

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Саровский физико-технический институт -
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ФТФ, член корреспондент
РАН, д.ф.-м.н.

_____ А.К. Чернышев
« ____ » _____ 2023г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Математическое моделирование биологических процессов

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность)	<u>03.03.01 Прикладные математика и физика</u>
Наименование образовательной программы	<u>Физика живых систем</u>
Квалификация (степень) выпускника	<u>магистр</u>
Форма обучения	<u>очная</u>

Программа одобрена на заседании кафедры

Зав. кафедрой ТФ,

протокол № от 2023 г.

« ____ » _____ 2023 г.

г. Саров, 2023 г.

Программа переутверждена на 202___/202___ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.

Заведующий кафедрой ТФ,

Программа переутверждена на 202___/202___ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.

Заведующий кафедрой ТФ,

Программа переутверждена на 202___/202___ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.

Заведующий кафедрой ТФ,

Программа переутверждена на 202___/202___ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.

Заведующий кафедрой ТФ,

Программа переутверждена на 202___/202___ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.

Заведующий кафедрой ТФ,

Семестр	В форме практической подготовки	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	КР/КП	Форма(ы) контроля, экз./зач./ЗСО/
3	32	5	180	32	32		80	36	Экз.
ИТОГО	32	5	180	32	32		80	36	Экз.

АННОТАЦИЯ

Дисциплина "Математическое моделирование биологических процессов" изучает различные подходы к математическому описанию этапов и результатов физических и биофизических экспериментов различного типа. В ходе изучения дисциплины студенты изучают основы теории моделирования, учатся систематизировать информацию об объектах, системах или процессах и использовать типовые аппаратные и программные средства моделирования объектов и систем управления.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью данного курса является обучение основам планирования вычислительного эксперимента, математической обработки его результатов, а также разработке и исследованию математических моделей объектов и систем управления, которые позволят студентам успешно решать теоретические и практические задачи в профессиональной деятельности, связанной с построением математических моделей и отысканием оптимальных условий протекания сложных биологических процессов.

Задачами освоения дисциплины "Математическое моделирование биологических процессов" являются:

- изучение основ теории моделирования, классификации моделей и методов моделирования, принципов построения моделей, основных методов математического моделирования биологических систем и систем биологической регуляции;
- формирование умений систематизировать информацию об объектах, системах или процессах; осуществлять выбор наилучшего метода математического описания; выполнять оценку адекватности моделей; осуществлять оптимальный выбор программных средств для математического моделирования объектов и систем управления; интерпретировать и анализировать результаты моделирования.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Математическое моделирование биологических процессов» относится к вариативной части рабочего учебного плана программы «Физика живых систем» по направлению 03.04.01 «Прикладные математика и физика».

Для успешного освоения дисциплины «Математическое моделирование биологических процессов» необходимы компетенции, формируемые в результате освоения следующих дисциплин:

- Дифференциальные уравнения
- Вычислительная математика
- Общая физика
- Химия
- Биофизика клетки/биохимия метаболизма
- Теория колебаний
- Численные методы

Изучение дисциплины «Математическое моделирование биологических процессов» необходимо для успешного освоения следующих дисциплин:

- Молекулярная биология
 - Изучение дисциплины выступает опорой для прохождения преддипломной практики

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Профессиональные компетенции (ПК)

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
Тип задачи профессиональной деятельности: проектный			
Организация выполнения проектов исследовательской и инновационной направленности в качестве исполнителя, ответственного за выполнение отдельного направления работ	Модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, здравоохранения	ПК-11 Способен разрабатывать методики исследований, планировать экспериментальные и теоретические работы, формулировать план исследований, распределения задач и этапов их решения, разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с требованиями работодателя.	З-ПК-11 Знать основные методики, цели и задачи научно-прикладных проектов, разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых задач. У-ПК-11 Уметь формулировать план исследований, распределения задач и этапов их решения, разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с требованиями работодателя. В-ПК-11 Владеть навыками разработки теоретических моделей решаемых задач.

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
проектный			
Организация выполнения проектов исследовательской и инновационной направленности в качестве исполнителя, ответственного за выполнение отдельного направления работ	Моделирование в биофизике: физиология человека на разных уровнях (молекулярном, клеточном, органном, целого организма), биохимия, качественные и количественные раз-	ПК-18.1 Способен к выполнению научно-исследовательской деятельности в медико-биологической области: молекулярной и медицинской биофизике, анализу	З-ПК-18.1 Знать теоретические основы фундаментальных и медико-биологических наук, качественные и количественные различия между здоровьем и болезнью, этиология, патогенез и клинические проявле-

	<p>личия между нормальным и патологическим состоянием организма человека, методы математического моделирования и области их применения, компьютерные и программные средства моделирования, визуализации и описания исследования</p>	<p>результатов исследования</p>	<p>ния наиболее часто встречающихся заболеваний, принципы их профилактики, лечения, а также общие закономерности нарушений функций систем организма У-ПК-18.1 Уметь обосновывать научное исследование, анализировать современную биофизическую и медико-биологическую информацию по теме исследования, применять методы математического анализа, интерпретировать результаты исследования с целью выяснения механизмов развития патологических процессов В-ПК-18.1 Владеть навыками планирования и проведения перспективных исследований по биофизике, направленных на получение новых фундаментальных знаний о физико-химических механизмах функционирования человеческого организма в норме и при патологии</p>
		<p>ПК-18.2 Способен к проведению научных исследований в области медико-биологических дисциплин с использованием компьютерных средств и методов математического моделирования</p>	<p>З-ПК-18.2 Знать строение, основные закономерности развития и жизнедеятельности, функциональные системы организма человека, современные компьютерные технологии и их применение для обработки данных и реализации моделей, языки программирования, методы построения и ис-</p>

		<p>следования моделей физиологических систем</p> <p>У-ПК-18.2 Уметь использовать теоретические и экспериментальные данные в научно-исследовательской деятельности для построения математических и физических моделей изучаемых процессов с целью исследования свойств и поведения систем человеческого организма, применять компьютерные программные комплексы для поиска и интеллектуального анализа, визуализации данных, прогнозировать направление и результат физико-химических процессов, происходящих в клетках различных тканей организма человека</p> <p>В-ПК-18.2 Владеть навыками поиска и анализа публикаций в области научного исследования; проведения теоретических исследований с целью расширения научных знаний; анализа результатов медико-биологических исследований и определения сферы их применения; написания и публикации научных статей; разработки математических моделей функционирования органов и систем</p>
--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ*

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы					Текущий контроль (форма)*	Максимальный балл (см. п. 5.3)
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС			
Семестр № 3									
1.	Название раздела								
1.1.	Модели биологических систем, описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями.	1, 2	4	4		15			
1.2.	Исследование устойчивости стационарных состояний нелинейных систем второго порядка.	3, 4	4	4		15	УО		
1.3	Колебания в биологических системах.	5	2	2		10	УО		
	Рубежный контроль	6						Контр.	20
2.	Название раздела								
2.1.	Распределенные биологические системы.	7, 8, 9	6	6		20			
2.2.	Диссипативные структуры.	10,11	4	4		20	УО		
2.3	Модели распространения нервного импульса. Автоволновые процессы.	12,13	4	4		20	УО		
2.4	Распределенные триггеры и морфогенез.	14,15	4	4		20	УО		
	Рубежный контроль	16						Контр.	25
Промежуточная аттестация		Экзамен					36	0 - 50	
Посещаемость								5	
Итого:								100	

***Сокращение наименований форм текущего, рубежного и промежуточного контроля:**

УО – устный опрос

Контр. – контрольная работа

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Название раздела 1. Основные типы математических моделей в биологии	
1.1.	Модели биологических систем, описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями.	Специфика моделей живых систем. Идентификация параметров. Модели, приводящие к одному дифференциальному уравнению. Фазовые переменные. Стационарное состояние и его устойчивость. Методы оценки устойчивости.
1.2.	Исследование устойчивости стационарных состояний нелинейных систем второго порядка.	Фазовая плоскость. Фазовый портрет. Фазовая траектория. Метод изоклин. Устойчивость стационарного состояния линейных систем. Типы особых точек: узел, седло, фокус, центр. Бифуркационная диаграмма.
1.3.	Динамика моделей биологических систем.	Средние, быстрые и медленные переменные. Метод квазистационарных концентраций. Теорема Тихонова. Бифуркации динамических систем. Триггер. Системы с двумя устойчивыми стационарными состояниями. Конкуренция. Эволюция. Понятие автоколебаний. Предельные циклы. Бифуркация Андронова-Хопфа. Динамический хаос. Диссипативные системы. Атракторы.
2.	Название раздела 2. Модели распределенных биологических систем	
2.1.	Распределенные биологические системы.	Активные кинетические среды в живых системах. Проблема формообразования. Распространение волн возбуждения и возбудимая ткань. Пространственная структура и автоволновые процессы в химических и биохимических реакциях. Уравнение диффузии. Линейный анализ устойчивости гомогенных стационарных решений одного уравнения типа «реакция-диффузия».
2.2.	Диссипативные структуры.	Линейный анализ устойчивости гомогенных стационарных состояний системы двух уравнений типа «реакция-диффузия». Неустойчивость Тьюринга. Пространственно-временные режимы в системе реакция-электродиффузия. Реакция Белоусова-Жаботинского. Модель «орегонатор».
2.3.	Модели распространения нервного импульса. Автоволновые процессы.	Распространение нервного импульса. Модель Ходжкина-Хаксли. Редуцированная модель Фитцхью-Нагумо. Возбудимый элемент локальной системы. Подпороговое и надпороговое возбуждение. Бегущие импульсы.
2.4.	Распределенные триггеры и морфогенез.	Дифференцировка и морфогенез. Модель генетического триггера с диффузией. Генетический триггер с учетом диффузии субстратов.

Практические/семинарские занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Название раздела 1. Основные типы математических моделей в биологии	
1.1.	Модели биологических систем, описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями.	Непрерывные модели: экспоненциальный рост, логистический рост, модели с наименьшей критической численностью. Дискретное логистическое уравнение. Диаграмма и Лестница Ламерея. Влияние запаздывания. Вероятностные модели. Учет флуктуации среды.

1.2.	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.
1.3.	Динамика моделей биологических систем.	Модели отбора. Генетический триггер Жакоба и Моно. Брюсселятор. Колебания в гликолизе. Модель хищник-жертва.
2.	Название раздела 2. Модели распределенных биологических систем	
2.1.	Распределенные биологические системы.	Модель распространения фронта волны Петровского-Колмогорова-Пискунова. Взаимодействие процессов размножения и диффузии. Локальные функции размножения. Автомодельная переменная.
2.2.	Диссипативные структуры.	Распределенный брюсселятор. Локализованные диссипативные структуры. Уравнение реакция-электродиффузия для концентрации двух типов ионов вблизи клеточной мембраны.
2.3.	Модели распространения нервного импульса. Автоволновые процессы.	Детальные модели кардиомиоцитов. Автоволновые процессы и сердечные аритмии. Синхронизация. Ревербератор.
2.4.	Распределенные триггеры и морфогенез.	Модель гидры Гирера-Майнхардта. Моделирование раскраски шкур животных. Модели агрегации амёб.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

5.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Раздел	Темы занятий	Компетенция	Индикаторы освоения	Текущий контроль, неделя
Семестр 1				
Раздел 1	1.1. Модели биологических систем, описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями.	ПК-11 ПК-18.1 ПК-18.2	3-ПК-11;У-ПК-11; В-ПК-11	
			3-ПК-18.1;У-ПК-18.1; В-ПК-18.1	
	1.2. Исследование устойчивости стационарных состояний нелинейных систем второго порядка		3-ПК-18.2; У-ПК-18.2; В-ПК-18.2	
	1.3. Динамика моделей биологических систем.			УО - 5
Рубежный контроль		ПК-11 ПК-18.1 ПК-18.2	3-ПК-11;У-ПК-11; В-ПК-11	Контр -6
			3-ПК-18.1;У-ПК-18.1; В-ПК-18.1	
			3-ПК-18.2; У-ПК-18.2; В-ПК-18.2	
Раздел 2	2.1. Распределенные биологические системы.	ПК-11 ПК-18.1 ПК-18.2	3-ПК-11;У-ПК-11; В-ПК-11	
	2.2. Диссипативные структуры.		3-ПК-18.1;У-ПК-18.1; В-ПК-18.1	

	2.3. Модели распространения нервного импульса. Автоволновые процессы.			УО – 13
	2.4. Распределенные триггеры и морфогенез.		3-ПК-18.2; У-ПК-18.2; В-ПК-18.2	УО – 15
	Рубежный контроль	ПК-11 ПК-18.1 ПК-18.2	3-ПК-11; У-ПК-11; В-ПК-11	Контр – 16
3-ПК-18.1; У-ПК-18.1; В-ПК-18.1				
3-ПК-18.2; У-ПК-18.2; В-ПК-18.2				
	Промежуточная аттестация	ПК-11 ПК-18.1 ПК-18.2	3-ПК-11; У-ПК-11; В-ПК-11	Зачет
3-ПК-18.1; У-ПК-18.1; В-ПК-18.1				
3-ПК-18.2; У-ПК-18.2; В-ПК-18.2				

5.2. Примерные контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

5.2.1. Оценочные средства для текущего контроля (УО)

1. Модели, приводящие к одному дифференциальному уравнению.
2. Фазовые переменные.
3. Стационарное состояние и его устойчивость.
4. Дискретное логистическое уравнение.
5. Диаграмма и Лестница Ламерея.
6. Фазовая плоскость. Фазовый портрет. Фазовая траектория.
7. Метод изоклин.
8. Типы особых точек: узел, седло, фокус, центр.
9. Бифуркационная диаграмма.
10. Метод Ляпунова линеаризации систем в окрестности стационарного состояния.
11. Уравнения Лотки.
12. Уравнения Вольтерра.
- 13.
14. Метод квазистационарных концентраций.
15. Триггер.
16. Понятие автоколебаний.
17. Предельные циклы.
18. Бифуркация Андронова-Хопфа.
19. Распространение волн возбуждения и возбудимая ткань.
20. Уравнение диффузии.
21. Неустойчивость Тьюринга.
22. Реакция Белоусова-Жаботинского.
23. Модель «орегонатор».
24. Распределенный брюсселятор.
25. Модель Ходжкина-Хаксли.
26. Редуцированная модель Фитцхью-Нагумо.

27. Ревербератор.
28. Модель генетического триггера с диффузией.
29. Модель агрегации амёб.

5.2.2. Оценочные средства для рубежного контроля (вопросы для письменной контрольной работы)

1. Модели, приводящие к одному дифференциальному уравнению. Фазовые переменные. Стационарное состояние и его устойчивость. Методы оценки устойчивости.
2. Непрерывные модели: экспоненциальный рост, логистический рост, модели с наименьшей критической численностью. Дискретное логистическое уравнение.
3. Фазовая плоскость. Фазовый портрет. Фазовая траектория. Метод изоклин. Устойчивость стационарного состояния линейных систем. Типы особых точек: узел, седло, фокус, центр. Бифуркационная диаграмма.
4. Метод Ляпунова линеаризации систем в окрестности стационарного состояния. Уравнения Лотки. Уравнения Вольтерра.
5. Средние, быстрые и медленные переменные. Метод квазистационарных концентраций. Теорема Тихонова.
6. Бифуркации динамических систем. Триггер. Системы с двумя устойчивыми стационарными состояниями. Конкуренция. Эволюция. Понятие автоколебаний. Предельные циклы. Бифуркация Андронова-Хопфа.
7. Активные кинетические среды в живых системах. Проблема формообразования. Распространение волн возбуждения и возбудимая ткань. Пространственные структура и автоволновые процессы в химических и биохимических реакциях.
8. Уравнение диффузии. Линейный анализ устойчивости гомогенных стационарных решений одного уравнения типа «реакция-диффузия». Модель распространения фронта волны Петровского-Колмогорова-Пискунова.
9. Линейный анализ устойчивости гомогенных стационарных состояний системы двух уравнений типа «реакция-диффузия». Неустойчивость Тьюринга. Реакция Белоусова-Жаботинского. Модель «орегонатор».
10. Распространение нервного импульса. Модель Ходжкина-Хаксли. Редуцированная модель Фитцхью-Нагумо.

5.2.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации (примерные вопросы к зачету)

1. Специфика моделей живых систем. Идентификация параметров. Модели, приводящие к одному дифференциальному уравнению. Фазовые переменные. Стационарное состояние и его устойчивость. Методы оценки устойчивости.
2. Непрерывные модели: экспоненциальный рост, логистический рост, модели с наименьшей критической численностью. Дискретное логистическое уравнение. Диаграмма и Лестница Ламерея. Влияние запаздывания. Вероятностные модели. Учет флуктуации среды.
3. Фазовая плоскость. Фазовый портрет. Фазовая траектория. Метод изоклин. Устойчивость стационарного состояния линейных систем. Типы особых точек: узел, седло, фокус, центр.
4. Бифуркационная диаграмма. Метод Ляпунова линеаризации систем в окрестности стационарного состояния. Примеры исследования устойчивости стационарных состояний моделей биологических систем. Уравнения Лотки. Уравнения Вольтерра. Метод функции Ляпунова.
5. Средние, быстрые и медленные переменные. Метод квазистационарных концентраций. Теорема Тихонова. Бифуркации динамических систем.

6. Триггер. Системы с двумя устойчивыми стационарными состояниями. Конкуренция. Эволюция.
7. Понятие автоколебаний. Предельные циклы. Бифуркация Андронова-Хопфа. Динамический хаос. Диссипативные системы. Аттракторы. Модели отбора.
8. Генетический триггер Жакоба и Моно. Брюсселятор. Колебания в гликолизе. Модель хищник-жертва
9. Активные кинетические среды в живых системах. Проблема формообразования. Распространение волн возбуждения и возбудимая ткань. Пространственные структура и автоволновые процессы в химических и биохимических реакциях.
10. Уравнение диффузии. Линейный анализ устойчивости гомогенных стационарных решений одного уравнения типа «реакция-диффузия». Модель распространения фронта волны Петровского-Колмогорова-Пискунова.
11. Взаимодействие процессов размножения и диффузии. Локальные функции размножения. Автомоделная переменная.
12. Линейный анализ устойчивости гомогенных стационарных состояний системы двух уравнений типа «реакция-диффузия». Неустойчивость Тьюринга.
13. Пространственно-временные режимы в системе реакция-электродиффузия. Реакция Белоусова-Жаботинского. Модель «орегонатор». Распределенный брюсселятор.
14. Локализованные диссипативные структуры. Уравнение реакция-электродиффузия для концентрации двух типов ионов вблизи клеточной мембраны.
15. Распространение нервного импульса. Модель Ходжкина-Хаксли. Редуцированная модель Фитцхью-Нагумо.
16. Возбудимый элемент локальной системы. Подпороговое и надпороговое возбуждение. Бегущие импульсы. Детальные модели кардиомиоцитов. Автоволновые процессы и сердечные аритмии. Синхронизация. Ревербератор.
17. Дифференцировка и морфогенез. Модель генетического триггера с диффузией. Генетический триггер с учетом диффузии субстратов. Модель гидры Гирера-Майнхардта.
18. Моделирование раскраски шкур животных. Модели агрегации амёб.

5.3. Шкалы оценки образовательных достижений

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту,

75-84		C	если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ризниченко Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии. R&C Dynamics. Москва, 2011.
2. Волькенштейн М.В. Биофизика: учеб.пособие — СПб., Лань, 2012. — 608с.
3. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическое моделирование в биофизике. R&C Dynamics. Москва, 2004.

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При чтении лекционного материала используется электронное сопровождение курса: справочно-иллюстративный материал воспроизводится и озвучивается в аудитории с использованием проектора и переносного компьютера в реальном времени.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с ОС НИЯУ МИФИ (ФГОС) и учебным планом основной образовательной программы (программ).

Автор(ы): Докукина И.В., к. ф.-м.н., доцент кафедры высшей математики

Рецензент(ы):