

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского»

Институт биологии и биомедицины

---

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИББМ \_\_\_\_\_

Ведунова М.В.

« 30 » августа 2019 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**Математическое моделирование  
биологических систем**

\_\_\_\_\_  
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования  
**Специалитет**

Направление подготовки / специальность  
**30.05.03 Медицинская кибернетика**

Квалификация (степень)  
**Врач-кибернетик**

Форма обучения  
**Очная**

Нижегород

2019 год

## 1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Математическое моделирование биологических процессов» относится к вариативной части профессионального цикла Блока 1 «Дисциплины (модули)» ООП по специальности 30.05.03 «Медицинская кибернетика», дисциплины выбора, преподается на 3 курсе в 5 семестре.

Студенты к моменту освоения дисциплины «Математическое моделирование биологических процессов», согласно ФГОС ВО, ознакомлены с основными теоретическими понятиями и прикладными знаниями, полученными в рамках изучения дисциплин математики, химии, физики. К моменту изучения дисциплины у студентов присутствуют устойчивые представления, касающиеся понятийного аппарата в области математики и физики, студенты владеют основами навыками работы со специализированной литературой.

### Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у студентов целостного представления о математических моделях живых систем различного уровня и принципах их построения;
- освоение студентами методов исследования математических моделей и обучение их применению теоретических навыков построения и анализа математических моделей к конкретным исследуемым процессам.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-6: способность к применению системного анализа в изучении биологических систем  (начальный этап формирования)	<i>З (ПК-6) Знать</i> теоретические подходы и представления, лежащие в основе регрессионных, качественных и имитационных моделей; основы разработки регрессионных моделей, методы их построения на основе статистических данных и использования для прогнозирования практических результатов в области анализа и прогнозирования показателей здоровья населения. <i>У (ПК-6) Уметь</i> формулировать уравнения, описывающие выбранную модель; проводить анализ предложенных уравнений; выбирать тип и конкретный вид, осуществлять параметризацию и верификацию регрессионной математической модели, обеспечивающей оптимальное описание исследуемого процесса в рамках конкретной задачи в области анализа и прогнозирования показателей здоровья населения. <i>В (ПК-6) Владеть</i> навыками разработки математической модели конкретного биологического процесса; навыками разработки регрессионной модели исследуемого процесса в рамках конкретной задачи в области анализа и прогнозирования показателей здоровья населения.

Окончательное завершение формирования компетенций, предусмотренных в рамках данной дисциплины, происходит при прохождении производственной практики и подготовке ВКР.

### 3. Структура и содержание дисциплины (модуля)

Объем дисциплины (модуля) составляет 4 зачетные единицы, всего 144 часа, из которых 73 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов лабораторных работ, 36 часов практических работ, 1 час мероприятия промежуточной аттестации), 71 час составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица

Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы, из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Практические занятия	Занятия лабораторного типа	Всего	
Модуль 1: Основные типы математических моделей биологических процессов	27	8	2	10	17
Модуль 2: Методы исследования математических моделей	36	10	8	18	18
Модуль 3: Примеры математических моделей биологических процессов различного уровня	44	18	8	26	18
Модуль 4: Разработка математического описания конкретного биологического процесса и его анализ	36		18	18	18
Промежуточная аттестация	1	Зачет			
<b>ИТОГО</b>	<b>144</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>73</b>	<b>71</b>

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках семинарских занятий. Промежуточная аттестация осуществляется на зачете.

### Наименования практических занятий

<b>№№</b>	<b>Тип и название учебного модуля</b>	<b>Учебно-методическое обеспечение учебного модуля</b>
1.	Семинар: “Математическое моделирование биологических процессов: общие представления”	Обсуждение и вопросы
2.	Семинар: “Регрессионные модели биологических процессов: типы, теоретическое обоснование, область применения, примеры”	Обсуждение и вопросы
3.	Семинар: “Качественные модели биологических процессов: общие особенности, область применения, примеры”	Обсуждение и вопросы
4.	Семинар: “Имитационные модели биологических процессов: общие особенности, этапы разработки, область применения, примеры”	Обсуждение и вопросы
5.	Семинар: “Методы аналитического решения систем дифференциальных уравнений”	Обсуждение и вопросы
6.	Семинар: “Методы качественного решения «точечных» систем дифференциальных уравнений”	Обсуждение и вопросы
7.	Семинар: “Методы качественного решения систем дифференциальных уравнений с распределенными в пространстве параметрами”	Обсуждение и вопросы
8.	Семинар: “Методы численного решения дифференциальных уравнений”	Обсуждение и вопросы
9.	Семинар: “Модели на основе термодинамического подхода как пример обобщенного описания процессов в биосистемах”	Обсуждение и вопросы
10.	Семинар: “Некоторые подходы в рамках моделирования молекулярной динамики и области их применения”	Обсуждение и вопросы
11.	Семинар: “Моделирование на основе броуновской динамики: от пары "фермент-субстрат" до сложного	Обсуждение и вопросы

	ансамбля ферментов в электронно-транспортных цепях”	
12.	Семинар: “Математическое моделирование фотосинтеза как пример использования различных подходов и временных шкал к описанию биологического процесса”	Обсуждение и вопросы
13.	Семинар: “Математическое моделирование процессов мембранного транспорта”	Обсуждение и вопросы
14.	Семинар: “Математическое моделирование процессов биоэлектrogenеза у растительных и животных объектов: точечные и пространственные модели”	Обсуждение и вопросы
15.	Семинар: “Математическое моделирование процессов водного обмена у животных и растений: подходы и ограничения”	Обсуждение и вопросы
16.	Семинар: “Роль флуктуаций в живых системах и математические модели, позволяющие осуществить ее теоретический анализ”	Обсуждение и вопросы
17.	Семинар: “Популяционные и экологические модели”	Обсуждение и вопросы
18.	Самостоятельная работа студента по теме: “Выбор оптимального подхода для моделирования биологической системы при решении конкретной биологической задачи”	Задание и материалы для самостоятельной работы студента, научная литература
19.	Самостоятельная работа студента по теме: “Разработка схемы исследуемого процесса и формулировка уравнений”	Задание и материалы для самостоятельной работы студента, научная литература
20.	Самостоятельная работа студента по теме: “Анализ разработанной модели биологического процесса”	Задание и материалы для самостоятельной работы студента, научная литература, программные средства
21.	Подготовка студентом отчета по проведенной НИР «Разработка математического описания конкретного биологического процесса и его анализ»	Требования к содержанию и оформлению отчета

22.	Зачет по курсу “Математическое моделирование биологических процессов”	Материалы, обеспечивающие подготовку студента к зачету  Материалы для проведения зачета
-----	---	---

#### **4. Образовательные технологии**

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме практических и лабораторных занятий.

Проведение лабораторных занятий направлено на практическую подготовку студентов и базируется на самостоятельном изучении методического пособия, сдаче допуска к работе, последующем выполнении лабораторной работы и написания отчета по лабораторной работе.

Практические работы направлены на теоретическую и практическую подготовку студентов для успешного усвоения компетенции в форме проведения презентаций, устных докладов. По итогам прохождения практических занятий оценивается умение и владение материалом курса Математическое моделирование биологических процессов.

Формой промежуточного контроля знаний студентов по дисциплине является зачет, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

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

##### **5.1. Методические указания для обучающихся**

Самостоятельная работа направлена на изучение всех тем, рассмотренных на занятиях лабораторного и практического типа (согласно таблице Содержание дисциплины) и включает работу в читальном зале библиотеки и в домашних условиях, с доступом к ресурсам Интернет, а так же подготовка обучающимися докладов и презентаций по темам, представленным в таблице Содержание дисциплины (модуля).

*Цель самостоятельной работы* - подготовка современного компетентного специалиста и формирование способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа является наиболее деятельным и творческим процессом, который выполняет ряд дидактических функций: способствует формированию диалектического мышления, вырабатывает высокую культуру умственного труда, совершенствует способы организации познавательной деятельности, воспитывает ответственность, целеустремленность, систематичность и последовательность в работе студентов, развивает у них бережное отношение к своему времени, способность доводить до конца начатое дело.

##### **Изучение понятийного аппарата дисциплины**

Вся система индивидуальной самостоятельной работы должна быть подчинена усвоению понятийного аппарата, поскольку одной из важнейших задач подготовки современного грамотного специалиста является овладение и грамотное применение профессиональной терминологии. Лучшему усвоению и пониманию дисциплины помогут учебники, монографии, справочники и интернет ресурсы, указанные в списке литературы.

##### **Изучение тем самостоятельной подготовки по учебно-тематическому плану**

Особое место отводится самостоятельной проработке студентами отдельных разделов и тем по изучаемой дисциплине. В ходе самостоятельной работы студенты разрабатывают доклад и форму презентации изучаемого материала, что способствует увеличению объема знаний, выработке умений и навыков всестороннего овладения способами и приемами профессиональной деятельности.

##### **Работа над основной и дополнительной литературой**

Изучение рекомендованной литературы следует начинать с учебников и учебных пособий, затем переходить к научным монографиям и материалам периодических изданий.

Студент должен уметь самостоятельно подбирать необходимую для учебной и научной работы литературу. При этом следует обращаться к предметным каталогам и библиографическим справочникам, которые имеются в библиотеках.

Для аккумуляции информации по изучаемым темам рекомендуется формировать личный архив, а также каталог используемых источников, что может использоваться не только в рамках данного курса, но и для последующего написания дипломного проекта на выпускном курсе.

#### **Самоподготовка к практическим занятиям**

При подготовке к практическому занятию необходимо помнить, что данная дисциплина тесно связана с ранее изучаемыми дисциплинами.

На практических занятиях студент должен уметь последовательно излагать свои мысли и аргументировано их отстаивать. Для достижения этой цели необходимо:

- 1) ознакомиться с соответствующей темой программы изучаемой дисциплины;
- 2) осмыслить круг изучаемых вопросов и логику их рассмотрения;
- 3) изучить рекомендованную учебно-методическим комплексом литературу по данной теме;
- 4) ознакомиться с вопросами очередного практического занятия;
- 5) подготовить краткое выступление по каждому из вынесенных на практическое занятие вопросу.

Изучение вопросов очередной темы требует глубокого усвоения теоретических основ дисциплины, раскрытия сущности основных положений, проблемных аспектов темы и анализа фактического материала.

При презентации материала на практическом занятии можно воспользоваться следующим алгоритмом изложения темы: название, актуальность исследования, цели и задачи предмета исследования, оценка современного состояния вопроса, используемые материалы и методы исследования, выводы, перспективы развития и возможности внедрения. Время доклада – 7-10 минут. Презентация должна быть выполнена в программе PowerPoint. Презентация должна быть хорошо иллюстрирована (рисунками, схемами, таблицами), логически согласована с докладом. Желательно свободное изложение доклада без зачитывания печатного текста.

#### **Самостоятельная работа студента при подготовке к зачету.**

Промежуточной формой контроля успеваемости студентов является зачет.

Для успешного прохождения промежуточной аттестации рекомендуется в начале семестра изучить перечень вопросов к зачету по данной дисциплине, а также использовать в процессе обучения материалы, разработанные в ходе подготовки к практическим занятиям. Это позволит в процессе изучения тем сформировать более правильное и обобщенное видение существа того или иного вопроса за счет:

- а) уточняющих вопросов преподавателю;
- б) подготовки докладов по отдельным темам, наиболее заинтересовавшие студента;
- в) самостоятельного уточнения вопросов на смежных дисциплинах;
- г) углубленного изучения вопросов темы по учебным пособиям.

#### **Изучение сайтов по темам дисциплины в сети Интернет**

Ресурсы Интернет являются одним из альтернативных источников быстрого поиска требуемой информации. Их использование возможно для получения основных и дополнительных сведений по изучаемым материалам.

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

**6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования**

**ПК-6: способность к применению системного анализа в изучении биологических систем.**

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	не зачтено		зачтено				
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<i>Знать</i> теоретические подходы и представления, лежащие в основе регрессионных, качественных и имитационных моделей; основы разработки регрессионных моделей, методы их построения на основе статистических данных и использования для прогнозирования практических результатов в области анализа и прогнозирования показателей здоровья населения	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<i>Уметь</i> формулировать уравнения, описывающие выбранную модель; проводить анализ предложенных уравнений; выбирать тип и конкретный вид, осуществлять параметризацию и верификацию регрессионной математической модели, обеспечивающей оптимальное описание исследуемого процесса в рамках конкретной задачи в области анализа и прогнозирования показателей здоровья населения	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<i>Владеть</i> навыками разработки математической модели конкретного биологического процесса; навыками разработки регрессионной модели исследуемого процесса	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач	Продемонстрированы творческий подход к решению



в рамках конкретной задачи в области анализа и прогнозирования показателей здоровья населения	навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	навыки. Имели место грубые ошибки	некоторые недочеты	мелкие недочеты	ошибки и недочеты	без ошибок и недочетов	иногда нестандартных задач
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	21 – 49 %	50 – 69 %	70-79 %	80 – 89 %	90–99%	100%

## 6.2 Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета. Зачет проводится в устной форме. Устная часть зачета заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть зачета предусматривает разбор конкретной математической модели биологического процесса.

### Критерии оценивания ответа на зачете:

Зачтено	Удовлетворительный ответ на теоретический вопрос и успешная разработка математической модели конкретного биологического процесса.
Не зачтено	Недостаточный ответ на теоретический вопрос и (или) не подготовленная модель конкретного биологического процесса.

## 6.3 Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих сформированность компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- устные ответы на вопросы при представлении презентации и доклада по темам курса;
- тестирование;
- письменные ответы на вопросы контрольных работ;
- устные ответы на вопросы при фронтальном опросе на занятиях;
- индивидуальный устный ответ по тематике занятия.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания, включающих одну или несколько задач (вопросов);
- допуск к лабораторным занятиям, включающий полный спектр знаний и навыков, необходимых для успешного выполнения лабораторной работы.

Для проведения итогового контроля сформированности компетенции используются: устный опрос, решение практических задач.

## 6.4 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции

Примеры вопросов для устных опросов:

1. Общие представления о математическом моделировании биологических процессов. Понятие моделирования. Физические и математические модели. Преимущества и недостатки математического моделирования.
2. Регрессионные модели биологических процессов. Типы регрессионных моделей. Теоретическое обоснование их применимости. Область применения таких моделей. Определение параметров регрессионных моделей и оценка эффективности описания ими исследуемого процесса. Примеры моделей.
3. Качественные модели биологических процессов. Общие особенности. Область применения качественных моделей и их ограничения. Примеры качественных моделей.
4. Имитационные модели биологических процессов. Общие особенности данной группы моделей. Этапы их разработки и подходы к параметризации и верификации. Область применения имитационных моделей. Примеры имитационных моделей.
5. Методы аналитического решения систем дифференциальных уравнений.
6. Методы качественного решения «точечных» систем дифференциальных уравнений.
7. Методы качественного решения систем дифференциальных уравнений с распределенными в пространстве параметрами.
8. Методы численного решения дифференциальных уравнений.
9. Модели на основе термодинамического подхода как пример обобщенного описания процессов в биосистемах. Область применения и исходные допущения таких моделей. Примеры.
10. Некоторые подходы в рамках моделирования молекулярной динамики. Область применения таких моделей. Подходы к ускорению их численного анализа.

#### Примеры тестов:

1. Для упрощения систем уравнений, описывающих биологические процессы с различными характерными временами, может быть использован: метод

- А. Эйлера.
- Б. разделения переменных.
- В. быстрых и медленных переменных.
- Г. Монте-Карло.

2. Для оценки эффективности описания экспериментальных данных регрессией может быть использован метод:

- А. Фурье.
- Б. наименьших квадратов.
- В. разделения переменных.
- Г. Ляпунова.

#### Примеры ситуационных задач:

1. При анализе скорости перехода электрона с  $Q_A$  на  $Q_B$  в фотосистеме Пвысших растений выявлено, что при увеличении концентрации рост скорости переноса происходит линейно. Оценить применимость закона действующих масс в данной ситуации, обосновать полученный вывод. Записать уравнение для скорости переноса.

2. Адаптировать уравнение Гольдмана-Ходжкина-Катца для стационарного диффузионного потенциала к описанию потенциала покоя, включающего в себя метаболическую компоненту. Примем при этом, что метаболическая компонента –  $H^+$ -АТФаза плазматической мембраны (случай высших растений).

### **6.5 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания**

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 29.12.2017 г. № 630-ОД.

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

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

### **а) основная литература:**

Динамические системы и модели в биологии [Электронный ресурс] / Братусь А.С., Новожилов А.С., Платонов А.П. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922111928.html>

Физика и биофизика. Руководство к практическим занятиям [Электронный ресурс] : учебное пособие / Антонов В.Ф., Черныш А.М., Козлова Е.К., Коржуев А.В. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2013. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970426777.html>

Физика и биофизика [Электронный ресурс]: учебник / В. Ф.Антонов, Е. К. Козлова, А. М. Черныш. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2015. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970435267.html>

### **б) дополнительная литература:**

Некоркин В. И. - Лекции по основам теории колебаний: учеб. пособие для студентов ННГУ, специализирующихся в области радиофизики, приклад. математики и мат. моделирования. - Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2012. - 311 с.

Оптимальное управление биологическими сообществами [Электронный ресурс] / Андреева Е.А. - Архангельск: ИД САФУ, 2014. Режим доступа:

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785261008804.html>

Нелинейная динамика и управление. Вып. 8. - М.: Физматлит, 2013. - 336 с. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922115643.html>

### **в) Интернет-ресурсы:**

ЭБС «Юрайт». Режим доступа: <http://biblio-online.ru>.

ЭБС «Консультант студента». Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru>.

ЭБС «Лань». Режим доступа: <http://e.lanbook.com/>.

ЭБС «Znanium.com». Режим доступа: [www.znanium.com](http://www.znanium.com).

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

Учебные аудитории для проведения занятий семинарского и лабораторного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации, укомплектованные специализированной мебелью и техническими средствами обучения (демонстрационное оборудование – проектор, ноутбук, экран), помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВО по специальности 30.05.02 «Медицинская биофизика».

Автор \_\_\_\_\_ к.б.н., доц. кафедры биофизики Сухов В.С.

Рецензент \_\_\_\_\_ Якимов В.Н., д.б.н., доцент кафедры экологии

Заведующий кафедрой биофизики \_\_\_\_\_ д.б.н., доц. Воденеев В.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии Института биологии и биомедицины от «30» августа 2019 года, протокол № 14.