

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Математическое моделирование живых систем

**Код модуля**  
1156741

**Модуль**  
Математическое моделирование живых систем

**Екатеринбург**

Оценочные материалы составлены автором(ами):

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия, имя, отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Соловьева Ольга Эдуардовна	доктор физико-математических наук, профессор	Профессор	вычислительной математики и компьютерных наук

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Ю.Д. Маева

**Авторы:**

- Соловьева Ольга Эдуардовна, Профессор, вычислительной математики и компьютерных наук

## 1. СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ **Математическое моделирование живых систем**

1.	Объем дисциплины в зачетных единицах	3	
2.	Виды аудиторных занятий	Практические/семинарские занятия	
3.	Промежуточная аттестация	Зачет	
4.	Текущая аттестация	Домашняя работа	5

## 2. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ИНДИКАТОРЫ) ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ **Математическое моделирование живых систем**

Индикатор – это признак / сигнал/ маркер, который показывает, на каком уровне обучающийся должен освоить результаты обучения и их предъявление должно подтвердить факт освоения предметного содержания данной дисциплины, указанного в табл. 1.3 РПМ-РПД.

Таблица 1

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)	Контрольно-оценочные средства для оценивания достижения результата обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-2 -Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты	Д-1 - Демонстрировать аналитические умения и креативное мышление Д-2 - Проявлять ответственность и настойчивость в достижении цели З-1 - Демонстрировать понимание принципов, особенностей и задач проведения фундаментальных и прикладных исследований, планирования модельных или реальных экспериментов П-1 - Иметь опыт проведения фундаментальных и прикладных исследований, модельных или реальных экспериментов с использованием современной	Домашняя работа № 1 Домашняя работа № 2 Домашняя работа № 3 Домашняя работа № 4 Домашняя работа № 5 Зачет

	<p>методологии, методов, оборудования и техники</p> <p>У-1 - Соотнести цель и задачи исследования с набором методов исследования, выбирать необходимое сочетание цели и средств при планировании исследований</p>	
<p>ОПК-3 -Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты исследований в профессиональной области</p>	<p>Д-1 - Демонстрировать умения анализировать и обобщать информацию, делать логические умозаключения</p> <p>З-1 - Демонстрировать понимание принципов и методов анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований, применяемых в профессиональной области</p> <p>П-1 - Формулировать обоснованные заключения и выводы по результатам анализа научной литературы, собственных экспериментальных данных и расчетно-теоретических работ</p> <p>У-1 - Анализировать результаты наблюдений и экспериментов, корректно интерпретировать их для формулирования заключений и выводов</p>	<p>Зачет</p> <p>Практические/семинарские занятия</p>
<p>ПК-6 -Способен анализировать и обосновывать адекватность математических моделей (Современные проблемы математики)</p>	<p>Д-1 - Демонстрировать умение обучаться на опыте</p> <p>З-1 - Формулировать методы и средства организации исследований и разработок</p> <p>З-2 - Определять методы решения задачи в конкретной области профессиональной деятельности</p> <p>П-1 - Осуществлять обоснованный выбор модели и методов проведения компьютерных экспериментов</p> <p>П-2 - Иметь практический опыт интерпретации получаемых результатов моделирования</p> <p>У-1 - Анализировать существующий опыт в</p>	<p>Домашняя работа № 1</p> <p>Домашняя работа № 2</p> <p>Домашняя работа № 3</p> <p>Домашняя работа № 4</p> <p>Домашняя работа № 5</p> <p>Зачет</p> <p>Практические/семинарские занятия</p>

	конкретной области компьютерного моделирования и анализа данных	
--	---	--

### 3. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ В БАЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЕ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА БРС)

#### 3.1. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

<b>1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – не предусмотрено</b>		
Текущая аттестация на лекциях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – <b>не предусмотрено</b>		
Промежуточная аттестация по лекциям – <b>нет</b> Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – <b>не предусмотрено</b>		
<b>2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 1</b>		
Текущая аттестация на практических/семинарских занятиях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<i>домашняя работа 1</i>	1,2	20
<i>домашняя работа 2</i>	1,3	20
<i>домашняя работа 3</i>	1,7	20
<i>домашняя работа 4</i>	1,11	20
<i>домашняя работа 5</i>	1,13	20
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям – <b>0.5</b>		
Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям – <b>зачет</b> Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по практическим/семинарским занятиям – <b>0.5</b>		
<b>3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий – не предусмотрено</b>		
Текущая аттестация на лабораторных занятиях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лабораторным занятиям – <b>не предусмотрено</b>		
Промежуточная аттестация по лабораторным занятиям – <b>нет</b>		

<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лабораторным занятиям – не предусмотрено</b>		
<b>4. Онлайн-занятия: коэффициент значимости совокупных результатов онлайн-занятий –не предусмотрено</b>		
<b>Текущая аттестация на онлайн-занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по онлайн-занятиям -не предусмотрено</b>		
<b>Промежуточная аттестация по онлайн-занятиям –нет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по онлайн-занятиям – не предусмотрено</b>		

### 3.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы/проекта

<b>Текущая аттестация выполнения курсовой работы/проекта</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<b>Весовой коэффициент текущей аттестации выполнения курсовой работы/проекта– не предусмотрено</b>		
<b>Весовой коэффициент промежуточной аттестации выполнения курсовой работы/проекта– защиты – не предусмотрено</b>		

## 4. КРИТЕРИИ И УРОВНИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ

4.1. В рамках БРС применяются утвержденные на кафедре/институте критерии (признаки) оценивания достижений студентов по дисциплине модуля (табл. 4) в рамках контрольно-оценочных мероприятий на соответствие указанным в табл.1 результатам обучения (индикаторам).

Таблица 4

### Критерии оценивания учебных достижений обучающихся

<b>Результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания учебных достижений, обучающихся на соответствие результатам обучения/индикаторам</b>
Знания	Студент демонстрирует знания и понимание в области изучения на уровне указанных индикаторов и необходимые для продолжения обучения и/или выполнения трудовых функций и действий, связанных с профессиональной деятельностью.
Умения	Студент может применять свои знания и понимание в контекстах, представленных в оценочных заданиях, демонстрирует освоение умений на уровне указанных индикаторов и необходимых для продолжения обучения и/или выполнения трудовых функций и действий, связанных с профессиональной деятельностью.
Опыт /владение	Студент демонстрирует опыт в области изучения на уровне указанных индикаторов.
Другие результаты	Студент демонстрирует ответственность в освоении результатов обучения на уровне запланированных индикаторов. Студент способен выносить суждения, делать оценки и формулировать выводы в области изучения.

	Студент может сообщать преподавателю и коллегам своего уровня собственное понимание и умения в области изучения.
--	--

4.2 Для оценивания уровня выполнения критериев (уровня достижений обучающихся при проведении контрольно-оценочных мероприятий по дисциплине модуля) используется универсальная шкала (табл. 5).

Таблица 5

### Шкала оценивания достижения результатов обучения (индикаторов) по уровням

Характеристика уровней достижения результатов обучения (индикаторов)				
№ п/п	Содержание уровня выполнения критерия оценивания результатов обучения (выполненное оценочное задание)	Шкала оценивания		
		Традиционная характеристика уровня		Качественная характеристика уровня
1.	Результаты обучения (индикаторы) достигнуты в полном объеме, замечаний нет	Отлично (80-100 баллов)	Зачтено	Высокий (В)
2.	Результаты обучения (индикаторы) в целом достигнуты, имеются замечания, которые не требуют обязательного устранения	Хорошо (60-79 баллов)		Средний (С)
3.	Результаты обучения (индикаторы) достигнуты не в полной мере, есть замечания	Удовлетворительно (40-59 баллов)		Пороговый (П)
4.	Освоение результатов обучения не соответствует индикаторам, имеются существенные ошибки и замечания, требуется доработка	Неудовлетворительно (менее 40 баллов)	Не зачтено	Недостаточный (Н)
5.	Результат обучения не достигнут, задание не выполнено	Недостаточно свидетельств для оценивания		Нет результата

## 5. СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ

### 5.1. Описание аудиторных контрольно-оценочных мероприятий по дисциплине модуля

#### 5.1.1. Практические/семинарские занятия

Примерный перечень тем

1. Знакомство с программной средой для моделирования биологических процессов - Cellular Open Resource. Модель Мальтуса
2. Модель Мальтуса. Численные методы решения модельной системы
3. Модели роста популяции. Модель Ферхюльста. Модель охоты.
4. Моделирование биохимических реакций. Ферментативная кинетика.

5. Биохимический триггер
6. Генетический триггер
7. Модель хищник-жертва
8. Модифицированная модель химических реакций Лотки.
9. Модели транспорта веществ через биомембраны. Модель кальциевого насоса.
10. Модели возбудимых сред. Модель Ходжкина-Хаксли.

#### Примерные задания

Формулировка целей и задач курса, место курса в профессиональной подготовке студентов, связь с другими дисциплинами. Обзор тем, рассматриваемых в рамках курса. Демонстрация достижений математической биологии в университетах и научных учреждениях России и ведущих международных центрах. Международные программы исследований в области математической биологии и биоинформатики.

Математическая биология. Понятие модели. Объект, цель и метод (средства) моделирования. Примеры простейших моделей, сформулированных в биологической постановке. Специфика моделей живых систем. Функции математических моделей живых систем.

Кинетические модели биологических систем, описываемые одним дифференциальным уравнением первого порядка. Модели роста популяции. Уравнение экспоненциального роста (уравнение Мальтуса). Модели роста популяции. Модель ограниченного роста, логистическое уравнение Ферхюльста. Учет «охоты» в динамике популяции, критические значения параметра «охоты», бифуркации. Дискретные модели популяций. Дискретное логистическое уравнение. Особенности динамики непрерывной и дискретной систем. Пример псевдохаотических решений в дискретной модели.

Кинетические модели, описываемые системами двух автономных дифференциальных уравнений. Качественные методы исследования динамической системы (в частности, системы обыкновенных дифференциальных уравнений). Фазовая плоскость, фазовые траектории, изоклины, особые точки. Оценка устойчивости системы. Типы особых точек и их характеристика. Бифуркационная диаграмма. Пример: кинетические уравнения Лотки.

Иерархия времен в биологических системах. Проблема быстрых и медленных переменных. Теорема Тихонова. Методы декомпозиции и редукции больших систем.

Закон действующих масс при моделировании биохимических реакций. Фермент-субстратная реакция Михаэлиса—Ментен. Математическая модель ферментативной реакции. Обезразмеривание системы как важный шаг исследования модели. Сингулярные системы. Метод квазистационарных решений. Скорость реакции как функция концентрации субстрата. Система фермент-субстрат-ингибитор.

Модели различных типов ингибирования ферментативных реакций как примеры различных видов регуляции в биологических системах. Конкурентное ингибирование. Неконкурентное ингибирование. Кооперативные явления в ферментативной кинетике, их моделирование. Кривая Хилла, методы оценки кинетических параметров ферментативных (биохимических) реакций. Ферментативная реакция с ингибированием субстратом.

Моделирование микробных популяций.

Понятие о биологических триггерах. Способы переключения в триггерных системах. Зависимость решений от параметров. Понятие о бифуркациях.



Модель отбора одного из равноправных. Модель генетического триггера Жакоба и Моно. Анализ системы 2-х ОДУ.

Ферментативная реакция с ингибированием субстратом как пример мультистационарной системы. Нелинейная система.

Колебания в биологических системах. Условия возникновения автоколебаний. Предельный цикл. Модель «Брюсселятор» как пример автоколебательной системы. Модели взаимодействия двух видов. Модель Вольтерра «Хищник-жертва», качественный анализ модели. Модель конкуренции. Обобщенная модель взаимодействия биологических видов типа «хищник-жертва».

Мембраны: строение, функция. Пассивный транспорт (диффузия). Уравнение диффузии. Закон Фика. Реакционно-диффузионное уравнение. Активный транспорт – клеточные насосы. Уравнение Нернста для равновесного потенциала. Уравнение Голдмана-Ходжкина-Каца. Понятие проницаемости и проводимости мембраны. Ионный транспорт через каналы. Основные свойства ионных каналов. Уравнение Нернста-Планка для электродиффузии. Физические принципы работы канала и модели каналов.

Мембранный потенциал покоя. Уравнения для равновесного мембранного потенциала. Мембранный потенциал действия. Связь между ионными токами и мембранным потенциалом. Нервный импульс. Описание ионных токов в классической модели Ходжкина—Хаксли. Качественный анализ модели Ходжкина—Хаксли. Её характеристика и значение для электрофизиологии клетки. Распространение импульса в возбудимой среде. Описание распространения электрической волны в одномерной возбудимой ткани с помощью кабельного уравнения.

Молекулярная организация сократительного аппарата миофибрилл. Связь сила-скорость мышцы: модель Хилла. Решение модели Хилла для изометрического тетануса. Решение модели Хилла для отпускания мышцы с постоянной скоростью. Мостиковая модель мышечного сокращения Хаксли. Уравнение для доли прикрепленных поперечных мостиков. Стационарный случай. Кусочное решение модели. Зависимость «сила-скорость» в модели мышечного сокращения Хаксли

Различные уровни организации биологической системы от органа к клетке и обратно: от молекулярного до органного уровня. Масштабы изменения величин, характерные времена процессов. Построение интегративных моделей, объединяющих различные уровни организации системы. Электромеханическое сопряжение в сердечных клетках. Моделирование электрических и механических явлений в сердечной мышце на микро- и макро-уровнях. Предсказания модели и их экспериментальная верификация.

LMS-платформа – не предусмотрена

## **5.2. Описание внеаудиторных контрольно-оценочных мероприятий и средств текущего контроля по дисциплине модуля**

Разноуровневое (дифференцированное) обучение.

## **Базовый**

### **5.2.1. Домашняя работа № 1**

Примерный перечень тем

1. Знакомство с программной средой для моделирования биологических процессов - Cellular Open Resource.

Примерные задания

Среда моделирования COR. Изучение среды разработки, создание тестовых примеров.

LMS-платформа – не предусмотрена

### **5.2.2. Домашняя работа № 2**

Примерный перечень тем

1. Методы системной биологии

Примерные задания

Математическая биология. Динамические и автономные системы. Качественные методы исследования динамической системы.

LMS-платформа – не предусмотрена

### **5.2.3. Домашняя работа № 3**

Примерный перечень тем

1. Моделирование биохимических реакций.

Примерные задания

Фермент-субстратная реакция Михаэлиса—Ментен. Конкурентное и неконкурентное ингибирование.

LMS-платформа – не предусмотрена

### **5.2.4. Домашняя работа № 4**

Примерный перечень тем

1. Генетический триггер

Примерные задания

Биологические триггеры. Бифуркации. Модель генетического триггера Жакоба и Моно.

LMS-платформа – не предусмотрена

### **5.2.5. Домашняя работа № 5**

Примерный перечень тем

1. Модель хищник-жертва

Примерные задания

Автоколебания. Предельный цикл. Модели взаимодействия двух видов. Модель Вольтерра «Хищник-жертва».

LMS-платформа – не предусмотрена

## **5.3. Описание контрольно-оценочных мероприятий промежуточного контроля по дисциплине модуля**

### **5.3.1. Зачет**

Список примерных вопросов

1. Математическая биология. Понятие модели. Объект, цель и метод (средства) моделирования. Примеры простейших моделей, сформулированных в биологической постановке. Специфика моделей живых систем. Функции математических моделей живых систем.
  2. Модели роста популяции. Уравнение экспоненциального роста. Ограниченный рост. Модель Ферхюльста с эффектом «охоты». Дискретные модели популяций. Дискретное логистическое уравнение.
  3. Кинетические уравнения Лотки. Иерархия времен в биологических системах. Проблема быстрых и медленных переменных. Иерархия времен в биологических системах. Теорема Тихонова.
  4. Ферментативная кинетика. Закон действующих масс. Фермент-субстратная реакция Михаэлиса—Ментен. Скорость реакции как функция концентрации субстрата. Система фермент-субстрат-ингибитор. Конкурентное ингибирование. Скорость реакции как функция концентрации субстрата. Система фермент-субстрат-ингибитор. Неконкурентное ингибирование. Скорость реакции как функция концентрации субстрата. Кооперативные явления в ферментативной кинетике. Скорость реакции как функция концентрации субстрата. Ингибирование субстратом. Скорость реакции как функция концентрации субстрата.
  5. Биологические триггеры. Способы переключения триггера. Модель отбора одного из равноправных. Генетический триггер Жакоба и Моно.
  6. Ферментативная реакция с ингибированием субстратом как пример мультистационарной системы.
  7. Моделирование микробных популяций. Колебания в биологических системах. Предельный цикл. Модель «Брюсселятор» как пример автоколебательной системы. Модели взаимодействия двух видов: Модель Вольтерра «Хищник-жертва», качественный анализ модели. Модели взаимодействия двух видов: Модель конкуренции. Модели взаимодействия двух видов: Обобщенная модель взаимодействия биологических видов типа «хищник-жертва».
  8. Транспорт веществ через клеточные мембраны. Уравнение диффузии. Реакционно-диффузионное уравнение. Уравнения для равновесного мембранного потенциала. Электродиффузия. Вывод уравнения Нернста из уравнения Нернста-Планка.
  9. Связь между ионными токами и мембранным потенциалом. Описание ионных токов в модели Ходжкина—Хаксли. Качественный анализ модели Ходжкина—Хаксли.
  10. Связь сила-скорость мышцы: модель Хилла. Решение модели Хилла для изометрического тетануса. Решение модели Хилла для отпускания мышцы с постоянной скоростью
  11. Мостиковая модель мышечного сокращения Хаксли. Уравнение для доли прикрепленных поперечных мостиков. Мостиковая модель мышечного сокращения Хаксли. Стационарный случай. Кусочное решение модели. Зависимость «сила-скорость» в модели мышечного сокращения Хаксли. Описание распространения электрической волны в одномерной возбудимой ткани с помощью кабельного уравнения.
- LMS-платформа – не предусмотрена

#### **5.4 Содержание контрольно-оценочных мероприятий по направлениям воспитательной деятельности**

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.