

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования\_  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

---

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 11 от 25.12.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Моделирование живых систем

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

02.04.01 - Математика и компьютерные науки

---

Направленность образовательной программы

Математика и компьютерные науки

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03 Моделирование живых систем относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен формировать новые направления научных исследований	<p>ПК-1.1: Знать научную проблематику и методы исследований соответствующей области знаний</p> <p>ПК-1.2: Уметь анализировать новую научную проблематику и обосновывать перспективы проведения исследований в соответствующей области знаний</p> <p>ПК-1.3: Иметь навыки планирования, организации и проведения научных исследований</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>основные методы построения базовых моделей живых систем в виде дифференциальных уравнений или их отображений; или в виде случайных процессов;</li> <li>методы нелинейной динамики для качественного исследования математических моделей живых систем;</li> <li>базовые методы численного исследования динамики систем.</li> </ul> <p>ПК-1.2:</p> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>строить и исследовать базовые модели живых систем;</li> <li>определять и профессионально реализовывать вычислительные алгоритмы, необходимые для решения задач в области динамики живых систем;</li> <li>проводить процедуры корректности и оптимизации работы реализуемых численных методов.</li> <li>адаптировать базовые модели живых систем для их применимости в научной и</li> </ul>	<p>Задания</p> <p>Собеседование</p>	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

		<p>практической деятельности;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• анализировать полученные результаты и применять их в прикладных задачах;</li> </ul> <p>профессионально адаптировать вычислительные алгоритмы, необходимые для решения прикладных задач в области динамики живых систем</p> <p>ПК-1.3:</p> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками программирования и работы на современных вычислительных платформах;</li> <li>• навыками работы с современными математическими приложениями</li> <li>• навыками развития и адаптации полученных знаний в дальнейшей научной и практической деятельности.</li> </ul>		
<p>ПК-2: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач</p>	<p>ПК-2.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-2.2: меет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-2.3: Имеет навыки разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p>	<p>ПК-2.1:</p> <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные факты, концепции и фундаментальные законы естественных наук, математики и информатики, на которые опирается изучение данной дисциплины;</li> <li>• базовые методы построения и исследования концептуальных моделей живых систем, условия их применимости и их место в современной научной картине мира.</li> </ul> <p>ПК-2.2:</p> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• применять углубленные знания прикладной математики и информатики;</li> <li>• разрабатывать и анализировать теоретические модели, необходимые для решения прикладных задач</li> </ul>	<p>Задания</p> <p>Собеседование</p>	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

		<p>динамики живых систем.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• применять теоретические знания для решения типовых заданий;</li> <li>• разрабатывать и использовать программное обеспечение для решения прикладных задач</li> </ul> <p>ПК-2.3: Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• математическим и алгоритмическим мышлением, математической культурой;</li> <li>• приемами аналитического и численного решения задач, интерпретации полученных результатов.</li> <li>• современными инструментальными вычислительными средствами.</li> </ul>		
--	--	---	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>16</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>16</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b>
	<b>Зачёт</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося,

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	часы
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Раздел 1. Синтетическая биология: математические модели генной регуляции: – исследование нелинейных динамических систем; – транскрипционная регуляция и синтез белков; – динамика сетей генной регуляции.	34	8	8	16	18
Раздел 2. Модели популяционной динамики: – линейные и нелинейные модели динамики численности популяций; – взаимодействие популяций.	19	4	4	8	11
Раздел 3. Модели нейродинамических систем: – устройство нейрона; – модели одиночного нейрона; – модель нейронной сети.	18	4	4	8	10
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	16	16	33	39

### Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Синтетическая биология: математические модели генной регуляции:

- исследование нелинейных динамических систем;
- транскрипционная регуляция и синтез белков;
- динамика сетей генной регуляции.

Раздел 2. Модели популяционной динамики:

- линейные и нелинейные модели динамики численности популяций;
- взаимодействие популяций.

Раздел 3. Модели нейродинамических систем:

- устройство нейрона;
- модели одиночного нейрона;
- модель нейронной сети.

### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

Электронные курсы, созданные в системе электронного обучения ННГУ:

Моделирование живых систем, <https://e-learning.unn.ru/enrol/index.php?id=6183>.

Иные учебно-методические материалы:

Тематика самостоятельной работы:

1. Синтетическая биология: математические модели генной регуляции:

- транскрипционная регуляция, формализм Хилла;
- построение математических моделей химических реакций;

- синтез и распад белков;
  - методы построения математических моделей генных сетей в виде дифференциальных уравнений и их систем;
  - методы построения и исследования случайных математических моделей генных сетей;
  - моделирование и исследование различных типов генных сетей: авторепрессор, бистабильный элемент, генный осциллятор.
2. Модели популяционной динамики:
- моделирование и исследование динамики взаимодействующих популяций с различным типом взаимодействия: «хищник-жертва», конкуренция, симбиоз.
3. Модели нейродинамических систем:
- моделирование и исследование моделей одиночного нейрона;
  - моделирование и применение нейронных сетей.

## **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

1. Решить численно уравнения движения авторепрессора с задержкой по времени, построить бифуркационную карту динамических режимов. Графически показать типичные реализации стационарной и автоколебательной динамики при различных параметрах системы.
2. Численно реализовать алгоритм Гилеспи для простейшей реакции распада белка. Исследовать пределы малых и больших начальных концентраций белка. Сравнить численный результат с аналитическим решением.
3. Записать модель одноклеточного генетического осциллятора (репресселятора). Используя произвольные начальные условия и параметры численно решить уравнения движения системы: построить простейшие схемы интегрирования различной точности (например, метод Эйлера и метод Рунге-Кутты различных порядков точности). Сравнить результаты интегрирования, численные погрешности в схемах различной точности.
4. Записать и теоретически исследовать модель интегрирующего нейрона. Численно решая уравнения системы определить период генерации спайков в случае постоянного входящего сигнала (при заданных начальных параметрах).

#### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

1. Используя формализм Хилла, записать математическую модель авторепрессора. Показать, что система авторепрессора имеет единственное устойчивое состояние равновесия.

2. Записать и теоретически исследовать модель эпидемии. Используя качественные методы нелинейной динамики показать все возможные динамические режимы.
3. Используя знания о методах построения дифференциальных уравнений простейших химических реакций построить модель, описывающую простейшую энзимную деградацию белка.
4. Записать непрерывную нелинейную модель динамики популяции (уравнение Ферхюльста) и ее дискретный аналог (логистическое отображение). Найти состояния равновесия систем, исследовать их устойчивость. Нарисовать фазовый портрет (для непрерывной системы) и диаграмму Ламерея-Кенигса (для отображения). Показать совпадения и отличия моделей.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнена основная часть задания, возможно с незначительными недочетами
не зачтено	Выполнено менее половины задания, есть существенные недочеты

### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Модель эпидемии.
2. Математическая модель авторепрессора.
3. Математическая модель авторепрессора с задержкой по времени
4. Математическая модель бистабильного элемента.
5. Одиночный генетический осциллятор (репресселятор). Возникновение колебаний.
6. Случайные математические модели генных сетей. Алгоритм Гилеспи.
7. Модель мембраны нейрона.
8. Простейшие модели нейрона.
9. Система ФитцХью-Нагумо.
10. Система Ходжкина-Хаксли.
11. Принцип работы нейронных сетей.

#### **5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

1. Классификация состояний равновесия, исследование их устойчивости.
2. Основные бифуркации динамических систем.
3. Замкнутые фазовые траектории. Критерии отсутствия замкнутых фазовых траекторий.
4. Предельный цикл. Возникновение автоколебаний.
5. Численные методы отыскания неподвижных точек и периодических движений.
6. Отображение Пуанкаре. Матрица монодромии. Мультипликаторы периодических движений.
7. Сценарий перехода к хаосу. Хаотические колебания. Ляпуновские показатели.
8. Уравнения Мальтуса и Ферхюльста. Логистическое отображение.
9. Модели взаимодействующих популяций.
10. Построение моделей химических реакций.
11. Получение и принцип действия уравнений Хилла.
12. Ключевые этапы синтеза белков: процессы транскрипции и трансляции. Деградация белков.
13. Основные принципы транскрипционной регуляции: гены, промоторы, транскрипционные факторы.
14. Мембранный потенциал. Ионные токи. Каналы.

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале.

#### **5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации**

##### **Шкала оценивания сформированности компетенций**



Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Математическая модель авторепрессора.
2. Математическая модель бистабильного элемента.
3. Репресселятор. Возникновение колебаний.
4. Случайные математические модели генных сетей. Алгоритм Гилеспи.
5. Уравнения Мальтуса и Ферхюльста. Логистическое отображение.
6. Сценарий перехода к хаосу на примере логистического отображения. Хаотические колебания. Ляпуновские показатели.
7. Обобщенная модель Лоттки-Вольтерры.
8. Модель конкурирующих популяций.
9. Модель сотрудничающих популяций.
10. Модель эпидемии.
11. Мембранный потенциал. Ионные токи. Каналы.
12. Модель мембраны нейрона.
13. Система ФитцХью-Нагумо.

14. Система Ходжкина-Хаксли.
15. Простейшие модели нейрона.
16. Нейронные сети.

### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2**

1. Классификация состояний равновесия на прямой и на плоскости.
2. Исследование устойчивости состояний равновесия.
3. Основные бифуркации состояний равновесия.
4. Замкнутые фазовые траектории. Критерии отсутствия замкнутых фазовых траекторий.
5. Рождение предельных циклов. Возникновение автоколебаний.
6. Численные методы отыскания неподвижных точек и периодических движений.
7. Отображение Пуанкаре. Матрица монодромии. Мультипликаторы периодических движений.
8. Транскрипционная регуляция: гены, промоутеры, транскрипционные факторы.
9. Построение моделей химических реакций.
10. Уравнения Хилла.
11. Синтез белков: процессы транскрипции и трансляции. Деградация белков.

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач.

### **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

Основная литература:

1. Андронов А. А. Теория колебаний / перераб. и доп. Н. А. Железцова. - М. : Гос. изд-во физ.-мат.

лит., 1959. - 915 с. - 70.00., 58 экз.

#### Дополнительная литература:

1. Рабинович Михаил Израилевич. Введение в теорию колебаний и волн : учеб. пособие для физ. специальностей вузов. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. - 432 с. : ил. - 1.30., 161 экз.
2. Лаптева Т. В. Математические модели генной регуляции : учебно-методическое пособие / Лаптева Т. В., Иванченко М. В. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2017. - 24 с. - Рекомендовано методической комиссией института информационных технологий, математики и механики для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 01.03.02 и 01.04.02 «Прикладная математика и информатика». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Математика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730016&idb=0>.
3. Панкратова Е. В. Синхронизация хаотических колебательных процессов в сетях нейродинамических элементов : учебно-методическое пособие / Панкратова Е. В. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2017. - 54 с. - Рекомендовано методической комиссией института информационных технологий, математики и механики для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Математика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=729767&idb=0>.

#### Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. среда разработки Python, <https://docs.python.org/> (свободная лицензия Python Software Foundation License);
2. математические пакеты Mathematica и Mathcad (бессрочная лицензия от 2006/2007 гг при выполнении нац. проекта «Образование», ключи у системного администратора);
3. офисные приложения MS Excel и MS Word (бессрочная лицензия приобретена в 2006/2007 гг при выполнении нац. проекта «Образование», ключ у системного администратора).
4. Рубин А.Б. Биофизика. Учебное пособие. 1999. (свободный доступ по электронной ссылке <http://www.library.biophys.msu.ru/rubin/>)

#### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, специализированным оборудованием: доска; презентационное оборудование для проведения обсуждений и компьютерных демонстраций; компьютерной техникой с установленным лицензионным и/или свободно распространяемым программным обеспечением.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 02.04.01 - Математика и компьютерные науки.

Автор(ы): Лаптева Татьяна , кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Осипов Григорий Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.