

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Институт прикладной математики и компьютерных наук

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор



А. В. Замятин

« 15 » июля 20 23 г.

Рабочая программа дисциплины

**Нелинейные методы в биофизике**

по направлению подготовки

**01.04.02 Прикладная математика и информатика**

Направленность (профиль) подготовки :

**Интеллектуальный анализ больших данных**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистр**

Год приема

**2023**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.02.05

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

А.В. Замятин

Председатель УМК

С.П. Сущенко

Томск – 2023

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-4 – способность определять проблемную ситуацию, ставить задачи анализа данных в области профессиональной деятельности, выбрать методы и использовать специализированные знания для её решения.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-4.1 Определяет проблемную ситуацию и ставит задачу анализа данных в области профессиональной деятельности.

ИПК-4.2 Собирает и обрабатывает данные в области профессиональной деятельности, знает и использует специфику таких данных.

ИПК-4.3 Выбирает методы анализа данных в области профессиональной деятельности.

ИПК-4.4 Разрабатывает концепцию и техническое задание на решение задачи в области профессиональной деятельности на основе анализа данных.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Дать студентам знания в области современных проблем и новейших достижений физики и биофизики и научить применять результаты научных исследований в научно-исследовательской работе.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль «Биоинформатика и биомедицина».

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Третий семестр, зачет

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины обучающийся должен владеть основными понятиями и методами дифференциального и интегрального исчисления, линейной алгебры, теории обыкновенных дифференциальных уравнений, математической физики, теории вероятностей. Особенно важно для понимания данного курса знать основные понятия теории обыкновенных дифференциальных уравнений, теории вероятностей, уравнений математической физики, их применений к конкретным математическим моделям в биофизике.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

-лекции: 16 ч.

-лабораторные: 32 ч.

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

### **Раздел 1. Введение. Математические модели в биологии.**

Общая характеристика моделей биологических систем и процессов. Цели моделирования. Физическое моделирование и компьютерное моделирование. Математическое моделирование. Примеры простейших моделей. Классификация моделей.

**Раздел 2.** Модели, описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями.

Моделирование роста колоний микроорганизмов с помощью дифференциального уравнения. Стационарное состояние. Устойчивость. Дифференциальное уравнение Ферхюльста. Дискретный аналог уравнения Ферхюльста. Модель Моно. Базовая модель конкуренции.

### **Раздел 3. Модель Лоттки-Вольтерра и ее модификации.**

Кинетические уравнения химических реакций. Классическое уравнение Вольтерра. Модели типа «хищник-жертва». Затухающие и незатухающие колебания. Модели взаимодействия видов. Модель Колмогорова. Модели проточной культуры микроорганизмов. Возрастные распределения.

**Раздел 4.** Пространственно-временная самоорганизация в биосистемах. Самоорганизация в нелинейных системах. Активные распределенные системы. Механизмы переноса вещества. Диффузионный механизм. Закон Фика. Волны в биосистемах.

### **Раздел 5. Системы реакционно-диффузионного.**

Реакция-диффузия. Диссипативные структуры. Модель Тьюринга. Устойчивость стационарного состояния. Биологический морфогенез.

### **Раздел 6. Автоволны и диссипативные структуры.**

Модель «брюсселятор». Автоволны. Модели морфогенеза. Концентрационные колебания. Пространственно-временные режимы. Реакция Белоусова-Жаботинского.

### **Раздел 7. Модель Фишера-Колмогорова-Петровского-Пискунова.**

Динамика биологической популяции одного вида. Модель Фишера-Колмогорова-Петровского-Пискунова (ФКПП). Динамические режимы.

### **Раздел 8. Обобщенная модель ФКПП.**

Нелокальные взаимодействия в популяции, нелокальное обобщение модели ФКПП. Одномерная модель. Пространственно-неоднородные состояния.

### **Раздел 9. Распространение электрических импульсов в биоткани.**

Возбудимые и невозбудимые клетки. Генерация нервного импульса. Модель Ходжкина-Хаксли и модель Фитцхью –Нагумо, общие понятия.

### **Раздел 10. Физико-математические модели возбуждений в ДНК.**

Простейшие модели: модели эластичного стержня. Модель двух полинуклеотидных цепочек. Модель Ингландера на основе уравнения синус-Гордона (СГ).

### **Раздел 11. Солитонные возбуждения в модели синус-Гордона.**

Понятие о солитонах. Решение уравнения СГ в виде кинка. Учет влияния внешних факторов на динамику кинка.

### **Раздел 12. Фрактальные подходы в моделировании биосистем.**

Представления о фракталах. Фрактальные свойства в живых системах. Фрактальные ветвящиеся структуры в живой природе. Фрактальная организация клеток.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, выполнения контрольных работ, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Тематика контрольных работ:

Контрольное задание № 1.

1. Математическое моделирование. Примеры простейших моделей. Классификация моделей.
2. Стационарное состояние. Устойчивость.
3. Дифференциальное уравнение Ферхюльста.

#### Контрольное задание №2

1. Дискретный аналог уравнения Ферхюльста.
2. Базовая модель конкуренции.
3. Кинетические уравнения химических реакций.

#### Контрольное задание №3

Вариант 1.

1. Классическое уравнение Вольтерра. Модель типа «хищник-жертва».
2. Затухающие и незатухающие колебания.
3. Модели проточной культуры микроорганизмов.

Вариант 2.

1. Модель Тьюринга. Устойчивость стационарного состояния.
2. Модель «брюсселятор».
3. Модель Фишера-Колмогорова-Петровского-Пискунова.

### ВОПРОСЫ К КОЛОКВИУМУ

#### Вариант №1

1. Общая характеристика моделей биологических систем и процессов. Физическое моделирование и компьютерное моделирование.
2. Кинетические уравнения химических реакций. Классическое уравнение Вольтерра.

### ВОПРОСЫ К КОЛОКВИУМУ

#### Вариант № 2

1. Моделирование роста колоний с помощью дифференциального уравнения. Стационарное состояние. Устойчивость.
2. Модель Тьюринга. Устойчивость стационарного состояния. Морфогенез.

### ВОПРОСЫ К КОЛОКВИУМУ

#### Вариант № 3

1. Модель Колмогорова. Модели проточной культуры микроорганизмов.
2. Концентрационные колебания.

### ВОПРОСЫ К КОЛОКВИУМУ

#### Вариант № 4

1. Модель Лоттки-Вольтерра.
2. Модель Фишера-Колмогорова-Петровского-Пискунова.

### ВОПРОСЫ К КОЛОКВИУМУ

#### Вариант № 5

1. Распространение электрических импульсов в биоткани.
2. Модели возбуждений в ДНК.

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация проводится в форме устного зачета, который предусматривает дифференцированное оценивание ответа (0-40 баллов). Каждый экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов, относящихся к различным разделам физики. К зачету допускаются только студенты, успешно прошедшие текущую аттестацию и выполнившие все практические задания.

### **Перечень вопросов, выносимых на зачет.**

1. Моделирование биологических систем и процессов. Примеры простейших моделей. Классификация моделей.
2. Моделирование роста колоний микроорганизмов с помощью дифференциального уравнения.
3. Стационарное состояние. Устойчивость по Ляпунову.
4. Дифференциальное уравнение Ферхюльста. Дискретный аналог уравнения Ферхюльста.
5. Модель Моно. Базовая модель конкуренции.
6. Кинетика уравнения химических реакций. Закон действующих масс. Кинетические уравнение.
7. Пример: уравнение Вольтерра-Лоттки. Колебательный режим.
8. Модели взаимодействия видов. Модель Колмогорова.
9. Модели проточной культуры микроорганизмов.
10. Самоорганизация в нелинейных системах. Активные распределенные системы.
11. Механизмы переноса вещества. Диффузионный механизм. Закон Фика.
12. Волны в биосистемах.
13. Реакция-диффузия. Диссипативные структуры.
14. Модель Тьюринга. Устойчивость стационарного состояния.
15. Модель «брюсселятор». Стационарное состояние. Условие неустойчивости.
16. Концентрационные колебания.
17. Модель Фишера-Колмогорова-Петровского-Пискунова.
18. Нелокальное обобщение модели ФКПП.
19. Возбудимые и невозбудимые клетки. Генерация нервного импульса.
20. Моделирование возбуждений в ДНК. Модель двух полинуклеотидных цепочек.
21. Модель Ингландера на основе уравнения синус-Гордона.
22. Решение уравнения СГ в виде кинка. Учет влияния внешних факторов на динамику кинка.
23. Фрактальные свойства в живых системах.

## **11. Учебно-методическое обеспечение**

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle»

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

## **12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет**

а) основная литература:

– Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б. Математические методы в биологии и экологии. Биофизическая динамика продукционных процессов. В 2 частях. Часть 1. – М.: Юрайт, 2016. – 254 с.

– Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б. Математические методы в биологии и экологии. Биофизическая динамика продукционных процессов. В 2 частях. Часть 2.– М.: Юрайт, 2016. – 345 с.



- Марри Дж. Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии. Лекции о моделях: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 397 с.
- Базыкин А.Д. Нелинейная динамика взаимодействующих популяций. – Москва-Ижевск: ИКИ, 2003. – 368 с.
- Романовский Ю.М. Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическая биофизика. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 304 с.
- Свирежев Ю.М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 368 с.

б) дополнительная литература:

- Исаева В.В., Каретин Ю.А., Чернышев А.В., Шкуратов Д.Ю. Фракталы и хаос в биологическом морфогенезе. — Владивосток: Изд-во Институт биологии моря ДВО РАН, 2004. — 128 с.
- Кистенев Ю.В., Шаповалов А.В. Введение в теорию фракталов (учебное пособие). — Томск, 2003. — 161 с. Изд-во ТПУ.
- Федер Е. Фракталы. Пер. с англ. — М.: Мир, 1994. — 254 с.
- Гардинер К. В. Стохастические методы в естественных науках. — М.: Мир, 1986. — 528 с.
- Шаповалов А.В. Введение в нелинейную физику (учебное пособие). – Томск: Изд-во ТПУ. 2002. – 129 с.
- Скоринкин А.И. Математическое моделирование биологических процессов. – Казань: Казан. ун-т, 2015. – 86 с.
- Шаповалов А.В., Краснобаева Л.А. Солитоны уравнения синус-Гордона: учебное пособие. — Томск: Изд-во ТГУ, 2009. — 192 с.
- Krainov A.Yu., Moiseeva K.M., Shapovalov A.V. Thermal interaction of biological tissue with nanoparticles heated by laser radiation// Proc. SPIE 2015. V. 9810, article No 981020 (7pp.). XII International Conference on Atomic and Molecular Pulsed Lasers, doi:10.1117/12.2225585
- Levchenko E.A., Shapovalov A.V., Trifonov A.Yu. Asymptotics semiclassically concentrated on curves for the nonlocal Fisher–Kolmogorov–Petrovskii–Piskunov equation//J. Phys. A: Math. Theor. 2016 V. 49, 305203 (17pp)

в) ресурсы сети Интернет:

- <http://dx.doi.org/10.1088/1751-8113/49/30/305203>
- <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1751-8113/49/30/305203/meta>

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

При осуществлении образовательного процесса предполагается использование мультимедийных технологий, электронных ресурсов и коммуникационных технологий, включая сайт физического факультета, социальные сети, электронную почту, личные сайты преподавателей.

б) информационные справочные системы:

- Лекции Ризниченко Г.Ю.:

<http://www.library.biophys.msu.ru/LectMB/>

<http://mathbio.ru/lectures/>

<http://mathbio.ru/seminar/>

<http://www.dmb.biophys.msu.ru/models>

<http://www.apmath.spbu.ru/ru/education/courses/special/smirnova.html>

- Качественный анализ нелинейных моделей биологических и социально-экономических систем:

<http://www.apmath.spbu.ru/ru/education/courses/special/smirnova.html>

– Лекции по математическому моделированию в биологии:

[http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/22207/06\\_44\\_001048.pdf](http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/22207/06_44_001048.pdf)

– Свойства биологических тканей”

[http://www.imp.uran.ru/sites/default/files/mono/files/bookkobelev\\_nelenejnye\\_vyazkouprugie.pdf](http://www.imp.uran.ru/sites/default/files/mono/files/bookkobelev_nelenejnye_vyazkouprugie.pdf)

– Взаимодействие лазерного излучения с биотканью:

[http://www.laser-portal.ru/content\\_382](http://www.laser-portal.ru/content_382)

<http://www.dmb.biophys.msu.ru/models>

#### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Все виды материально-информационной базы Научной библиотеки ТГУ.

Мультимедийное оборудование физического факультета ТГУ. Программное обеспечение курсов, предшествующих изучению представленной дисциплины.

#### **15. Информация о разработчиках**

Шаповалов Александр Васильевич, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической физики ТГУ