

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


_____ Н.В.Лобов

« 17 » февраля 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: _____ **Нелинейная динамика и теория бифуркаций** _____
(наименование)

Форма обучения: _____ **очная** _____
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: _____ **магистратура** _____
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: _____ **108 (3)** _____
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: _____ **01.04.02 Прикладная математика и информатика** _____
(код и наименование направления)

Направленность: _____ **Хемобиодинамика и биоинформатика** _____
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Одной из важных научных проблем естествознания является решение задачи предсказания поведения изучаемого объекта во времени и пространстве на основе определенных знаний о его начальном состоянии. Эта проблема является предметом изучения теории динамических систем. Другой проблемой является решение задачи об изменении структуры фазового пространства динамической системы при изменении параметров. Это составляет предмет изучения теории бифуркаций. Методы и подходы указанных теорий широко используются в других естественнонаучных дисциплинах, где встречается математическое описание нестационарных процессов. Поэтому изучение приложений теории динамических систем, выделенное в отдельный курс, имеет большое методологическое значение, так как дает возможность студентам взглянуть с единой – динамической – точки зрения на самые различные явления природы и применять универсальный математический аппарат для описания различных явлений.

Цель учебной дисциплины – является формирование основополагающих представлений о динамических явлениях; величинах, характеризующих эти явления; законах, которым они подчиняются. Это включает в себя приобретение теоретических знаний и практических навыков решения задач качественной теории динамических систем, а также задач о ветвлении решений этих систем при изменении параметров (теории бифуркаций). Содержание курса направлено также на формирование у студентов современного естественнонаучного мировоззрения, развитие научного мышления и расширение их научно-технического кругозора.

Задачи учебной дисциплины: в результате изучения дисциплины обучающийся должен знать основные законы нелинейной динамики и положения теории бифуркаций; историю развития этой дисциплины как теории и её место в современном естествознании; основные термины и классификации; изучить методы и подходы нелинейной динамики и теории бифуркаций для решения задач динамического анализа для объяснения явлений и процессов в различных областях естествознания; овладеть практическими навыками использования математического аппарата нелинейной динамики и теории бифуркаций при решении стандартных задач динамического и бифуркационного анализа.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Предметом освоения дисциплины являются: качественная теория дифференциальных уравнений, используемая для анализа нестационарных процессов в динамических системах; классификация и структура аттракторов динамических систем, их характеристик; понятийный и математический аппарат теории бифуркаций, описывающей ветвление стационарных и нестационарных решений дифференциальных уравнений при изменении параметра; аналитические методы и численные алгоритмы динамического и бифуркационного анализа.

1.3. Входные требования

Для освоения дисциплины «Нелинейная динамика и теория бифуркаций» обучающийся используют знания, умения и навыки, сформированные при изучении дисциплин следующих блоков учебной программы:

1. Непрерывные математические модели
2. Введение в синергетику
3. Моделирование сложных систем

Освоение дисциплины «Нелинейная динамика и теория бифуркаций» является основой для последующего изучения дисциплин из блоков:

1. Процессы самоорганизации в химии
2. Динамика генных цепей
3. Физико-химическая гидродинамика
4. Дискретные математические модели

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.5	ИД-1ПК-1.5	Знает концептуальные и теоретические основы теории динамических систем, основные законы нелинейной динамики и теории бифуркаций; историю развития этой дисциплины как теории и её место в математике и современном естествознании.	Знает классические результаты и последние достижения в механике жидкости, физико-химической гидродинамике, геномике и биоинформатике;	Дифференцированный зачет
ПК-1.5	ИД-2ПК-1.5	Умеет использовать методы и подходы нелинейной динамики и теории бифуркаций для решения задач динамического анализа для объяснения нестационарных явлений и процессов различной природы.	Умеет обосновывать выбор и творчески применять современные методы математического моделирования объектов и процессов на стыке механики жидкости, химии, биологии и информатики;	Курсовая работа
ПК-1.5	ИД-3ПК-1.5	Владеет методами математического анализа при решении стандартных задач динамического и бифуркационного анализа.	Владеет навыками разработки и анализа новых математических моделей сложных систем и процессов для междисциплинарных задач, сформулированных на стыке механики жидкости, химии, биологии и информатики.	Дифференцированный зачет

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	2
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	54	54	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	36	36	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	54	54	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9	9	
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18	18	
Общая трудоемкость дисциплины	108	108	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
2-й семестр				
Нелинейная динамика: понятие фазового пространства	2	0	2	6
Идея Пуанкаре. Теорема о существовании и единственности. Регулярность, детерминированность, обратимость уравнений динамики. Понятие фазового пространства. Классификация динамических систем. Дискретный и непрерывный оператор сдвига по времени. Фазовые траектории. Фазовый портрет системы. Нелинейные динамические системы. Метод качественного анализа динамических систем. Общая схема анализа. Пример анализа: плоский математический маятник с трением. Фазовый портрет маятника, основные виды траекторий, соответствие реальному поведению.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Регулярные аттракторы динамических систем	2	0	8	10
Аттракторы динамических систем. Понятие о гомоклинических и гетероклинических траекториях. Топологическая эквивалентность динамических систем. Понятие о грубости. Устойчивость положений равновесия. Классификация положений равновесия на плоскости. Положения равновесия в многомерных динамических системах.				
Странные аттракторы динамических систем	2	0	6	10
Понятие о детерминированном хаосе. Странный аттрактор. Фрактальные множества и их размерность. Множество Кантора. Странный аттрактор как фрактал. Вычисления фрактальной размерности. Сценарии перехода к хаосу. Система Лоренца. Классификация странных аттракторов. Примеры из разных областей естествознания. Хаос как высшая форма самоорганизации материи.				
Понятие о бифуркациях динамических систем	4	0	8	8
Ветвление решений динамических систем при изменении параметра. Понятие о бифуркации. Классификация бифуркаций аттракторов динамических систем. Параметрическое пространство. Коразмерность бифуркации. Нормальная форма бифуркации. Общая схема бифуркационного анализа.				
Нормальные формы основных бифуркаций	6	0	12	20
Бифуркация в простом собственном значении для положения равновесия. Вывод нормальной формы бифуркации. Метод многих временных масштабов. Условие разрешимости. Анализ нормальной формы бифуркации. Примеры бифуркации рождения – смерти в физике и природе. Симметрия. Роль симметрии в физике. Симметрия динамических систем. Вырождение решений динамических систем. Простейший случай дискретной симметрии. Вилочная бифуркация. Вывод и анализ нормальной формы бифуркации. Примеры бифуркации вилки в физике и природе. Понятие косимметрии. Случай аномального вырождения решений динамических систем. Возбуждение автоколебаний в динамической системе. Бифуркация Андронова-Хопфа. Вывод нормальной формы и ее анализ. Примеры бифуркации Андронова-Хопфа в физике и природе. Классификация бифуркаций предельного цикла и тора.				
ИТОГО по 2-му семестру	16	0	36	54
ИТОГО по дисциплине	16	0	36	54

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Анализ фазового портрета математического маятника
2	Анализ фазового портрета системы Лоренца
3	Расчет фрактальной размерности аттракторов
4	Бифуркационный анализ модели математического маятника
5	Бифуркационный анализ механической модели Йосса
6	Метод многих временных масштабов
7	Общая схема вывода нормальной формы бифуркации методом многих временных масштабов
8	Вывод нормальной формы бифуркации в модели Йосса
9	Вывод нормальной формы бифуркации Хопфа

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Полный бифуркационный анализ маятника Фруда
2	Вывод нормальной формы двойной бифуркации Хопфа
3	Численное изучение нелинейной динамики и проведение бифуркационного анализа для заданной системы 3-его порядка
4	Численное моделирование бифуркаций двумерных торов

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и творческих методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Бутенин Н. В. Введение в теорию нелинейных колебаний : учебное пособие для вузов / Н. В. Бутенин, Ю. И. Неймарк, Н. А. Фуфаев. - Москва: Наука, Физматлит, 1987.	8
2	Кузнецов А.П. Нелинейные колебания : учебное пособие для вузов / А.П. Кузнецов, С.П. Кузнецов, Н.м. Рыскин. - М.: Физматлит, 2005.	5
3	Малинецкий Г.Г. Нелинейная динамика и хаос. Основные понятия / Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов. - М.: URSS, 2006.	1
4	Трубецков Д. И. Введение в синергетику. Хаос и структуры / Д. И. Трубецков. - Москва: Либроком, 2014.	1
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Баутин Н. Н. Методы и приёмы качественного исследования динамических систем на плоскости / Н. Н. Баутин, Е. А. Леонтович. - Москва: Наука, 1990.	6
2	Берже П. Порядок в хаосе: о детерминистском подходе к турбулентности : пер. с фр. / П. Берже, И. Помо, К. Видаль. - Москва: Меркурий-Пресс, 2000.	1
3	Ван Д. Нормальные формы и бифуркации векторных полей на плоскости : пер. с англ. / Д. Ван, Ч. Ли, Ш.-Н. Чоу. - Москва: Изд-во МЦНМО, 2005.	2
4	Странные аттракторы : сборник статей : пер. с англ. - Москва: Мир, 1981.	2
5	Юмагулов М. Г. Введение в теорию динамических систем : учебное пособие для вузов / М. Г. Юмагулов. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2015.	2
2.2. Периодические издания		
1	Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика : научно-технический журнал. - Саратов: , Изд-во СГУ, , 1993 - .	

2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	Двумерные динамические системы в приложениях. Составители: Касаткина Ю.А., Митрякова Т.М. Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. – 47 с.	http://www.lib.unn.ru/students/src/twodynsys_appl.pdf	сеть Интернет; свободный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	MS Windows XP (подп. Azure Dev Tools for Teaching до 27.02.2022)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Mathematica Professional Version (лиц. L3263-7820*)

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	https://www.scopus.com/
База данных Springer Nature e-books	http://link.springer.com/ http://jwww.springerprotocols.com/ http://materials.springer.com/ http://zbmath.org/ http://npg.com/
База данных Web of Science	http://www.webofscience.com/
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	https://elibrary.ru/

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/
Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки	http://www.diss.rsl.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовая работа	Персональные компьютеры (локальная компьютерная сеть)	4
Лекция	Лекционная аудитория, оборудованная электронным проектором и экраном	1
Практическое занятие	Персональные компьютеры (локальная компьютерная сеть)	4

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе
