

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и
дизайна»
(СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ
Директор ВШТЭ



Рабочая программа дисциплины

Б1.В.ДВ.02.01 Математическая биология

Учебный план: _____ ФГОСЗ++b010302БИ-1_22-14.plx

Кафедра: Прикладной математики и информатики

Направление подготовки:
(специальность) 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Профиль подготовки:
(специализация) Биоинформатика

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоё мкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
	Лекции	Практ. занятия				
6	УП	17	34	56,75	0,25	Зачет
	РПД	17	34	56,75	0,25	
Итого	УП	17	34	56,75	0,25	
	РПД	17	34	56,75	0,25	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10.01.2018 г. № 9

Составитель (и):

старший преподаватель

Леонова Н.Л.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой прикладной математики и информатики

Яковлев В.П.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Яковлев В.П.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цель дисциплины: Изучить основы и методы математического моделирования различных биологических процессов и научиться применять полученные знания и навыки для решения профессиональных задач

1.2 Задачи дисциплины:

- Изучить способы математической формализации типовых биологических процессов;
- Рассмотреть различных и наиболее часто используемые приемы моделирования сложных биологических систем и методы анализа моделей;
- обсудить применение различных вычислительных схем расчета моделей;
- ознакомиться с классическими моделями в биологии и продемонстрировать значение математического и компьютерного моделирования для понимания природы биологических процессов и функционирования биологических систем;
- рассмотреть современное состояние математической биологии и обсудить новые направления исследований в области математической биологии.

1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Методы анализа органических соединений

Биостатистика

Тестирование программного обеспечения биоинформационных систем

Основы химии

Введение в биоинформатику

2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ПК-8: Способен анализировать результаты тестирования в области биоинформатики

Знать: об универсальных свойствах биологических систем и способах их моделирования.

Уметь: строить математические модели биологических систем, проводить их качественный анализ, сравнивать результаты моделирования с экспериментальными данными.

Владеть: современным арсеналом методов моделирования динамических процессов и способами их качественного анализа и компьютерной реализации

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий	Форма текущего контроля
		Лек. (часы)	Пр. (часы)			
Раздел 1. Математические методы в исследовании биологических систем.						
<p>Тема 1. Введение. Математические модели в биологии.</p> <p>Понятие модели. Объекты, цели и методы моделирования. Модели в разных науках. Компьютерные и математические модели. История первых моделей в биологии. Современная классификация моделей биологических процессов. Регрессионные, имитационные, качественные модели. Принципы имитационного моделирования и примеры моделей. Специфика моделирования живых систем.</p>		1	3	4	АС	
<p>Тема 2. Модели биологических систем, описываемые одним дифференциальным уравнением первого порядка.</p> <p>Модели, приводящие к одному дифференциальному уравнению. Понятие решения одного автономного дифференциального уравнения. Стационарное состояние (состояние равновесия). Устойчивость состояния равновесия. Методы оценки устойчивости. Критерий Ляпунова. Решение линейного дифференциального уравнения. Примеры: Модели роста численности популяции. Непрерывные модели: экспоненциальный рост, логистический рост, модели с наименьшей критической численностью. Модели с неперекрывающимися поколениями. Дискретное логистическое уравнение. Диаграмма и лестница Ламерея. Типы решений при разных значениях параметра: монотонные и затухающие решения, циклы, квазистохастическое поведение, вспышки численности. Матричные модели популяций. Влияние запаздывания. Вероятностные модели</p>	6	2	4	8		О

<p>Тема 3. Модели, описываемые системами двух автономных дифференциальных уравнений.</p> <p>Фазовая плоскость. Фазовый портрет. Метод изоклин. Главные изоклины. Устойчивость стационарного состояния. Линейные системы. Типы особых точек: УЗЕЛ, СЕДЛО, ФОКУС, ЦЕНТР. Пример: химические реакции первого порядка.</p> <p>Исследование устойчивости стационарных состояний нелинейных систем второго порядка. Метод Ляпунова линеаризации систем в окрестности стационарного состояния. Примеры исследования устойчивости стационарных состояний моделей биологических систем. Уравнения Лотки. Уравнения Вольтерра. Метод функции Ляпунова.</p>	2	4	6,75		
<p>Тема 4. Модели взаимодействия видов. Моделирование биологических сообществ.</p> <p>Модель взаимодействия двух видов. Гипотезы Вольтерра. Аналогии с химической кинетикой. Вольтерровские модели взаимодействий. Классификация типов взаимодействий Конкуренция. Хищник-жертва. Обобщенные модели взаимодействия видов. Модель Колмогорова. Модель взаимодействия двух видов насекомых МакАртура. Параметрический и фазовые портреты системы Базыкина. Микробные популяции как объект моделирования и управления. Непрерывная культура микроорганизмов. Модель Моно. Микроэволюционные процессы в микробных популяциях. Возрастные распределения. Двухвозрастная модель. Непрерывные возрастные распределения. Стационарные состояния и динамические режимы в сообществе из трех видов. Трофические системы с фиксированным количеством вещества. Модель четырехвидовой системы.</p>	2	4	8		
<p>Раздел 2. Методологические особенности математической биофизики.</p>					0

<p>Тема 5. Быстрые и медленные переменные. Бифуркации и катастрофы. Мультистационарные системы.</p> <p>Метод квазистационарных концентраций. Теорема Тихонова. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Бифуркации динамических систем. Типы бифуркаций. Бифуркационные диаграммы и фазопараметрические портреты. Катастрофы. Мультистационарные системы. Триггер. Примеры систем с двумя устойчивыми стационарными состояниями. Конкуренция. Силовое и параметрическое переключение триггера. Эволюция. Отбор одного из двух и нескольких равноправных видов. Генетический триггер Жакоба и Моно.</p>	3	5	6		
<p>Тема 6. Колебания в биологических системах. Распределенные системы.</p> <p>Понятие автоколебаний. Изображение автоколебательной системы на фазовой плоскости. Предельные циклы. Условия существования предельных циклов. Рождение предельного цикла. Бифуркация Андронова - Хопфа. Мягкое и жесткое возбуждение колебаний. Модель брюсселятор. Примеры автоколебательных моделей процессов в живых системах. Колебания в темновых процессах фотосинтеза. Автоколебания в модели гликолиза. Внутриклеточные колебания концентрации кальция. Клеточные циклы.</p> <p>Распределенные системы. Активные автоволновые среды. Уравнение диффузии. Решение уравнения диффузии. Система реакция-диффузия. Неустойчивость гомогенного стационарного состояния. Распространение волны в системах с диффузией. Система реакция-диффузия для двух уравнений. Исследование устойчивости гомогенного стационарного состояния. Типы неустойчивостей. Распределенная система «Брюсселятор» как модель активной среды. Реакция Белоусова-Жаботинского. Модели окраски шкур животных</p>	2	6	8		

<p>Тема 7. Динамический хаос.</p> <p>Основные понятия теории динамических систем. Пределные множества. Аттракторы. Странные аттракторы. Динамический хаос. Линейный анализ устойчивости траекторий. Диссипативные системы. Устойчивость хаотических решений. Размерность странных аттракторов. Пространственно-динамический хаос в моделях кардиологии. Сердечные аритмии.</p>		3	4	8	АС	
<p>Тема 8. Метаболическое моделирование.</p> <p>Математическое моделирование метаболических путей. Стехиометрические и динамические модели. Анализ баланса метаболических потоков. Использование баз данных для построения метаболических моделей. Модели Ходжкина – Хаксли. Влияние слабых электромагнитных полей на биологические системы. Модель нелинейной системы трансмембранного переноса ионов. Типы поведения системы: затухающие колебания, триггер, автоколебания, динамический хаос. Поведение системы в присутствии переменного электрического поля. Частота воздействия как управляющий параметр. Резонансные свойства. Стохастический резонанс</p>		2	4	8		
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		17	34	56,75		
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)		0,25				
Всего контактная работа и СР по дисциплине		51,25		56,75		

4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПК-8	<p>1. Перечисляет и правильно выбирает основные методы, применяемые в анализе моделей и систем.</p> <p>2. Имеет представление о биологических, химических и экологических объектах и явлениях, анализирует научную литературу и формулирует основные принципы явлений.</p> <p>3. Использует знания математических методов в процессе анализа и обработки данных, связанных с разнообразными практическими процессами.</p>	<p>Вопросы устного собеседования</p> <p>Практико-ориентированные задания</p>

5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
Зачтено	Обучающийся: • ответил на поставленные вопросы; • выполнил практическое задание и представил результаты; возможно допуская несущественные ошибки.	
Не зачтено	Обучающийся: • не выполнил практическое задание; • не ответил на вопросы преподавателя, или допустил существенные ошибки в ответе.	

5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Семестр 6	
1	Цели и задачи математического моделирования в биологии. Методы математического моделирования, его место в структуре научного познания.
2	Модели и моделирование как теоретический метод исследований. Цели и задачи моделирования. Особенности биологических систем, которые необходимо учитывать при моделировании
3	Основные понятия системного анализа. Состав, структура и функция системы. Моделирующие отображение.
4	Классификация моделей. Основные виды математических моделей. Аналитические и численные модели.
5	Основные этапы научного исследования. Взаимосвязь математического моделирования с другими теоретическими и эмпирическими методами
6	Стационарное состояние. Проблема устойчивости стационарного состояния. Математическое определение устойчивости. Аттракторы и репеллеры.
7	Дифференциальные уравнения: размерность, переменные и параметры системы. Базовые модели.
8	Модели биологических систем, описываемые одним дифференциальным уравнением: аналитическое решение.
9	Качественное исследование устойчивости стационарного состояния систем, описываемых одним дифференциальным уравнением. Критерий устойчивости Ляпунова
10	Дискретное моделирование биологических систем: разностные модели
11	Дискретное моделирование биологических систем: матричные модели.
12	Качественное исследование систем двух дифференциальных уравнений: метод фазовых портретов, особая точка, векторное поле направлений траектории системы
13	Качественное исследование систем двух дифференциальных уравнений: метод изоклин. Главные изоклины. Определение угла пересечения координатных осей фазовыми траекториями.
14	Устойчивость стационарного состояния систем двух дифференциальных уравнений. Характеристическое уравнение, его вывод.
15	Виды устойчивости стационарного состояния в зависимости от корней характеристического уравнения.
16	Бифуркационная диаграмма.
17	Исследование модели линейных химических реакций.
18	Модель химических реакций Лотки, ее качественное исследование
19	Модели взаимодействия двух видов Вольтера. Основные положения, лежащие в основе моделей. Общий вид системы уравнений.
20	Модель «хищник-жертва», ее вид и качественное исследование. Недостатки модели.
21	Триггерные системы, их особенности. Параметрический и силовой способ переключения триггерных систем.
22	Модели взаимодействия 2 двух видов в условиях ограниченного роста. Триггерные свойства модели.
23	Модель Жакоба-Моно как триггерная система.
24	Бифуркация динамических систем. Типы переходов между особыми точками. Топологическая эквивалентность и коразмерность бифуркации. Типы бифуркаций.

25	Бифуркации – катастрофы. Катастрофы «складка» и «сборка». Условия их возникновения и модели для их описания
26	Предельный цикл – основа автоколебательных процессов в биологических системах. Условия его возникновения и устойчивость. Бифуркация АндроноваХопфа, ее отображение на бифуркационной диаграмме. Суперкритическая и субкритическая бифуркации
27	Модель «Брюсселятор». Качественное исследование и условия возникновения автоколебаний.
28	Возникновение предельного цикла в моделях, описывающих биологические системы (на выбор).
29	Редукция числа переменных в моделях. Быстрые и медленные переменные.
30	Моделирование кинетики ферментативных реакций. Уравнение Миаэлиса-Ментен
31	Динамическое поведение систем дифференциальных уравнений в фазовом пространстве. Странные аттракторы. Динамический хаос. Странные аттракторы в биологических системах.
32	Фракталы и фрактальные множества. Размерность фракталов. Фрактальные свойства биологических систем.

5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено.

5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

1. Для кубического отображения вида найдите область устойчивости на плоскости параметров a, b ограниченную линией касательной бифуркации и линией удвоения периода. Покажите, что первая имеет точку сборки.

2. Постройте карту динамических режимов одного из предложенных отображений - т.е. плоскость параметров, на которой оттенком серого цвета обозначены циклы определенного периода. Линии каких бифуркаций коразмерности один можно обнаружить на вашей карте? Какие точки бифуркаций коразмерности два? Укажите ситуации типа "crossroad area" и "spring area". Создайте дополнительную программу, которая строит итерационные диаграммы в задаваемых вами точках карты. С помощью этой программы проведите следующее исследование:

а) выберите маршрут, пересекающий несколько линий удвоения и наблюдайте каскад удвоений периода на итерационной диаграмме;

б) получите циклы с небольшими периодами, например 3 или 5, в островках устойчивости в области хаоса;

в) выберите точку вблизи линии касательной бифуркации (до ее порога) и наблюдайте соответствующую эволюцию изображающей точки;

г) наблюдайте хаотические режимы;

д) исследуйте эволюцию аттракторов в окрестности точки сборки;

е) исследуйте эволюцию аттракторов в окрестности критической точки линии удвоения периода (flip-бифуркации коразмерности два).

"Просмотрите" увеличенные фрагменты карты, внутри которых можно наблюдать интересную динамику.

5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная + Письменная Компьютерное тестирование Иная

5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Зачет проводится в компьютерном классе с выходом в Интернет.

Возможность пользоваться справочным материалом.

Время на подготовку ответа 15 минут.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
6.1.1 Основная учебная литература				

Ризниченко, Г. Ю.	Математические модели в биофизике и экологии	Москва, Ижевск: Институт компьютерных исследований	2019	http://www.iprbooks.hop.ru/91957.html
Ризниченко, Г. Ю.	Лекции по математическим моделям в биологии. Ч.1	Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований	2019	http://www.iprbooks.hop.ru/92043.html
Гурьев, А. И.	Биофизика. Минимальный курс	Саратов: Вузовское образование	2020	https://www.iprbooks.hop.ru/99121.html
Ризниченко, Г. Ю.	Математические модели в биофизике и экологии	Москва, Ижевск: Институт компьютерных исследований	2019	https://www.iprbooks.hop.ru/91957.html
6.1.2 Дополнительная учебная литература				
Шайтан, К. В., Буздин, А. А., Виноградова, Т. В., Лебедев, Ю. Б., Свердлов, Е. Д., Карговский, А. В., Митрофанов, В. В., Романовский, Ю. М., Антонов, В. Ф., Соболев, А. С., Розенкранц, А. А., Островский, М. А., Ризниченко, Г. Ю., Рубин, А. Б., Хебер, У., Ланге, О. Л., Шувалов, В. А., мл., А. А., Твердислов, В. А., Иваницкий, Г. Р., Деев, А. А., Хижняк, Е. П., Лось, Д. А., Аксенов, С. И., Бурлакова, Е. Б., Конрадов, А. А., Мальцева, Е. Л., Криксунов, Е. А., Бобырев, А. Е., Гун-Аажав, Т., Дамдинсурен, С., Цогбадрах, М., Борданова, О. С., Тумурбаатар, Д., Рубина, А. Б.	Проблемы регуляции в биологических системах. Биофизические аспекты	Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований	2019	http://www.iprbooks.hop.ru/91987.html
Артюхов, В. Г., Ковалева, Т. А., Наквасина, М. А., Башарина, О. В., Путинцева, О. В., Шмелев, В. П., Артюхова, В. Г.	Биофизика	Москва: Академический проект	2020	http://www.iprbooks.hop.ru/110045.html
Ризниченко, Г. Ю., Рубин, А. Б.	Биофизическая динамика продукционных процессов	Москва, Ижевск: Институт компьютерных исследований	2019	https://www.iprbooks.hop.ru/92032.html

6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>
Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>
Электронно-библиотечная система «Айбукс» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibooks.ru/>
Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Раздел. Информатика и информационные технологии» [Электронный ресурс].
Электронный журнал "Математическая биология и биоинформатика" [Электронный ресурс]. URL: <https://www.matbio.org/about.php>

6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

Microsoft: Windows Professional 10 Russian Upgrade OLPNL AcademicEdition

Microsoft: Office Standard 2016 Russian OLP NL AcademicEdition

PTC Mathcad 15

6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Компьютерный класс	Мультимедийное оборудование, компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска