. Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Не зачтено ставится в случае, если студент набрал менее 10 баллов.
2. Зачтено ставится в случае, если студент набрал от 10 до 20 баллов

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Динамические системы и хаос.	УК-3, ОПК-2, ОПК-7, ПК-3	Тест, зачет, устный опрос
2	Гомоклинические структуры	УК-3, ОПК-2, ОПК-7, ПК-3	Тест, зачет, устный опрос
3	Хаотические аттракторы динамических систем	УК-3, ОПК-2, ОПК-7, ПК-3	Тест, зачет, устный опрос
4	Эргодические аспекты динамического хаоса	УК-3, ОПК-2, ОПК-7, ПК-3	Тест, зачет, устный опрос

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном

носителе. Время выполнения 30 мин. Затем осуществляется проверка ответов экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Лоскутов, А. Ю. Основы теории сложных систем [Электронный ресурс] / А. Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов ; А. Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов. - Основы теории сложных систем ; 2023-02-12. - Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. - 619 с. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/91977.html>

2. Кузнецов, С. П. Динамический хаос и гиперболические аттракторы : От математики к физике / С. П. Кузнецов ; Кузнецов С. П. - Москва ; Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2013. - 488 с. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/28886.html>

3. Кубышкин Е.П. Исследование явлений динамического хаоса в математических моделях механических систем. Отчет о НИР № 96-01-01178. Российский фонд фундаментальных исследований. 1998.

4. Веричев, Н. Н. Дополнительные главы теории колебаний / Н. Н. Веричев, С. И. Герасимов, В. И. Ерофеев - Саров : Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2018. - 338 с. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/101919.html>

5. Хатунцева О.Н. О стохастических свойствах динамического хаоса в системах автономных дифференциальных уравнений, типа системы Лоренца. Труды МАИ. 2020. № 112. С. 1.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:
ПО: windows, open office, Acrobat reader

Для выполнения домашних заданий рекомендуется использовать Mathstudio
 Современная профессиональная база данных Mathnet.ru, e-library.ru
 Информационные справочные системы dist.sernam.ru, Wikipedia
<http://eios.vorstu.ru/>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

9.1. **Лекции:** специализированное помещение для проведения лекций

9.2. **Практические занятия:** не предусмотрены учебным планом.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Модели динамического хаоса» читаются лекции, проводятся самостоятельные занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Самостоятельные занятия направлены на приобретение практических навыков построения и анализа моделей оптимального управления. Занятия проводятся путем решения конкретных задач на индивидуальных компьютерах или в классе для самостоятельной работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения

	и систематизации материала.
--	-----------------------------