

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор института цифровых технологий
и математики _____ С.А. Рощупкин/


РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

2.1.ДВ.1.1 Моделирование сложных динамических систем

Шифр и наименование группы научных специальностей

1.2. Компьютерные науки и информатика

Шифр и наименование научной специальности

1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Форма обучения: очная

Институт: математики, естествознания и техники

Кафедра: математического моделирования, компьютерных технологий и информационной безопасности

Трудоёмкость в ЗЕТ – 3

Трудоёмкость в часах – 108

Разработчик: д. ф.-м. н., профессор О.В. Дружинина

Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Моделирование сложных динамических систем» разработана в соответствии с федеральными государственными требованиями, утвержденными приказом Министерства образования и науки высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины: ознакомление с основами и методами моделирования сложных динамических систем, описываемых различными типами дифференциальных уравнений; формирование представления о современном состоянии и проблемах моделирования и анализа устойчивости сложных динамических систем.

Задачи изучения дисциплины: получение обучающимися представления об этапах и методах математического моделирования сложных динамических систем, изучение системного подхода к исследованию устойчивости и управляемости моделей, описываемых дифференциальными уравнениями различных типов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина относится к образовательному компоненту программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

По окончании изучения дисциплины аспиранты должны:

знать:

- методы построения моделей и анализа поведения сложных динамических систем;
- методы анализа устойчивости и управляемости сложных динамических систем;
- современное состояние и проблемы моделирования и анализа устойчивости сложных динамических систем;

уметь:

- применять методы моделирования и анализа устойчивости сложных динамических систем;

владеть:

- навыками системного подхода к исследованию моделей, описываемых дифференциальными уравнениями различных типов.

4. СТРУКТУРА, ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Трудоёмкость в ЗЕТ – 3

Трудоёмкость в часах – 108

Лекций – 18 ч.

Практические занятия – 18 ч.

4.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоёмкость, академ. часы			
		Всего часов	аудиторные занятия		
			Лекции	практические (лабораторные)	Самостоятельная работа
1.	<i>Раздел 1. Этапы, методы и средства моделирования сложных динамических систем</i>	62	10	10	42
2.	Тема 1. Основные этапы математического моделирования динамических систем	23	4	4	15
3.	Тема 2. Методы построения и изучения моделей сложных динамических систем. Управляемые системы с переключениями	23	4	4	15
4.	Тема 3. Программно-аппаратные средства для математического моделирования сложных динамических систем	16	2	2	12
5.	<i>Раздел 2. Устойчивость, стабилизация и управляемость сложных динамических систем</i>	46	8	8	30
6.	Тема 4. Анализ и взаимосвязь базовых свойств устойчивости траекторий динамических систем	10	2	2	6
7.	Тема 5. Основные методы исследования устойчивости и условия стабилизации сложных динамических систем	12	2	2	8
8.	Тема 6. Устойчивость и стабилизация систем интеллектуального управления	12	2	2	8
9.	Тема 7. Исследование и компьютерное моделирование систем популяционной динамики	12	2	2	8
	Промежуточная аттестация				
ИТОГО:		108	18	18	72

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1. Текущий контроль по дисциплине осуществляется в форме контрольной работы, реферата.

Типовой вариант контрольной работы

1. Рассмотреть модель сложной динамической системы, описываемой многомерным дифференциальным уравнением вида

$$m\ddot{x} = PT + mG, \quad (1)$$

где $x \in R^n$ – вектор состояния системы, G – вектор потенциального поля. Матрица P и вектор T , задающие параметрические возмущения, имеют вид

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1k} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nk} \end{pmatrix}, \quad T = \begin{pmatrix} t^0 \\ t^1 \\ \vdots \\ t^k \end{pmatrix}.$$

Критерий оптимальности для модели (1) имеет вид

$$\int_{t_0}^{t_2} \|PT\| dt \rightarrow \min.$$

Рассмотреть конкретизацию модели (1) для неоднородного поля тяготения mG в случае

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}, \quad G = \begin{pmatrix} 0 \\ -g \end{pmatrix}.$$

Изучить модель оптимального управления:

- а) для $g=2x_1x_2$;
 б) для $g=\sin(x_1)\cos(x_2)$;
 в) для $g = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$.

2. С помощью функций Ляпунова исследовать на устойчивость нулевое решение систем:

$$1) \begin{cases} \dot{x} = -x + y - 3xy^2 - \frac{1}{4}x^3, \\ \dot{y} = -\frac{1}{3}x - \frac{1}{2}y - 2y^3; \end{cases} \quad 2) \begin{cases} \dot{x} = y - 3x^3, \\ \dot{y} = -x - 7y^3; \end{cases}$$

3. Определить параметр α , при котором устойчиво нулевое решение следующих систем:

$$1) \begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = 5\alpha x - \alpha^2 y; \end{cases} \quad 2) \begin{cases} \dot{x} = -x + y, \\ \dot{y} = \alpha x - \alpha^2 y; \end{cases}$$

4. Дана система Лоренца:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -\sigma x + \sigma y, \\ \dot{y} &= -xz + rx - y, \\ \dot{z} &= xy - bz, \end{aligned}$$

где $b, r, \sigma > 0$. Выполнить следующие задания:

- а) доказать, что при $r < 1$ точка $O(0, 0, 0)$ – единственное положение равновесия системы Лоренца;
 б) выяснить характер устойчивости точки O в зависимости от значения параметра r ;
 в) доказать, что при $r > 1$ у системы Лоренца существуют помимо точки O еще два дополнительных положения равновесия O_1 и O_2 ;

- г) выяснить характер устойчивости положений равновесия O_1 и O_2 .
5. Провести сравнительный анализ следующих программных средств для моделирования сложных динамических систем (MATLAB, Scilab, Mathematica).

Примерная тематика рефератов

1. Методология научных исследований в области моделирования сложных динамических систем.
2. Применение программно-аппаратных средств для математического моделирования сложных динамических систем.
3. Методы анализа устойчивости динамических систем интеллектуального управления.
4. Моделирование и стабилизация нелинейных управляемых систем.
5. Исследование и компьютерное моделирование систем популяционной динамики.

5.2. Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 1 семестре в форме зачета.

Перечень вопросов к зачету

1. Основные этапы математического моделирования динамических систем.
2. Методы построения и изучения моделей сложных динамических систем.
3. Различные типы моделей сложных динамических систем. Детерминированные и недетерминированные системы.
4. Управляемые системы с переключениями.
5. Программно-аппаратные средства для математического моделирования сложных динамических систем.
6. Анализ и взаимосвязь базовых свойств устойчивости траекторий динамических систем.
7. Исследование устойчивости на основе первого метода Ляпунова.
8. Исследование устойчивости на основе второго метода Ляпунова.
9. Исследование орбитальной устойчивости.
10. Алгебраические критерии устойчивости управляемых систем.
11. Частотные критерии устойчивости управляемых систем.
12. Условия оптимальной стабилизации сложных динамических систем.
13. Устойчивость и стабилизация систем интеллектуального управления.
14. Оптимальная стабилизация многосвязных систем на основе функций Ляпунова.
15. Численные алгоритмы оптимизации в задачах моделирования систем с переключениями.

Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

Критерии оценивания для зачета

Оценка «зачтено». Систематическое посещение занятий в течение учебного года - аспирант посетил более 75% аудиторных занятий. В процессе обучения показал заинтересованность в предмете.

Оценка «не зачтено». Пропущено значительное количество занятий без уважительной причины - аспирант посетил менее 75% аудиторных занятий. В процессе обучения не проявил интереса к предмету.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Основная литература

1. Лисяк Н. К. Моделирование систем : учебное пособие : [16+] / Н. К. Лисяк, В. В. Лисяк. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2017. – Часть 1. – 107 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=499733> (дата обращения: 01.09.2022). – Библиогр.: с. 101-102. – ISBN 978-5-9275-2504-1. – Текст : электронный.
2. Вагин Д. В. Численное моделирование динамических систем, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями : учебное пособие : [16+] / Д. В. Вагин ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 63 с. : табл., граф., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=573956> (дата обращения: 01.09.2022). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7782-3941-8. – Текст : электронный.
3. Нос О. В. Теория автоматического управления: теория управления особыми линейными и нелинейными непрерывными системами : учебное пособие : [16+] / О. В. Нос ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 166 с. : ил., табл., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=576432> (дата обращения: 01.09.2022). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7782-3889-3. – Текст : электронный.

6.2. Дополнительная литература

1. Масина О.Н., Петров А.А., Дружинина О.В., Рапопорт Л.Б. Моделирование и стабилизация нелинейных управляемых систем. Учебное пособие. Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2020. – 117 с. http://www.elsu.ru/uploads/files/2020-10/1602700693_masina_2novoe_posobie_2020.pdf
2. Масина О.Н., Дружинина О.В., Рапопорт Л.Б. Элементы теории устойчивости математических моделей управляемых систем. Учебное посо-

бие. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2019. – 143 с. http://www.elsu.ru/uploads/files/2020-04/1586241874_maket_masina_druzhinina_rapoport.pdf

3. Масина О.Н., Петров А.А., Дружинина О.В., Рапопорт Л.Б. Моделирование управляемых систем с применением методов стабилизации и алгоритмов поиска оптимальных траекторий. Учебное пособие. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2021. – 117 с.
4. Масина О.Н., Петров А.А., Дружинина О.В. Основы методологии научных исследований в области моделирования сложных управляемых систем. Учебное пособие. Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2022. – 86 с.

6.3. Электронные образовательные ресурсы

1.	https://www.intuit.ru/	Национальный открытый университет - организация, предоставляющая с помощью собственного сайта услуги дистанционного обучения по нескольким образовательным программам, многие из которых касаются информационных технологий. Сайт содержит несколько сотен открытых образовательных курсов, по прохождении которых можно бесплатно получить электронный сертификат. Также возможно платное получение сертификатов о повышении квалификации. Кроме того, организация действует как издательство, выпуская учебную литературу по курсам.	Свободный доступ
2.	http://www.biblioclub.ru	Электронно-библиотечная система (ЭБС) Университетская библиотека онлайн	Регистрация через любой университетский компьютер. В дальнейшем индивидуальный неограниченный доступ из

			любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет
3.	www.garant.ru	Гарант.РУ – информационно-правовой портал	Свободный доступ.
4.	www.elibrary.ru	Российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования	Свободный доступ
5.	www.consultant.ru	Российская компьютерная справочно-правовая система	Свободный доступ

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ