

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  
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
Президиумом Ученого совет ННГУ  
протокол от  
«14» декабря 2021 г. № 4

## **Рабочая программа дисциплины**

**Моделирование живых систем**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

**магистратура**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

**02.04.01 Математика и компьютерные науки**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Математика и компьютерные науки**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

**очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2022 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Моделирование живых систем» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору). Код дисциплины **Б1.В.03**.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина <b>Б1.В.03</b> , «Моделирование живых систем» относится к части ООП направления подготовки 02.04.01 Математика и компьютерные науки, формируемой участниками образовательных отношений.

## 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	
<b>ПК-2.</b> Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	<b>ПК-2.1.</b> Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач	<u>Знать:</u> <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>	Собеседование
	<b>ПК-2.2.</b> Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач	<u>Уметь:</u> <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 динамики живых систем.</li> <li>• применять теоретические знания для решения типовых заданий;</li> <li>• разрабатывать и использовать программное обеспечение для решения прикладных задач</li> </ul>	Собеседование
	<b>ПК-2.3.</b> Имеет навыки разработки и анализа	<u>Владеть:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• математическим и алгоритмическим мышлением,</li> </ul>	Задача (практическое задание)

	концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач	<p>математической культурой;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• приемами аналитического и численного решения задач, интерпретации полученных результатов.</li> <li>• современными инструментальными вычислительными средствами.</li> </ul>	
<b>ПК-1.</b> Способен формировать новые направления научных исследований	<b>ПК-1.1.</b> Знает научную проблематику и методы исследований соответствующей области знаний	<p><u>Знать:</u></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>	Собеседование
	<b>ПК-1.2.</b> Умеет анализировать новую научную проблематику и обосновывать перспективы проведения исследований в соответствующей области знаний	<p><u>Уметь:</u></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 практической деятельности;</li> <li>• анализировать полученные результаты и применять их в прикладных задачах; профессионально адаптировать вычислительные алгоритмы, необходимые для решения прикладных задач в области динамики живых систем</li> </ul>	Задача (практическое задание)
	<b>ПК-1.3</b> Имеет навыки планирования, организации и проведения научных исследований	<p><u>Владеть:</u></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>	Задача (практическое задание)

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>2 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>33</b>
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	0
- занятия лабораторного типа	16
- текущий контроль (КСР)	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация – зачет</b>	

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы. Из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
<b>Раздел 1. Синтетическая биология: математические модели генной регуляции:</b> – исследование нелинейных динамических систем; – транскрипционная регуляция и синтез белков; – динамика сетей генной регуляции.	34	8	–	8	16	18
<b>Раздел 2. Модели популяционной динамики:</b> – линейные и нелинейные модели динамики численности популяций; – взаимодействие популяций.	19	4	–	4	8	11
<b>Раздел 3. Модели нейродинамических систем:</b> – устройство нейрона; – модели одиночного нейрона; – модель нейронной сети.	18	4	–	4	8	10
Текущий контроль (КСР)	1	–	–	–	1	–
Промежуточная аттестация – зачет						
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>16</b>	<b>–</b>	<b>16</b>	<b>33</b>	<b>39</b>

Текущий контроль успеваемости реализуется в форме опросов на занятиях лабораторного типа, занятиях, задач (практических заданий) и теста.

На проведение практических занятий (лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 16 час.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- умения интерпретировать новую информацию в предметной области
- умения применять углубленные знания по прикладной математике.
- основных приемов проведения математических доказательств (компетенция - **ПК-2**).
- умения применять теоретические знания и практические навыки для решения типовых задач дисциплины (компетенция - **ПК-1**).

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (зачет).

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

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Моделирование живых систем» включает в себя: проработку учебного материала при подготовке к собеседованию (с использованием конспектов лекций и рекомендуемой литературы) и выполнение комплексных практических заданий под контролем преподавателя.

Тематика самостоятельной работы (примеры типовых заданий приведены в п. 5.2.2):

##### *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.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используется электронный курс «Моделирование живых систем», созданный в системе электронного обучения ННГУ - <https://e-learning.unn.ru/>.

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

**5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:**

##### **5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**

Уровень	Шкала оценивания сформированности компетенций
---------	---

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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	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 незначительными 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 владения материалом.  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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	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»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### 5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции
Классификация состояний равновесия на прямой и на плоскости.	ПК-2
Исследование устойчивости состояний равновесия.	ПК-2
Основные бифуркации состояний равновесия.	ПК-2
Замкнутые фазовые траектории. Критерии отсутствия замкнутых фазовых траекторий.	ПК-2
Рождение предельных циклов. Возникновение автоколебаний.	ПК-2
Численные методы отыскания неподвижных точек и периодических движений.	ПК-2
Отображение Пуанкаре. Матрица монодромии. Мультипликаторы периодических движений.	ПК-2
Транскрипционная регуляция: гены, промоутеры, транскрипционные факторы.	ПК-2
Уравнения Хилла.	ПК-2
Построение моделей химических реакций.	ПК-2

Синтез белков: процессы транскрипции и трансляции. Деградация белков.	ПК-2
Математическая модель авторепрессора.	ПК-1
Математическая модель бистабильного элемента.	ПК-1
Репресселятор. Возникновение колебаний.	ПК-1
Случайные математические модели генных сетей. Алгоритм Гилеспи.	ПК-1
Уравнения Мальтуса и Ферхюльста. Логистическое отображение.	ПК-2
Сценарий перехода к хаосу на примере логистического отображения. Хаотические колебания. Ляпуновские показатели.	ПК-2
Обобщенная модель Лоттки-Вольтерры.	ПК-2
Модель конкурирующих популяций.	ПК-2
Модель сотрудничающих популяций.	ПК-2
Модель эпидемии.	ПК-1
Мембранный потенциал. Ионные токи. Каналы.	ПК-2
Модель мембраны нейрона.	ПК-1
Система ФитцХью-Нагумо.	ПК-1
Система Ходжкина-Хаксли.	ПК-1
Простейшие модели нейрона.	ПК-1
Нейронные сети.	ПК-1

### 5.2.2. Типовые практические задания для оценки сформированности компетенции

#### Задания для оценки 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.



### **Задания для оценки 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).

### **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

#### **а) основная литература:**

1. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. - М.: Физматгиз. 1959. (61экз.)

#### **б) дополнительная литература:**

2. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1984. (170 экз.)
3. Математические модели генной регуляции. Учебно-методическое пособие/ Сост. Лаптева Т.В., Иванченко М.В. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2014. — 23 с. (свободный доступ по электронной ссылке <http://www.itmm.unn.ru/files/2016/09/Lapteva.pdf>)
4. Синхронизация хаотических колебательных процессов в сетях нейродинамических элементов: Учебно-методическое пособие/ Сост. Е.В. Панкратова. — Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2016. — 54 с. (свободный доступ по электронной ссылке [http://www.itmm.unn.ru/files/2016/07/PankratovaEV\\_posobie\\_2306.pdf](http://www.itmm.unn.ru/files/2016/07/PankratovaEV_posobie_2306.pdf))

#### **в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:**

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

### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного и лабораторного типа), оснащенные демонстрационным оборудованием и техническими средствами обучения: 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 3++ по направлению подготовки 02.04.01 «Математика и компьютерные науки»

Автор (ы):  
доцент каф. ТУДС, к.ф.-м.н. Лаптева Т.В

Зав. каф. ТУДС,  
д.ф.-м.н., проф Осипов Г.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 01.12.2021 года, протокол № 2.