

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Луганский государственный университет
имени Владимира Даля»
(ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»)

Северодонецкий технологический институт (филиал)

Кафедра управления инновациями в промышленности

УТВЕРЖДАЮ:
Врио. директора СТИ (филиал)
ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»
Ю.В. Бородач
(подпись) «20» 2024 года



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Хаотическая динамика нелинейных систем»

по направлению подготовки 23.04.01 «Технология транспортных процессов»

магистерская программа «Управление дорожно-транспортной инфраструктурой»

Северодонецк – 2023

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Хаотическая динамика нелинейных систем» по направлению подготовки 23.04.01 «Технология транспортных процессов», магистерская программа «Управление дорожно-транспортной инфраструктурой» – 16 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Хаотическая динамика нелинейных систем» разработана в соответствии с ФГОС ВО, утвержденным приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07.08.2020 № 908 (с изменениями и дополнениями).

СОСТАВИТЕЛЬ:

Доцент, к.т.н. Ткачев Р.Ю.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры управления инновациями в промышленности « 02 » 09 2024 г., протокол № 1.

И.о. заведующего кафедрой

управления инновациями в промышленности



Е.А. Бойко

Переутверждена: « ____ » _____ 20 ____ г., протокол № ____.

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии Северодонецкого технологического института (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Луганский государственный университет имени Владимира Даля» « 16 » 09 2024 г., протокол № 1.

Председатель учебно-методической комиссии

СТИ (филиал) ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»



Ю.В. Бородач

© Ткачев Р.Ю., 2024 год

© СТИ (филиал) ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2024 год

1 Цели и задачи изучения дисциплины

Цель дисциплины. Цель изучения дисциплины состоит в изложении основ современной теории нелинейных динамических систем. В данной дисциплине излагаются методы нелинейной динамики, основанные на исследовании предельных множеств в фазовом пространстве ДС. Излагаются основы теории устойчивости и бифуркаций, даются характеристики основных типов поведения ДС, анализируются универсальные сценарии развития хаоса, приводится классификация хаотических аттракторов.

Задачи изучения дисциплины:

- углубленное изучение теоретических вопросов в области анализа поведения нелинейных динамических систем;
- развитие общепрофессиональных компетенций в автоматизированном управлении;
- освоение методов обработки и анализа сигналов, методов нелинейной динамики и анализа нелинейных, нестационарных, хаотических систем.

Дисциплина направлена на формирование общепрофессиональных и профессиональных компетенции (ПК-5) выпускника.

2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Логико-структурный анализ дисциплины – Факультативные дисциплины (модули) по направлению 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств (профиль: «Автоматизированное управление технологическими процессами и производствами»).

Дисциплина реализуется кафедрой втоматизированного управления и инновационных технологий. Основывается на базе дисциплин: «Цифровые двойники», «Алгоритмизация технологических процессов», «Методы идентификации и алгоритмы обработки сигналов», «Теория автоматического управления».

Является основой по дисциплинам «Интеллектуальные системы управления», «Планирование эксперимента» и при формировании разделов ВКР.

Для изучения дисциплины необходимы компетенции, сформированные у студента для решения общепрофессиональных и профессиональных задач деятельности, связанных с актуализацией управленческих решения в динамических системах.

Курс является фундаментом для ориентации студентов в сфере создания динамических моделей и использования их в системах автоматизации.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 ак.ч.

Программой дисциплины предусмотрены:

– при очной форме обучения – лекционные (0 ак.ч.), практические (36 ак.ч.), лабораторные (0 ак.ч) (занятия и самостоятельная работа студента (36 ак.ч.);

– при заочной форме обучения – лекционные (0 ак.ч.), практические (10 ак.ч.), лабораторные (0 ак.ч.) занятия и самостоятельная работа студента (62 ак.ч.);

Дисциплина изучается:

– при очной форме обучения – на 2 курсе в 4семестре;

– при заочной форме обучения – на 2 курсе в 4 семестре.

Форма промежуточной аттестации – зачет

3 Перечень результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Процесс изучения дисциплины «Хаотическая динамика нелинейных систем» направлен на формирование компетенции, представленной в таблице 1.

Таблица 1 – Компетенции, обязательные к освоению

Содержание компетенции	Код компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Способен владеть теоретическими основами, методами и алгоритмами интеллектуализации решения прикладных задач при построении автоматизированных систем управления широкого назначения	ПК-5	ПК-5.1. Разбирается в алгоритмах работы механизмов нечетко-логических выводов, анализа и расчета способов построения функций принадлежности, способов адаптации и обучения с помощью нейронных сетей механизмов нечетко-логического вывода. ПК-5.3. Владеет навыками построения на основе механизмов нечетко-логического и вывода структурно-функциональных автоматизированных схем управления. ПК-5.4 Владеет навыками управления результатами научно-исследовательской деятельности и коммерциализацией прав на инновационные объекты автоматизации.

4 Объём и виды занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость учебной дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 ак.ч.

Самостоятельная работа студента (СРС) включает подготовку к практическим занятиям, текущему контролю, выполнение индивидуального задания, самостоятельное изучение материала и подготовку к зачету.

При организации внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине используются формы и распределение бюджета времени на СРС для очной формы обучения в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Распределение бюджета времени на СРС

Вид учебной работы	Всего ак.ч.	Ак.ч. по семестрам
		3
Аудиторная работа, в том числе:	36	36
Лекции (Л)	0	0
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
Курсовая работа/курсовой проект	-	-
Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе:	36	36
Подготовка к лекциям	-	-
Подготовка к лабораторным работам	-	-
Подготовка к практическим занятиям / семинарам	18	18
Выполнение курсовой работы / проекта	-	-
Расчетно-графическая работа (РГР)	-	-
Реферат (индивидуальное задание)	12	12
Домашнее задание	-	-
Подготовка к контрольной работе	4	4
Подготовка к коллоквиуму	-	-
Аналитический информационный поиск	-	-
Работа в библиотеке	-	-
Подготовка к зачету	2	2
Промежуточная аттестация – зачет(з)	3	3
Общая трудоемкость дисциплины		
ак.ч.	72	72
з.е.	2	2

5 Содержание дисциплины

С целью освоения компетенции, приведенной в п.3 дисциплина разбита на 3 темы:

- Тема 1. (Основы динамического подхода к описанию колебательных явлений Теория устойчивости динамических систем. Линейное приближение).
- Тема 2. (Основы теории бифуркации динамических систем. Бифуркации состояний равновесия и предельных циклов. Регулярные и нерегулярные аттракторы динамических систем. Гиперболичность).
- Тема 3. (Динамический хаос Механизмы рождения хаотических режимов).

Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов для очной и заочной формы приведены в таблице 3 и 4 соответственно.

Таблица 3 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (очная форма обучения)

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
1	Основы динамического подхода к описанию колебательных явлений Теория устойчивости динамических систем. Линейное приближение		-	Решение обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ)	6	-	-
				Решение систем ОДУ	6	-	-
2	Основы теории бифуркации динамических систем. Бифуркации состояний равновесия и предельных		-	Динамические нелинейные системы (ДС) ..	6	-	-

	циклов. Регулярные и нерегулярные аттракторы динамических систем. Гиперболичес- кость			Качественный анализ линейных ДС	6	-	-
3	Динамический хаос Механизмы рождения хаотических режимов		-	Качественный анализ нелинейных ДС	6	-	-
				Последователь- ность бифуркаций удвоения периода. Сценарий Фейгенбаума	6	-	-
Всего аудито- рных занятий				36		-	-

Таблица 4 – Виды занятий по дисциплине и распределение аудиторных часов (заочная форма обучения)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Темы практических занятий	Трудоемкость в ак.ч.	Тема лабораторных занятий	Трудоемкость в ак.ч.
1	Основы динамического подхода к описанию колебательных явлений Теория устойчивости динамических систем. Линейное приближение		-	Решение обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ)	10	-	-
				Динамические системы (ДС) ..			
Всего аудиторных часов				10			

Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

6.1 Критерии оценивания

В соответствии с Положением о кредитно-модульной системе организации образовательного процесса ФГБОУ ВО «ДонГТУ» (https://www.dstu.education/images/structure/license_certificate/polog_kred_modul.pdf) при оценивании сформированности компетенций по дисциплине используется 100-балльная шкала.

Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень компетенций по дисциплине и способы оценивания знаний

Коди и наименование компетенции	Способ оценивания	Оценочное средство
ПК-5	Зачет	Комплект контролирующих материалов для зачета

Всего по текущей работе в семестре студент может набрать 100 баллов, в том числе:

- тестовый контроль (2) или контрольная работа (2) – всего 30 баллов;
- за выполнение реферата (2) – всего 10 баллов;
- практические работы – всего 60 баллов.

Зачет проставляется автоматически, если студент набрал в течении семестра не менее 60 баллов и отчитался за каждую контрольную точку. Минимальное количество баллов по каждому из видов текущей работы составляет 60% от максимального.

Зачет по дисциплине проводится по результатам работы в семестре. В случае, если полученная в семестре сумма баллов не устраивает студента, во время зачета студент имеет право повысить итоговую оценку в форме устного зачета по приведенным ниже вопросам (п.п. 6.4).

Шкала оценивания знаний при проведении промежуточной аттестации приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Шкала оценивания знаний

Сумма баллов за все виды учебной деятельности	Оценка по национальной шкале зачёт/экзамен
0-59	Не зачтено/неудовлетворительно
60-73	Зачтено/удовлетворительно
74-89	Зачтено/хорошо
90-100	Зачтено/отлично

6.2 Темы для рефератов (контрольных работ) – индивидуальное задание

- 1) Основные математические модели теории колебаний.
- 2) Модели ускорения Ферми.
- 3) Явление синхронизации: его изучение и диагностика.
- 4) Методы расчета ляпуновских показателей.
- 5) Примеры систем с хаотической динамики различной природы.
- 6) Основные сценарии возникновения динамического хаоса.
- 7) Фракталы. Приложения фракталов в физике и естественных науках.
- 8) Странные нехаотические аттракторы.
- 9) Особенности стохастических колебательных систем.
- 10) Эмпирическое моделирование по временным рядам.
- 11) Нелинейная динамика уравнения Гинзбурга-Ландау:
- 12) Амплитудная и фазовая турбулентность.
- 13) Примеры абсолютной и конвективной неустойчивости в природе и технике.
- 14) Модели открытых систем: приложение методов нелинейной динамики к изучению сложных биологических и химических объектов.
- 15) Конструктивная роль флуктуаций в нелинейных системах.

6.3 Оценочные средства (тесты) для текущего контроля успеваемости и коллоквиумов

Тема 1. Основы динамического подхода к описанию колебательных явлений
Теория устойчивости динамических систем. Линейное приближение

- 1) Как влияют на поведение системы начальные значения переменных.
- 2) Как возникают новые стационарные состояния при изменении управляющего параметра системы.
- 3) Как может влиять параметр сложной системы на ее поведение?
- 4) Можно ли для сложных реальных систем меняя их параметр, и не обнаружив внешних изменений в системе, утверждать, что с ней все в порядке?
- 5) Можно ли утверждать, что, воздействуя на реальную систему, модель поведения которой в фазовом пространстве имеет аттракторы типа -

притягивающая точка и предельный цикл, после воздействия мы вернемся к исходному ее состоянию?

- 6) Проведите классификацию динамических систем.
- 7) Объясните устойчивость решений обыкновенных дифференциальных уравнений.
- 8) Что собой представляет спектр характеристических ляпуновских показателей.
- 9) Сформулируйте устойчивость периодических решений, мультипликаторы предельного цикла.
- 10) Изложите простейшие свойства одномерных отображений. Неподвижные точки, циклы и их мультипликаторы.

Тема 2. Основы теории бифуркации динамических систем. Бифуркации состояний равновесия и предельных циклов. Регулярные и нерегулярные аттракторы динамических систем. Гиперболичность

- 1) Как понимать уравнения для малых возмущений.
- 2) Охарактеризуйте сечение Пуанкаре.
- 3) Что собой представляет динамическая система и ее математическая модель: определение, классификация, аттракторы.
- 4) Бифуркации состояний равновесия, коразмерность бифуркации.
- 5) Бифуркация Андронова-Хопфа.
- 6) Классификация бифуркаций по коразмерности.
- 7) Бифуркации предельных циклов.
- 8) Бифуркации одномерных отображений.
- 9) Бифуркации двумерных отображений.

Тема 3. Динамический хаос. Механизмы рождения хаотических режимов

- 1) Дайте определение детерминированного хаоса.
- 2) Как осуществляется переход к хаосу через каскад бифуркаций удвоения периода.
- 3) Поясните разрушение квазипериодических колебаний и возможные сценарии перехода к хаосу
- 4) Что собой представляет гиперболический и негиперболический хаос.
- 5) Приведите классификация аттракторов. Регулярные и хаотические аттракторы динамических систем.
- 6) Сформулируйте постановку задачи о реконструкции динамических систем по одномерной реализации.
- 7) Поясните, что означают аттракторы разных типов: притягивающая точка, предельный цикл, странный аттрактор
- 8) Чему соответствует точка в фазовом пространстве?

- 9) Является ли хаотический режим детерминированным и можно ли сказать в данном случае, что порядок порождает хаос?

6.4 Вопросы для подготовки к зачету

- 1) Являются ли изученные Вами случаи поведения сложных систем в фазовом пространстве частным случаем поведения конкретных систем, или они дают общее представление о возможном характере поведения реальных систем?
- 2) Дайте определение фазового пространства, и поясните на примере сделанных Вами рисунков.
- 3) Чему соответствует точка в фазовом пространстве?
- 4) Что означает движение точки по траектории в фазовом пространстве?
- 5) Поясните, что означают аттракторы разных типов: притягивающая точка, предельный цикл, странный аттрактор.
- 6) Чем отличается странный аттрактор от других типов? Почему, не смотря на непредсказуемость состояния системы в этом случае, этот тип ее поведения назван аттрактором?
- 7) Является ли динамика Ферхюльста частным случаем только динамики численности популяции или отражает возможное поведение сложной реальной системы, описываемой нелинейными уравнениями?
- 8) Дайте определение динамического хаоса и поясните, используя результаты Вашей работы.
- 9) Дайте определение фракталам. Имеет ли возникающий динамический хаос структуру?
- 10) Является ли хаотический режим детерминированным и можно ли сказать в данном случае, что порядок порождает хаос?
- 11) Можно ли к таким системам применять стандартный подход: меняя параметр следить за изменениями в системе, в расчете на то, что, как только начнутся изменения, мы всегда можем вернуться в нормальное состояние, чуть-чуть изменив этот параметр?

6.5 Примерная тематика курсовых работ

Курсовые работы не предусмотрены.

7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Юмагулов, М. Г. Обыкновенные дифференциальные уравнения : теория и приложения.; Регулярная хаотическая динамика. М. Г. Юмагулов, Институт компьютерных исследований, Москва, Ижевск; 2021; <http://www.iprbookshop.ru/91969.html> (Электронное издание).
2. Кузнецов, С. П. Динамический хаос и гиперболические аттракторы : от математики к физике. Регулярная и хаотическая динамика. С. П. Кузнецов. Ижевский институт компьютерных исследований, Москва, Ижевск; 2022; <http://www.iprbookshop.ru/28886.html> (Электронное издание) Печатные издания

Дополнительная литература

3. Градов, В. М. Компьютерное моделирование : учебник / В. М. Градов, Г. В. Овечкин, П. В. Овечкин, И. В. Рудаков. — Москва : КУРС : ИНФРА-М, 2023. — 264 с. - ISBN 978-5-906818-79-9. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1896364> (дата обращения: 21.05.2024). — Режим доступа: по подписке.
4. Астраханцева, И. А. Моделирование систем : учебное пособие / И. А. Астраханцева, С. П. Бобков. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 216 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — DOI 10.12737/1831624. - ISBN 978-5-16-017220-0. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1831624> (дата обращения: 13.09.2023). — Режим доступа: по подписке.

Учебно-методическое обеспечение

1. Методические указания к лабораторным и самостоятельным занятиям по дисциплине «Моделирование систем и процессов» для студентов, обучающихся по специальности 15.04.03 «Автоматизация технологических процессов и производств», профиль — «Управление и инновации в автоматизированных системах и технологических процессах» / Сост.: Шиков Н. Н., Бойко Н. З., Ткачев Р. Ю. — Алчевск: Изд-во Ладос, 2022. — 119 с. library.dstu.education. — Текст: электронный.

7.2 Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Научная библиотека ДонГТУ : официальный сайт. — Алчевск. — URL: library.dstu.education. — Текст : электронный.
2. Научно-техническая библиотека БГТУ им. Шухова : официальный сайт. — Белгород. — URL: <http://ntb.bstu.ru/jirbis2/>. — Текст : электронный.

3. Консультант студента : электронно-библиотечная система. — Москва. — URL: <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. — Текст : электронный.
 4. Университетская библиотека онлайн : электронно-библиотечная система. — URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red. — Текст : электронный.
 5. IPR BOOKS : электронно-библиотечная система. — Красногорск. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/>. — Текст : электронный.
 6. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) : официальный сайт. — Москва. — <https://www.gosnadzor.ru/>. — Текст : электронный.
- .

8 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническая база обеспечивает проведение всех видов деятельности в процессе обучения, соответствует требованиям ФГОС ВО.

Материально-техническое обеспечение представлено в таблице 7.

Таблица 7 – Материально-техническое обеспечение

Наименование оборудованных учебных кабинетов	Адрес (местоположение) учебных кабинетов
Специальные помещения: <i>Лекционная аудитория. (25 посадочных мест)</i> Аудитории для проведения практических и лабораторных занятий, для самостоятельной работы: <i>компьютерный класс (учебная аудитория) для проведения лабораторных, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, организации самостоятельной работы, в том числе, научно-исследовательской, <u>оборудованная учебной мебелью, компьютерами с неограниченным доступом к сети Интернет, включая доступ к ЭБС</u></i> Персональные компьютеры Sepron 3200, Int Celeron 420, принтер LBP2900, локальная сеть с выходом в Internet	ауд. <u>212</u> корп. <u>1</u> ауд. <u>206</u> корп. <u>1</u>