

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: _____ **Моделирование сложных систем** _____
(наименование)

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

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

Общая трудоёмкость: _____ **180 (5)** _____
(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

Дисциплина «Моделирование сложных систем» относится к обязательной части образовательной программы. 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, а также изучение вопроса о возникновении в процессе эволюции новой сложности. Эти проблемы являются предметом изучения синергетики, теории динамических систем и вычислительной математики. Таким образом, дисциплина «Моделирование сложных систем» является междисциплинарной, делая акцент на динамических свойствах изучаемых систем и способах самоорганизации в них. Методы и подходы синергетики широко используются в других курсах образовательной программы, таких как "Введение в синергетику", "Процессы самоорганизации в химии", "Физико-химическая гидродинамика", "Динамика генных цепей" и т.д. Как известно, теория динамических систем и синергетика являются одними из самых плодотворных математических теорий, продолжающими бурно развиваться. Поэтому формирование у студентов представлений о синергетике занимает важное место в различных дисциплинах программы, часто оно входит в них в неявном виде. Такой подход имеет большое методологическое значение, так как дает возможность студентам взглянуть с единой – синергетической – точки зрения на самые различные явления природы и производства.

Целью дисциплины «Моделирование сложных систем» является получение студентами основополагающих представлений о динамических явлениях в самоорганизующихся сложных системах, состоящих из большого числа элементов, эволюционирующих по времени и по пространству; величинах, характеризующих эти явления; законах, которым они подчиняются; методах научного познания природы и формирование на этой основе представлений о физической картине мира; знакомство с основами синергетики и теории динамических систем как одной из фундаментальных физических и математических теорий. Содержание курса направлено на формирование у студентов единого естественнонаучного мировоззрения, развитие научного мышления и расширение их научно-технического кругозора. Дисциплина «Моделирование сложных систем» способствует формированию представлений о физической картине мира как основе целостности и многообразия природы.

Перечислим задачи учебной дисциплины. В результате изучения дисциплины обучающийся должен: знать историю развития представлений о сложных системах как теории, и её место в современном естествознании; знать основные термины и классификации теории сложных систем; изучить методы и подходы теории сложных систем для решения задач динамического анализа с целью объяснения явлений и процессов в различных областях естествознания; овладеть практическими навыками системного использования математического аппарата теории сложных систем при решении стандартных задач моделирования.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Предметом освоения дисциплины являются следующее: динамический и статистический подходы к описанию сложных динамических систем различной природы; понятие о формах и условиях самоорганизации в сложных системах; сложные социальные системы и основы теории графов; элементарные клеточные автоматы, способы их задания и численного моделирования; сложные системы, которые включают элементы с индивидуальной динамикой, а также численные алгоритмы, которые используются для их исследования.

1.3. Входные требования

В связи с вышесказанным формируются главные требования, предъявляемые к курсу «Моделирование сложных систем». Первое из них заключается в мировоззренческой и методологической направленности курса. Необходимо сформировать у студентов единую, стройную, логически непротиворечивую физическую картину окружающего нас мира природы на основе его динамических свойств. Во-вторых, в рамках единого подхода необходимо рассмотреть основные положения теории сложных систем, установить связь между ними, получить их выражение в виде математических уравнений. При этом нельзя ограничиваться чисто понятийным подходом, а необходимо научить студентов количественно решать конкретные задачи в рамках принятых приближений, а также научить строить модели и исследовать их численно. Для освоения дисциплины студенты используют знания, умения и навыки, сформированные в рамках образовательной программы бакалавриата при изучении дисциплин следующих блоков учебной программы:

1. Общая физика
2. Высшая математика

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
ОПК-3	ИД-1ОПК-3	Знает методы и подходы, используемые при построении математических моделей сложных динамических систем.	Знает особенности применения методов моделирования, а также методов вычислительной математики при решении научных и прикладных задач.	Экзамен
ОПК-3	ИД-2ОПК-3	Умеет обосновывать и выбирать известные или формулировать новые математические модели для описания взаимодействия и эволюции сложных систем для исследования протекающих там процессов.	Умеет создавать математические модели и использовать их в научной и познавательной деятельности, обосновывать применение методов вычислительной математики в научной и познавательной деятельности	Экзамен
ОПК-3	ИД-3ОПК-3	Владеет навыками разработки моделей сложных динамических систем, а также методами и алгоритмами численного исследования разработанных моделей.	Владеет навыками профессиональными навыками создания и использования в научной и познавательной деятельности математических моделей, а также методов вычислительной математики.	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
УК-2	ИД-1УК-2.	Знает основные принципы составления отчетов, рефератов; подготовки публикаций и презентаций.	Знает методы представления и описания результатов проектной деятельности; методы, критерии и параметры оценки результатов выполнения проекта; принципы, методы и требования, предъявляемые к проектной работе.	Экзамен
УК-2	ИД-2УК-2.	Умеет правильно составлять фразы в рамках стиля научной публикации; составлять план отчета, свободно писать научные тексты на заданную тему или тему исследования.	Умеет обосновывать практическую и теоретическую значимость полученных результатов; проверять и анализировать проектную документацию; прогнозировать развитие процессов в проектной профессиональной области; выдвигать инновационные идеи и нестандартные подходы к их реализации в целях реализации проекта; рассчитывать качественные и количественные результаты, сроки выполнения проектной работы.	Экзамен
УК-2	ИД-3УК-2.	Владеет техникой составления заявки на проведение научно-исследовательских работ и отчета о проделанной работе; владеет навыками руководства научно-исследовательскими коллективами, распределением ролей в этих коллективах и организацией наиболее эффективной работы; владеет техникой написания научных статей; создания презентаций для конференции, всей линейкой приемов техникой написания научных статей и	Владеет навыками управления проектами в области, соответствующей профессиональной деятельности, в том числе: навыками распределения заданий и побуждения других к достижению целей; навыками управления разработкой технического задания проекта, управления реализацией профильной проектной работы; управления процессом обсуждения и доработки проекта; навыками разработки программы реализации проекта в профессиональной области; навыками органи	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		создания презентаций для конференции	-зации проведения профессионального обсуждения проекта, участия в ведении проектной документации; навыками проектирования план-графика реализации проекта; определения требований к результатам реализации проекта, участия в научных дискуссиях и круглых столах.	

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	56	56	
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)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	88	88	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	180	180	

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
1-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Синергетика сложных динамических систем	2	0	4	10
Синергетика как наука. Основные принципы самоорганизации. Макроскопический и микроскопический уровни. Теория диссипативных систем Пригожина. Единые формы спонтанной самоорганизации материи. Примеры из разных областей естествознания. Хаос как высшая форма самоорганизации материи. Понятие о сложных системах. Классификация сложных систем. Характерные черты процесса самоорганизации на разных уровнях организации материи. Проблема качественного скачка из одного уровня в другой. Основные принципы функционирования сложных систем: образование «дальней связи» в среде, взаимокорреляции, отрицательная и положительная обратная связь, стохастичность и детерминированность. Основные формы структурообразования в сложных системах.				
Динамика гранулированных сред	2	0	2	12
Пример сложной физической системы, состоящей из большого числа гранул различной формы. задача о куче Евбулида. Структурообразование при равномерном подсыпании гранул в кучу. Задача о гранулярной среде, находящейся под воздействием высокочастотных вибраций. Структура оживленного слоя.				
Социальная сеть как сложная система	4	0	6	16
Рассматриваются вопросы, связанные с базовыми понятиями в анализе социальных сетей, такими как комплексные сети, степенные законы распределения, случайные графы, малый мир и т.д. Особое внимание уделяется метрикам, используемым при анализе социальных сетей, и их содержательной интерпретации.				
Простейшие клеточные автоматы	4	0	12	22
Понятие клеточного автомата. Терминология описания клеточных автоматов. Стандартная форма записи правил. Примеры клеточных автоматов. Клеточные автоматы как средство имитационного моделирования. Игра "Жизнь". Основные принципы функционирования модели. Динамика и паттерны. Автомат фон Неймана, модель сегрегации Шеллинга. Связь с фракталами. Фрактальная размерность.				
Имитационные модели с индивидуальной динамикой	4	0	12	28
Новое поколение клеточных автоматов. Модели с индивидуальной динамикой. Гибридные модели. Пример 1: динамика толпы, паникующей в				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
пространстве замкнутого помещения. Использование молекулярной динамики, учитывающей действие как физических, так и социально-психологических сил. Алгоритм расчета для сложно разветвлённых помещений. План индивида по выходу из помещения, стохастически трансформирующийся в процессе эволюции. Калибровка модели с помощью данных, появившихся в результате пожара в ночном клубе «Хромая лошадь» (Пермь, 2009 г.) Значение для виртуального тестировать зданий на предмет их безопасности для людей. Пример 2: поведение императорских пингвинов при вынашивании потомства в ходе антарктической зимовки.				
ИТОГО по 1-му семестру	16	0	36	88
ИТОГО по дисциплине	16	0	36	88

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Расчет энтропии для равновесно-однородной, равновесно-неоднородной и неравновесной газовой системы согласно теореме Климонтовича.
2	Расчет характеристик для сложных сетевых сообществ с помощью теории графов.
3	Численное моделирование клеточных автоматов Вольфрама.
4	Расчет динамики клеточного автомата "Жизнь" Конвея.
5	Численное моделирование динамики паникующей толпы в рамках модели Хелбинга.
6	Численное моделирование динамики паникующей толпы в многоуровневом разветвленном помещении.
7	Численное моделирование поведения императорских пингвинов в рамках модели с индивидуальной динамикой.
8	Численное моделирование процесса заживления раны в эпителии в рамках модели Писмена-Сальма
9	Численное моделирование процесса развития опухолевых структур в клеточной ткани эпителия.

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	Нестационарные структуры и диффузионный хаос / Т. С. Ахромеева [и др.]. - Москва: Наука, 1992.	4
2	Паршаков А. Н. Введение в синергетику : курс лекций / А. Н. Паршаков, Д. А. Брацун. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2019.	5
3	Сычев В. В. Сложные термодинамические системы / В. В. Сычев. - Москва: Изд-во МЭИ, 2009.	1
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Булавин Л. А. Компьютерное моделирование физических систем : учебное пособие / Л. А. Булавин, Н. В. Выгорницкий, Н. И. Лебовка. - Долгопрудный: Интеллект, 2011.	4

2	Пелюхова Е. Б. Синергетика в физических процессах: самоорганизация физических систем : учебное пособие / Е. Б. Пелюхова, Э. Е. Фрадкин. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2018.	1
3	Пригожин И. Р. Порядок из хаоса : новый диалог человека с природой : пер. с англ. / И. Р. Пригожин, И. Стенгерс. - М.: Едиториал УРСС, УРСС, 2003.	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)
Дополнительная литература	А. Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов Основы теории сложных систем. — М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. — 620 с.	http://chaos.phys.msu.ru/loskutov/PDF/Loskutov.pdf	сеть Интернет; свободный доступ
Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	Гусарова Н.Ф. Анализ социальных сетей. Основные понятия и метрики. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 67 с.	http://books.ifmo.ru/file/pdf/2073.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	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567

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/
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/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
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
